



LUNDS
UNIVERSITET

Hållbara lösningar inom byggbranschen

Kommersiella byggnader

Jinnan Hamza

Bleron Krasniqi

Lunds tekniska högskola

Examensarbete i byggande och arkitektur - ABAL02

Copyright © Jinnan Hamza, Bleron Krasniqi

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

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

Hållbara lösningar inom byggbranschen

Kommersiella byggnader

Författare: Jinnan Hamza & Bleron Krasniqi

Handledare: Johnny Åstrand - Arkitekt och fakultetsmedlem vid Housing Development & Management, Institutionen för arkitektur och byggnadsmiljö, Lunds tekniska högskola (LTH), Lunds Universitet

Examinator: Erik Johansson - Universitetslektor och Docent, Housing Development & Management, Institutionen för arkitektur och byggnadsmiljö, Lunds tekniska högskola (LTH), Lunds Universitet

Nyckelord: Hållbart byggande, byggmaterial, miljöpåverkan, farliga ämnen, livscykelanalys

Sammanfattning

Syftet med denna uppsats är att undersöka hur vi kan bygga mer hållbara byggnader i Sverige genom att analysera materialval, byggmetoder, energieffektivitet, social hållbarhet samt ekonomiska aspekter. Målet är att identifiera konkreta åtgärder och strategier som kan bidra till ett mer hållbart samhällsbyggande.

För att uppnå syftet har vi använt en kombination av kvalitativa metoder och teoretiska faktastudier. Exempel på hållbara byggnader, datainsamling och litteraturstudier. Genom att kombinera dessa metoder har vi strävat efter att skapa en balanserad och djupgående analys av hållbart byggande.

Användning av miljövänliga och förnybara material, såsom trä, som binder koldioxid under sin livscykel. Implementering av energieffektiva system och teknologier för att minska koldioxidutsläpp. Integration av förnybara energikällor, som solpaneler, och användning av smarta energilösningar för att optimera energianvändningen. Skapande av hälsosamma och inkluderande miljöer för människor att leva och arbeta i, med fokus på sociala aspekter av hållbart byggande.

Balans mellan initiala kostnader och långsiktiga ekonomiska vinster genom energieffektivitet och hållbara materialval. Dessa insikter bidrar till en helhetsförståelse av hur hållbart byggande kan implementeras i Sverige, med hänsyn till ekologiska, sociala och ekonomiska faktorer.

Innehållsförteckning

1. Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	7
1.3 Frågeställningar	7
1.4 Avgränsningar	7
1.5 Metod	8
2. Introduktion till hållbarhet inom byggsektorn	9
2.1 Hållbarhet inom byggsektorn	9
2.2 Miljöpåverkan och resursanvändning	9
2.2.1 Växthusgasutsläpp	10
2.2.2 Livscykelperspektiv - LCA	13
2.2.3 Energianvändning	17
2.2.4 Vattenanvändning	19
2.2.5 Avfallshantering	21
3. Hållbara byggmetoder och material	25
3.1 Hållbara byggmaterial och konstruktionstekniker	25
3.2. Innovativa byggmetoder	29
3.3 Modularade byggsystem	31
4. Certifieringssystem och standarder	32
5. Internationella exempel på hållbara byggnader	35
5.1 The Edge	35
5.2 The Bullitt Center	37
5.3 The Crystal	38
5.4 One Angel Square	41
6. Miljövänliga lösningar inom byggsektorn	43
6.1 Naturbaserade lösningar i byggsektorn	43
6.2 Solceller i byggsektorn	44
6.3 Geotermiskt värmesystem och vattentank	45
6.4 Plusenergihus	45
6.5 Orientering och klimatstudie	46
7. Diskussion	47
8. Slutsats	53
9. Källförteckning	57
9.1 Internetkällor	57
9.2 Bildkällor	62

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle spelar byggsektorn en central roll i att forma en hållbar framtid. Vårt arbete fokuserar på **hållbara lösningar inom byggbranschen**, ett område som har blivit allt viktigare i takt med ökande miljökrav, för en mer miljövänlig och långsiktig utveckling.

Byggsektorn står för en betydande del av världens energi- och resursförbrukning, samt en stor andel av koldioxidutsläppen. Enligt FN miljöprogram bidrar byggindustrin närmare 40 % av de globala energirelaterade koldioxidutsläppen och använder över en tredjedel till världens energi (GlobalABC, 2022).

Naturligtvis har dessa siffror en betydande påverkan på miljön, vilket gör att många riktar sitt fokus mot att hitta och tillämpa hållbara lösningar för att minska den destruktiva påverkan som byggsektorn medför.

Hållbarhet inom byggindustrin innebär att bygga byggnader som är energieffektiva, använder resurser effektivt, har en låg miljöpåverkan och är hållbara över tid både ekologiskt, ekonomiskt och socialt, samtidigt som de erbjuder långvariga fördelar för miljön och samhället.

Detta kan uppnås genom att använda miljövänliga och hållbara byggmaterial, energieffektiva teknologier samt designa byggnader som kan anpassas till förändrade behov över tid och minimerar negativ påverkan på miljön. I vår uppsats vill vi belysa hur dessa lösningar kan tillämpas i praktiken och vilken påverkan de har på byggprojektens helhet. Genom att tillämpa hållbarhetsprinciper kan man bidra till att minska resursanvändningen, förbättra energieffektiviteten och skapa hälsosammare och mer hållbara miljöer för människor.

Vi har valt att fördjupa oss i detta område eftersom hållbarhet är och har alltid varit en nyckelfråga inom byggbranschen och en av de mest ansträngande utmaningarna. Dock finns en stark drivkraft inom industrin att förbättra hållbarhetsarbetet, särskilt medan klimatkrisen blir alltmer allvarlig. Genom att undersöka ämnet vill vi utforska hur byggnader kan utformas och konstrueras för att möta både nulägets och framtidens miljökrav. Vårt mål är att analysera de mest effektiva och praktiska hållbara lösningarna som finns tillgängliga, samt bidra till en bättre förståelse för hur dessa kan främja en mer hållbar utveckling inom byggsektorn.

Vi har valt att inkludera exempel på hållbara byggnader i vårt arbete och då utgått ifrån en del av de som är bland världens mest hållbara byggnader och har effektiva samt miljövänliga lösningar.

1.2 Syfte

Syftet med uppsatsen är att undersöka hur vi kan bygga mer hållbara kommersiella byggnader i Sverige genom att analysera materialval, byggmetoder, energieffektivitet, social hållbarhet samt ekonomiska aspekter. Målet är att identifiera konkreta åtgärder och strategier som kan bidra till ett mer hållbart samhällsbyggande.

1.3 Frågeställningar

För att skapa ett mer hållbart samhälle är byggsektorns utveckling avgörande. Kommersiella byggnader står för en stor del energianvändningen och klimatpåverkan, vilket innebär att det är viktigt att undersöka hur moderna lösningar, smarta materialval och cirkulära arbetssätt kan bidra till en mer hållbar framtid. I denna del presenteras de centrala frågeställningarna som utgör grunderna för arbetet och som lyfter fram olika perspektiv på hur hållbart byggande kan utvecklas i Sverige.

- Hur kan vi bygga hållbara kommersiella byggnader i Sverige med smarta lösningar?
- Vilka materialval är mest hållbara och lämpliga för det svenska klimatet?
- Hur kan återanvändning och återvinning av byggmaterial bidra till hållbart byggande?
- Hur kan vi minska byggsektorns klimatpåverkan genom energieffektiva konstruktioner?
- Vilken roll spelar gröna tak och väggar för att minska energianvändning och öka biologisk mångfald?
- Vilka smarta energilösningar, som solpaneler eller energilagring, kan integreras i byggnader?

1.4 Avgränsningar

I denna studie avgränsar vi oss till byggnader och byggprojekt med fokus på nybyggnation och renovering ur ett LCA-perspektiv. Vi analyserar främst byggmaterial, energianvändning och återbruk, men inkluderar inte driftfasens detaljnivå för varje byggnad. Vi omfattar inte heller byggnormer i detalj, utan koncentrerar oss på de hållbarhetsåtgärder och praktiska lösningar som kan implementeras för att minska klimatpåverkan.

1.5 Metod

För att uppnå syftet med denna uppsats och besvara de formulerade frågeställningarna har vi valt att använda en kombination av kvalitativa metoder i form av exempel på hållbara byggnader samt teoretisk faktainsamling genom litteraturstudier. Denna metodkombination gjorde det möjligt för oss att göra en fördjupad förståelse för hur hållbart byggande fungerar i praktiken, samtidigt som arbetet baseras på en vetenskaplig grund genom tidigare forskning.

Exempel på hållbara byggnader fokuserar på specifika byggnader som har valts ut baserat på deras framstående hållbarhetsprofil. Byggnaderna är certifierade på högsta nivå inom internationellt erkända miljöcertifieringssystem såsom BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) och LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Urvalet baseras också på exempel från världens mest hållbara byggnader. Dessa byggnader valdes eftersom att de fångade vår uppmärksamhet i en tidigare kurs där vi studerade dem.

Syftet med exempel på hållbara byggnader är att identifiera och analysera praktiskt tillämpade strategier inom hållbart byggande, för att med det kunna relatera dessa till teoretiska modeller. Exempelen på hållbara byggnader har undersökts utifrån val av byggmaterial, lösningar för energioptimering, tekniska system samt integration av social hållbarhet i design och funktion. Genom att studera dessa byggnader skapas en konkret bild av hur hållbarhetsprinciper kan genomföras i verkligheten.

Utöver exempel på hållbara byggnader har vi även genomfört en omfattande litteraturstudie för att basera vårt arbete i tidigare forskning och välkänd kunskap inom området. Vi har fokuserat på hållbara byggmaterial, energieffektiva byggmetoder, tekniska lösningar samt de ekonomiska och sociala dimensionerna av hållbart byggande. Litteraturstudien syftar till att skapa en teoretisk referensram och ge en bredare kontext till de praktiska exempel som analyseras i exempel på hållbara byggnader.

Genom att kombinera dessa två metoder strävar vi efter att uppnå djup förståelse för hållbart byggande. Metodvalet möjliggör dessutom triangulering, vilket stärker uppsatsens tillförlitlighet genom att resultaten kan belysas ur flera perspektiv från verkligheten.

2. Introduktion till hållbarhet inom byggsektorn

2.1 Hållbarhet inom byggsektorn

Hållbar utveckling är ett begrepp som innebär att vi ska tillfredsställa våra behov utan att påverka kommande generationers möjlighet att tillfredsställa sina behov. Det strävar efter att skapa en balans mellan de tre hållbara dimensionerna som är den ekonomiska-, sociala- och ekologiska hållbarheten (Falun.se, 2024).

Ekonomisk hållbarhet handlar om att främja ekonomisk tillväxt och välfärd på ett sätt som är hållbart på ett långt sikt. Det innebär att skapa ekonomiska system som främjar produktivitet, innovation, effektiv resursanvändning och rättvis fördelning av ekonomiska resurser. Hållbar ekonomisk utveckling tar hänsyn till sociala och ekologiska faktorer och strävar efter att undvika att överanvända resurser och miljöförstöring (Falun.se, 2024).

Den sociala hållbarheten handlar om att skapa ett samhälle som är inkluderande, jämlikt och rättvist. Det innebär att främja mänskliga rättigheter, lika möjligheter, socialt skyddsnät, tillgång till utbildning och hälsovård samt att bekämpa fattigdom och ojämlikhet. En hållbar utveckling strävar efter att skapa ett samhälle där människor kan leva ett värdigt och meningsfullt liv utan att det sker på bekostnad av andra människor eller framtida generationers liv (ibid).

Den ekologiska hållbarheten handlar om att skydda och bevara vår miljö för att säkerställa att naturliga resurser och ekosystem kan fortsätta gynna mänskligt liv och välfärd. Det innebär att minimera negativa miljöpåverkan, bevara biologisk mångfald, skydda vattenresurser, minska utsläpp av växthusgaser och främja hållbar energi och resursanvändning. Ekologisk hållbarhet strävar efter att bevara balansen mellan människans behov och miljöns kapacitet att stötta dessa behov på lång sikt (ibid).

Dessa tre hållbara dimensionerna är beroende av varandra. För att uppnå hållbar utveckling krävs en anpassad strategi som tar hänsyn till alla tre dimensionerna och balanserar ekonomiska, sociala och ekologiska målen (ibid).

Bygg- och fastighetssektorn står för ungefär 20% av Sveriges klimatutsläpp där utsläppen kommer från tillverkning av material och produkter samt energianvändning vid driftfasen. Byggbranschen har tagit fram en gemensam färdplan för att kunna uppnå noll-nettutsläpp år 2045 från tillverkning av material och produkter till driftfasen (Fossilfritt Sverige, 2024).

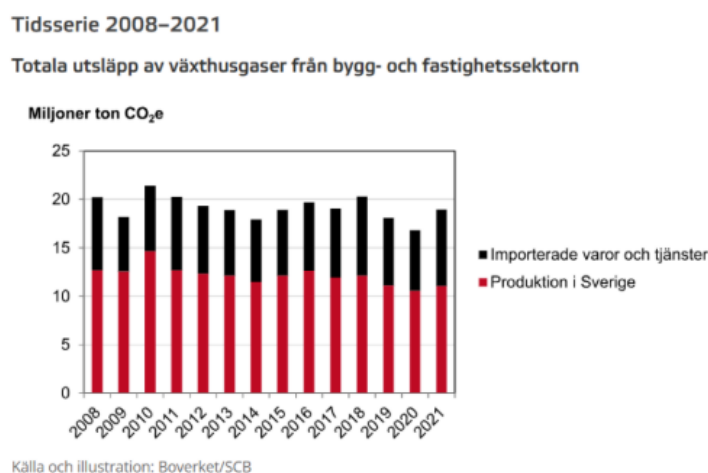
För att byggbranschen ska uppnå uppsatta mål arbetar de med att förändra råvarusammansättning, elektrifiering och effektivisering av produktion- och transport processerna, öka användningen av förnybar bränsle i produktionen och vid transporten samt effektivare transporter, planera cirkulära flöden och effektiv resursanvändning och optimering av energi- och klimatprestanda ur ett livscykelperspektiv både vid produktionen och driftfasen (Fossilfritt Sverige, 2024).

2.2 Miljöpåverkan och resursanvändning

För att i sin tur kunna lyckas med hållbara lösningar bör man förstå resurskraven samt undersöka de huvudsakliga faktorerna som miljön påverkas av. Bland nyckelfaktorerna som påverkar miljön och som vi bör ta hänsyn till är bland annat utsläpp av växthusgaser, energianvändning, vattenanvändning och avfallshantering.

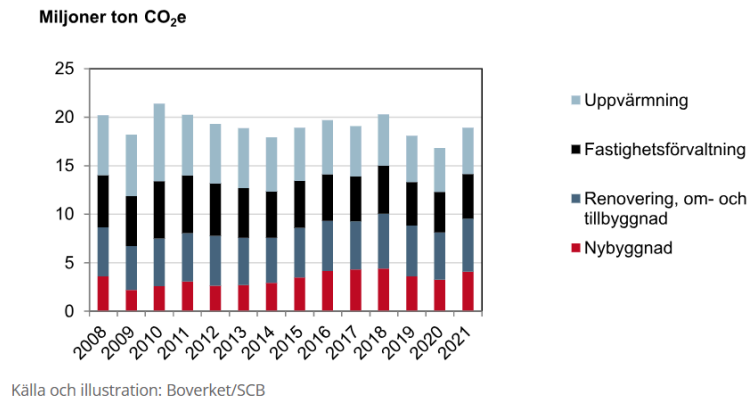
2.2.1 Växthusgasutsläpp

Byggsektorn står för stora utsläpp av växthusgaser, främst från den energi och de material som används under byggandet och driften av byggnader. Med de senaste decenniernas byggtakt är det en utmaning att nå Sveriges klimatmål. Behovet är också stort för renoveringar och nybyggnation av vägar och järnvägar, vilket ytterligare pressar sektorns klimatpåverkan.



Figur1. Totala utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn

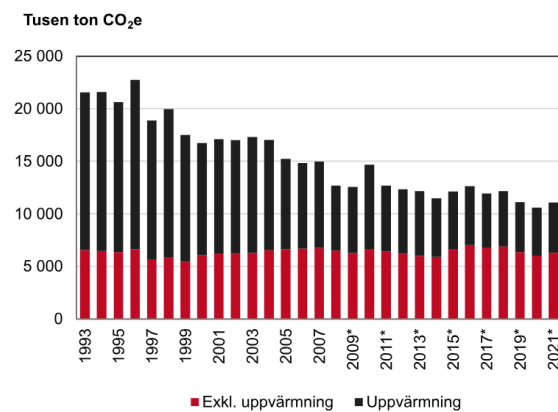
Totala utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn fördelat på branscher



Figur 2. Totala utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn fördelat på branscher

Sammanfattad tidsserie 1993–2007 och 2008–2021

Inhemska utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn



Figur 3. Inhemska utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn

Svenska byggnader använder cirka 40 % av landets energi, till mestadels för uppvärmning och el. Dessutom står byggsektorn för stora utsläpp utomlands genom importvaror och ungefär 20 % av Sveriges totala växthusgasutsläpp, om man ser till hela livscykeln från byggande till rivning, (se Figur 1). För att minska utsläppen har bygg- och fastighetssektorn satt upp en gemensam plan, kallad "Färdplan för fossilfri konkurrenskraft," med målet att nå nettonollutsläpp år 2045. Inom denna omställning ser många företag möjligheter att skapa nya affärsmodeller och lösningar som stöder klimatmålen.

Historiskt sett kan man följa utvecklingen ovan i den sammansatta tidsserien för åren 1993-2021, (se Figur 2). Utsläppen från uppvärmning av byggnader har minskat, men det som kommer från själva byggandet och renoveringen har förblivit ungefär på samma nivå över tid. Under 2021 uppgick de totala växthusgasutsläppen från byggsektorn till 18,9 miljoner ton

koldioxidekvivalenter, om utsläpp från importerade produkter också räknas in. Detta var en ökning jämfört med 2020, då utsläppen var 16,8 miljoner ton. Samtidigt ökade sysselsättningen inom byggsektorn med 1,9 procent under 2021. Jämfört med 2008 har utsläppen av växthusgaser minskat med 6 procent, vilket kan ses som en positiv utveckling.

Under hela perioden från 2008 till 2021 släppte sektorn ut i genomsnitt 19,1 miljoner ton växthusgaser per år. Av detta kommer nästan 60 procent från produktion inom Sverige, (se Figur 1).

Beräkningarna av utsläppen är baserade på data från SCB (Statistiska centralbyrån) och räknar med hela livscykeln, från tillverkning till slutlig användning, men de inkluderar inte utsläpp från att bygga vägar och järnvägar. (Boverket)

Fossilfritt Sverige, ett regeringsinitiativ som arbetar för att snabba på omställningen till ett klimatvänligt samhälle och göra Sverige till ett av de första länderna i världen utan fossila bränslen, släppte år 2019 en kort film om bygg- och anläggningssektorns färdplan, där de bl a nämner att minst en halv miljon nya bostäder kommer att behövas inom åren 2019-2026 - en utmaning som samtidigt kräver att klimatpåverkan minskar. Genom redan tillgänglig teknik har vi i Sverige potential att halvera vår klimatpåverkan till år 2030, (se Figur 4). (Fossilfritt Sverige)

Mål i bygg- och anläggningssektorns färdplan

2022: Aktörer i bygg- och anläggningssektorn har kartlagt sina utsläpp och satt klimatmål

2025: Utsläppen av växthusgaser visar en tydligt minskande trend

2030: 50% minskade utsläpp av växthusgaser

2040: 75% minskade utsläpp av växthusgaser

2045: Netto nollutsläpp av växthusgaser

Figur 4. Mål i bygg- och anläggningssektorns färdplan

För att dessa mål ska bli verklighet behöver man arbeta med flera lösningar som effektiviserar både resurser och processer. Dessa är några metoder som byggbranschen använder sig utav:

- förändrad råvarusammansättning
- elektrifiering och effektivisering av produktions- och transportprocesser
- ökad användning av förnybara bränslen i produktions- och transportprocesser
- effektivare transporter
- planering för cirkulära flöden och effektiv resursanvändning
- optimering av energi- och klimatprestanda ur ett livscykelperspektiv, både i uppförande- och driftsfas

Figur 5. Lösningmetoder

En viktig del handlar om att ändra sammansättningen av de råvaror som används i byggandet. Detta innebär att välja mer hållbara material och ersätta traditionella alternativ mot sådana som har mindre miljöpåverkan. Att använda byggmaterial på ett noggrannare sätt för att minska onödigt avfall. Dessutom bör byggnader utformas så att de enkelt kan anpassas eller återanvändas vid behov, vilket hjälper till att utnyttja resurser på ett mer effektivt sätt.

Transporterna som är kopplade till byggprocessen är en annan viktig aspekt. Genom att minska antalet transporter, använda mer energieffektiva fordon och övergå till fler eldrivna fordon kan man reducera de utsläpp som uppstår under byggprojekten. På så sätt kan en övergång till förnybara bränslen ytterligare bidra till att minska miljöpåverkan. (Fossilfritt Sverige, 2024)

2.2.2 Livscykelperspektiv - LCA

Vidare spelar energianvändningen under byggnaders livstid en stor roll. Att renovera befintliga byggnader för att förbättra energieffektiviteten, minska användningen av fossila bränslen och satsa på fjärrvärme och högre energikrav är viktiga steg för att minska klimatpåverkan. En annan åtgärd är att fokusera på energiprestandan ur ett livscykelperspektiv, där både byggfasen och användningsfasen tas i beaktande. (Boverket. (2024). Vägledning om LCA för byggnader)

En byggnads livscykel delas in i tre huvudskeden enligt Boverket: A – byggskedet, B – användningsskedet och C – slutskedet.

- Byggskedet (A) omfattar produktion och transport av byggmaterial samt själva byggprocessen.
- Användningsskedet (B) inkluderar drift, underhåll, reparationer och eventuella ombyggnader under byggnadens livslängd.

- Slutskedet (C) omfattar rivning, transport, avfallshantering och återvinning av material.

Genom att inkludera alla tre skeden i en livscykelanalys kan man identifiera var den största miljöpåverkan uppstår och fatta mer hållbara beslut under hela byggprocessen. (Boverket, 2024. Introduktion till livscykelanalys (LCA))

Det krävs också en planering som stödjer cirkulära flöden, vilket innebär att skapa system där material kan återanvändas och att tänka långsiktigt kring resursernas användning.

Det är också viktigt att optimera byggnaders storlek och användning för att minska behovet av stora ytor per person, till exempel genom att använda lösningar som delade kontorsytor och bostäder med högre flexibilitet.

För att skapa förändring i byggbranschen behövs bättre samarbete, dialog och en rättvis fördelning av kostnader och risker mellan olika aktörer. Ett bra sätt att göra detta är genom att använda livscykelanalyser, som hjälper till att bedöma hur byggprojekt påverkar miljön under hela deras livscykel.

För att fler ska börja använda livscykelanalyser vid nybyggnation eller renovering har Boverket tagit fram vägledning för detta. (Boverket. (2024).

Vägledning om LCA för byggnader)

Användningen av LCA (livscykelanalys) är till för att förstå byggnaders miljöpåverkan.

Boverkets vägledning riktar sig främst till:

- Privata och offentliga byggherrar som vill lära sig mer eller beställa en LCA för ett byggprojekt
- Projektörer
- Byggföretag som ska göra LCA-beräkningar

Dessutom kan vägledningen användas som ett stöd för beslutsfattare och andra som är intresserade av ämnet. (Boverket. (2024). Livscykelanalys.)



Byggnaders livscykel. Illustration: Jenny Lilja/Infab/Tictac/Boverket

Figur 6. Byggnaders livscykel

” Livscykelperspektivet bör vara en utgångspunkt vid analys av miljöpåverkan för all ny och ombyggnad liksom vid förvaltning av befintlig bebyggelse. Samma sak bör gälla för anläggningsarbeten.

Miljömålsberedningens betänkande **En klimat- och luftvårdsstrategi för Sverige** (SOU 2016:47).

LCA är en etablerad metod som för att beräkna en byggnads miljöpåverkan över hela livscykeln. Genom att göra det så kan man fokusera och prioritera hållbarhets-, produkt- och processutvecklingsarbete och fokusera där man gör mest nytta. Man undviker även att suboptimera, dvs att undvika att minska klimatpåverkan under ett tidigt skede istället för att möjligen öka den under ett senare skede under livscykeln. Eller att man undviker att välja det billigaste byggmaterialet för att spara pengar (optimering av kostnad för material), då detta material kanske kräver mycket underhåll eller har hög miljöpåverkan, vilket kan leda till högre kostnader och problem på längre sikt. Detta är speciellt viktigt i byggsektorn där man bygger infrastrukturer och byggnader som ska stå under många år.

En LCA hjälper dig också att förstå vilken del av en byggnads livscykel som har störst miljöpåverkan. Med den informationen kan du planera och bygga på ett sätt som minskar påverkan på miljön. En LCA syftar till en helhetsbedömning av miljöpåverkan. I resultatet ingår olika kategorier av miljöpåverkan, till exempel klimatpåverkan, försurning, övergödning, marknära ozon, stratosfärisk ozonnedbrytning och utarmning av knappa resurser. Ofta väljer man att fokusera på en specifik kategori, till exempel klimatpåverkan. (Boverket. (2024). Vad visar en LCA.)



Illustration: Infab/Tictac/Boverket

Sedan den 1 januari 2022 finns ett krav på klimatdeklaration vid nybyggnation. Det innebär att byggherrar måste redovisa hur den nya byggnaden påverkar klimatet.

Syftet med denna lag är att minska klimatpåverkan från själva byggskedet. Kravet gäller alla nya byggnader där bygglov ansöks efter 1 januari 2022. (Boverket)

Byggbranschen har redan börjat ta flera viktiga initiativ för att minska miljöpåverkan och anpassa sig till hållbarhetsmålen, vilket framgår av uppföljningsplanen från 2022. Framsteg inom byggbranschen har blivit märkbara när det gäller elektrifiering av arbetsmaskiner. Maskiner utgör en stor del av en byggnads klimatavtryck, och utvecklingen av elektriska arbetsmaskiner har ökat. Exempel på framsteg inkluderar test av en elektrifierad pålkran av JM och Ramirents uthyrning av utsläppsfria maskiner. Dessutom har Östersunds kommun i samarbete med Skanska beslutat att skapa en utsläppsfri byggarbetsplats vid förskolan Ottfjället, som en del av EU:s mest ambitiösa upphandling. (Fossilfritt Sverige. (2024). Bygg- och anläggningssektorn.)

Återbruket av stål har också snabbt ökat och kan i vissa projekt uppgå till 10 procent, vilket utgör den dominerande metoden för materialåtervinning. Nya tekniska specifikationer kommer att bidra till ökat återbruk av stål. Pilotprojekt för återbruk av byggmaterial, som installationer, betongelement och fasadmateriäl, har genomförts. Ett exempel är Akademiska Hus' projekt i Göteborg, där återanvändning av material ledde till en minskning av koldioxidutsläpp med mer än 100 ton. (ibid.)

Flera aktörer inom byggbranschen har nu börjat använda betong som är bättre för klimatet. Detta innebär att man kan minska betongens negativa påverkan på miljön med upp till hälften. Under det senaste året har fler företag börjat använda denna typ av betong, och även fler byggprojekt ställer krav på att använda den. Ett exempel är byggandet av bostadshus i Helsingborg, där rätt betong och konstruktion ledde till en halvering av klimatpåverkan. Även på Kungsbacka badhus minskades miljöpåverkan med 30 procent genom att använda klimatvänlig betong. (ibid.)

Trafikverket har också börjat ställa höga klimatkrav för byggandet av betongkonstruktioner generellt och särskilt för broar på Norrbotniabanan mellan Umeå och Skellefteå. Målet är att minska utsläppen av koldioxid under byggfasen med upp till 40 % genom att välja miljövänligare material, som betong och armering. Dessutom krävs elektrifiering för vissa maskiner, som krossverk och lastmaskiner, för att minska de fossila utsläppen. Arbetet på projektet ska vara klart för trafikering 2030. (ibid.)

2.2.3 Energianvändning

Energieffektivisering är avgörande för att Sverige ska uppnå sina miljömål och bygga ett hållbart energisystem. Det handlar om att använda mindre energi för samma resultat, vilket minskar utsläppen av växthusgaser och andra föroreningar. Genom tekniska lösningar som bättre isolering, effektivare apparater och optimerad ventilation kan vi minska energianvändningen. Även beteendeförändringar och utbildning av personal som arbetar med drift och underhåll spelar en viktig roll. Inom industrin kan effektivisering exempelvis innebära att utnyttja energin bättre i motorer och tryckluftssystem. (Naturvårdsverket. (2024). Energieffektivisering.)

När det gäller att främja energieffektivitet finns det flera verktyg och lagar som spelar en viktig roll. Exempelvis regler och strategier för att säkerställa att energi används så effektivt som möjligt. Vissa regler gäller generellt för alla verksamheter, medan andra är inriktade på specifika områden, som byggnader, byggindustrin eller transporter. (ibid.)

En central del är miljöbalken, som syftar till att skapa en hållbar framtid. Här betonas vikten av att använda resurser som energi på ett ansvarsfullt sätt, med fokus på förnybara energikällor och återvinning. (ibid.)

Bostäder och lokaler står för en stor del av Sveriges energianvändning - ungefär en tredjedel av Sveriges totala slutliga energianvändning. För att minska denna energiåtgång, där uppvärmning och varmvatten står för en stor del av energianvändningen, måste energieffektivisering prioriteras. Genom att minska energianvändningen kan negativa miljöeffekter minskas, vilket även hjälper till att uppnå olika uppsatta miljömål. För att få till denna förändring krävs det en kombination av tekniska förbättringar och förändrade vanor, exempelvis genom att använda mer effektiva uppvärmningssystem eller bättre isolering i byggnader. Detta gäller såklart både vid nybyggnation och vid ombyggnationer av äldre byggnader för att säkerställa långsiktig hållbarhet. (Naturvårdsverket, 2024)

Energieffektivisering inom industrin erbjuder betydande fördelar, både för miljön och för att sänka energikostnaderna. Genom att optimera energianvändningen i produktion och transporter kan industrin även bidra till att minska energianvändningen hos de produkter som används av konsumenterna, och eftersom energikostnader ofta utgör en stor del av företags totala produktionskostnader, finns det en stark ekonomisk drivkraft för industrin att effektivisera sin energianvändning. Det finns många tekniska lösningar som kan minska energiförluster, men framgång beror också på att energiarbetet är välorganiserat och systematiskt. (Naturvårdsverket. (2023). Energieffektivisering i industrin.)

En ökad energieffektivitet leder inte bara till ekonomiska fördelar utan också till en minskning av utsläpp som påverkar klimatet, såsom luftföroreningar och växthusgaser. Genom att använda förnybara energikällor och minska energislöseri bidrar industrin till att minska sin miljöpåverkan, samtidigt som resurserna kan användas mer hållbart och räcka längre. (ibid.)

Genom att se över produktionsprocesserna kan företag använda energismarta tekniker och effektiva hjälpmedel, som moderna fläktar och belysningssystem, för att uppnå bättre resultat samtidigt som resursförbrukningen hålls nere. När det gäller produkterna i sig är användningsfasen ofta den mest energikrävande under produktens livscykel. Därför är det avgörande att sänka energianvändningen i denna fas. (ibid.)

Transporter är en annan viktig del. Genom att välja miljövänligare transportmedel med lägre utsläpp och optimera logistiken kan industrin minska miljöavtrycket från transporter till och från sina anläggningar. Det gäller också resor för personalen, både till jobbet och under tjänsteresor.

Ett annat område som kräver uppmärksamhet är hanteringen av värmeöverskott. Istället för att låta överskottsvärme gå till spillo kan företag återanvända den internt eller leda den till externa fjärrvärmesystem för att dra nytta av energin på ett smartare sätt. (ibid.)

Vid förbränning kan moderna system spela en viktig roll genom att optimera hur bränslen används. Rökgasreningstekniker, som rökkgaskondensering, minskar inte bara utsläppen utan förbättrar även luftkvaliteten genom att fånga skadliga partiklar. (ibid.)

Som fastighetsägare eller byggherre kan man minska byggnaders energianvändning och förbättra deras miljöpåverkan genom flera åtgärder. Man kan börja med att göra en energideklaration som ger en tydlig bild av byggnadens energibehov och vilka förbättringar som kan göras. Därefter kan man genomföra de rekommenderade åtgärderna, exempelvis genom att renovera för att sänka energianvändningen och skapa ett bättre inomhusklimat. Vid större renoveringar är det bra att byta ut fönster, väggar, tak samt uppvärmningssystem. Vid nybyggnation kan man bygga energieffektiva hus (passivhus) där man bland annat har bra isolering och effektiv ventilation. Passivhus kräver väldigt lite energi för uppvärmning och kylning, vilket gör dem miljövänliga och även kostnadseffektiva. Efter färdigställandet bör energiprestandan kontrolleras noggrant så att den inte överstigit det man beräknat och förväntat. (Naturvårdsverket. (2024). Energieffektivisering i bostäder och lokaler.)

Olika kommuner kan också bidra och spelar en viktig roll i arbetet med att minska energianvändningen och klimatpåverkan. Fokus ligger på att ta fram planer och strategier för energi och klimat eller att förbättra redan befintliga energiplaner. Genom att följa upp byggprojekt kan de

säkerställa att byggnader blir energieffektiva, och dessutom kan kommunerna ge energi- och klimatrådgivning för att hjälpa både invånare och företag att spara på energi och pengar. Man kan också ta andra framgångsrika kommuner som exempel och lära sig från dem. (ibid.)

Länsstyrelser å andra sidan kan stötta kommunerna i att hantera klimat- och energifrågor. De kan samordna initiativ som berör flera kommuner, till exempel hållbara transporter och bebyggelse. Genom regionala samarbeten kan de bidra till konkreta lösningar. (ibid.)

Vidare spelar beskattning en central roll i att styra energianvändningen. Fossila bränslen beläggs med både koldioxidskatt och energiskatt, där nivåerna varierar beroende på användningsområde. Biobränslen är i regel undantagna från dessa skatter, medan även elförbrukning omfattas av energiskatten. Denna typ av beskattning är en del av en större strategi för att minska energianvändningen. (Naturvårdsverket. (2024). Energieffektivisering.)

För större företag är energikartläggning en annan viktig åtgärd. Minst vart fjärde år genomförs en analys av energianvändningen för att identifiera möjligheter till effektivisering. Kartläggningen syftar till att tydliggöra var energin används och föreslå åtgärder för att minska onödig användning och bidra till en mer hållbar energihantering. (ibid.)

Om vi lyfter blicken mot det internationella perspektivet ser vi att EU:s regler om ekodesign har som mål att öka energieffektiviteten i nya produkter. Detta uppnås genom att förhindra försäljning av produkter med dålig energiprestanda. Samtidigt finns det ett direktiv om energimärkning som kräver att vissa varor är tydligt märkta med information om sin energianvändning. Denna märkning hjälper konsumenter att göra informerade val genom att lyfta fram produkter som är mer energieffektiva. Kombinationen av dessa regelverk uppmuntrar utvecklingen av energieffektiva lösningar och bidrar till minskad energianvändning inom EU. (Naturvårdsverket, 2024)

2.2.4 Vattenanvändning

Även om specifik statistik över vattenförbrukning inom sektorn är begränsad, är det känt att byggprocesser kan vara vattenintensiva. När vi arbetar med att utveckla och modernisera infrastrukturen i Sverige är det många olika processer som ingår, som exempelvis sprängning, borrhning och grävning. Therese Rönkvist Mickelson, hållbarhetschef på Implenia Sverige, förklarar hur företaget arbetar för att säkerställa en effektiv och hållbar vattenrening genom att anpassa teknikerna efter varje specifikt projekt. (Implenia, 2023)

Bygg- och anläggningsarbeten genererar ofta stora volymer förorenat vatten, som behöver renas noggrant innan det kan släppas ut i avloppssystem eller naturliga vattenvägar. Därför är

vattenrening en avgörande miljöfråga för byggbranschen i stort och för Implenias i synnerhet. Enligt Therese är det centralt att återanvända så mycket vatten som möjligt i rengöringsprocesserna, vilket är en viktig del av företagets hållbarhetsarbete.

Vatten är en av våra mest värdefulla naturresurser och används ständigt i olika processer. Det ligger stort ansvar hos oss för att skydda vattentillgångarna och rena det vatten som används inom byggindustrin. Enligt Therese Rönnkvist Mickelson är det också viktigt att minska vattenförbrukningen, och för att uppnå detta återcirkulerar Implenias så mycket vatten som möjligt i sina reningssystem. För varje projekt väljer Implenias Sverige den reningsteknik som bäst passar förhållandena och anpassar metoderna efter graden av förorening i vattnet. Redan under anbudsförfarandet analyseras och utreds processvattnets kvalitet för att säkerställa att rätt åtgärder planeras. Under själva byggnationen kan dock oväntade utmaningar uppstå, vilket innebär att systemet ibland måste kompletteras eller justeras. Exempel på sådana anpassningar kan vara installation av sedimenteringstankar eller ytterligare filtrering för att fånga upp metaller.

Therese poängterar också att kraven på vattenrening ständigt skärps, både från kunder och myndigheter. För att möta dessa krav arbetar Implenias aktivt med att följa den tekniska utvecklingen inom vattenrening. På så sätt strävar företaget efter att behålla sin position som en ledande aktör när det gäller hållbar vattenhantering.

Ett exempel på de utmaningar som kan uppstå är installationen av ett vattenreningsverk, och på grund av det begränsade utrymmet vid många byggarbetsplatser är det ofta svårt att hitta plats för vattenreningssystem, eftersom dessa vanligtvis kräver stora ytor. Detta gör att kreativa och platsbesparande lösningar blir en stor nödvändighet.

Implenias arbetar aktivt med att hitta innovativa metoder för att rena vattnet som används på byggarbetsplatserna. Ett särskilt fokus har lagts på att rena metaller och minska nivåerna av kväve. Genom att använda biologiska processer har företaget lyckats omvandla kväve till kvävgas, som sedan avlägsnas. Dessutom har avancerade tekniker, såsom flockning med kitosan, gjort det möjligt att sänka krom- och zinkhalterna till mycket låga nivåer.

Arbete i tätbebyggda miljöer innebär ytterligare svårigheter, som Therese beskriver. Hon förklarar att byggprojekt ofta kräver stora mängder vatten, och detta vatten måste i sin tur pumpas ut ur tunnlar och schaktgropar och samlas upp i stora tankar för rening. Samtidigt är dessa projekt nästan alltid belägna i stadsmiljöer, vilket ställer höga krav på noggrannhet och effektivitet. (Implenias, 2023)

För att möta kraven så att omgivande miljö inte påverkas används olika reningslösningar som kan behandla vatten från schakt, länshållning, marksanering och muddringsarbeten. Dessa flexibla system är anpassade för att eliminera miljörisker och uppfylla myndighetskrav. Ett viktigt ansvar under dessa projekt är att säkerställa att det vatten som släpps ut från arbetsplatsen inte påverkar den omkringliggande marken eller vattenmiljön på ett negativt sätt. Detta regleras av både nationella och europeiska direktiv, som till exempel EU:s vattendirektiv, vilka syftar till att skydda och förbättra vattenkvaliteten. Genom att följa dessa riktlinjer kan både dricksvattentillgångar och naturliga ekosystem bevaras.

För att bedöma vattenkvaliteten på plats används parametrar som miljökvalitetsnormer (MKN). Dessa reglerar vilken reningsgrad som krävs och vilka riktvärden som gäller för att vattnet ska kunna släppas ut. En utmaning är dock att varje projekt har unika förhållanden, och ibland saknas tillräcklig kunskap om vattnets innehåll innan arbetet startar.

Dessa reningslösningar kan installeras direkt på arbetsplatsen och skräddarsys efter projektets behov. Lösningarna kan enkelt justeras under projektets gång om förhållandena förändras. Genom att använda moduler som kan hantera både inkommande och utgående vatten erbjuder de en effektiv lösning, oavsett vilka föroreningar eller flöden som förekommer. Metoder som flockning, filtrering, pH-justering och UV-behandling ingår ofta i systemet. (Swerock)

2.2.5 Avfallshantering

Bygg- och rivningsprojekt genererar betydande mängder avfall, och det finns stora möjligheter att hantera detta på ett mer effektivt och hållbart sätt. Genom att återvinna material i större omfattning och använda återvunnet material vid tillverkning av nya byggprodukter kan resurser användas på ett smartare sätt. Man strävar efter att minska mängden och farligheten hos det avfall som uppstår i dessa processer. Detta kan uppnås genom att införa förebyggande åtgärder som syftar till att minimera avfall redan i planeringsfasen, vilket inte bara bidrar till en bättre miljö utan också till en mer hållbar bygg- och anläggningssektor.

Enligt miljöbalken definieras bygg- och rivningsavfall som allt avfall som uppstår vid byggnadsarbeten, rivningsinsatser och andra anläggningsprojekt. Denna definition, som också överensstämmer med det som fastställs i avfallsdirektivet, omfattar också avfall som kan genereras vid mindre bygg- eller rivningsarbeten i privata hushåll.

Regelverket i avfallsförordningen ställer krav på alla som producerar avfall, oavsett om det handlar om yrkesmässig verksamhet eller privatpersoner. Alltså är både företag och enskilda individer ansvariga för att följa dessa bestämmelser och hantera avfallet på ett korrekt sätt, och detta tydliggör

vikten av att både privatpersoner och professionella aktörer bidrar eller åtminstone bör bidra till en hållbar avfallshantering. (Naturvårdsverket, 2024)

Sverige är känt som en ledande aktör när det gäller avfallshantering, men mängden avfall som produceras är fortfarande för hög och går att förbättra. För att minska avfallsmängderna krävs en omställning till en mer hållbar produktion och konsumtion. Även om den här omställningen går långsamt är den avgörande för att reducera uttaget av naturresurser och begränsa de negativa effekterna på både miljön och människors hälsa. Ett överdrivet resursutnyttjande har allvarliga konsekvenser, som påverkan på klimatet och en minskad biologisk mångfald. Därför är en hållbar användning av resurser en grundförutsättning för en socialt och miljömässigt hållbar framtid. För att åstadkomma detta måste man bryta kopplingen mellan ekonomisk tillväxt och ökade avfallsmängder. Det krävs att alla aktörer i samhället bidrar med kreativa lösningar och utvecklar nya sätt att arbeta.

Avfallsbranschen i helhet (inte endast byggrelaterat avfall) är också en viktig del av miljösektorn och spelar en betydande roll i arbetet med hållbar utveckling. Sektorn är omfattande och involverar ett stort antal aktörer som arbetar med att förebygga, hantera och återvinna avfall på ett resurseffektivt sätt. Det är ett brett spektrum av områden, såsom kontroll av luftutsläpp, hantering av vatten, återvinning av material och förnybara energikällor. (Avfall Sverige, 2024)

Intressant nog har antalet företag som bearbetar avfall varit stabilt under det senaste decenniet. Detta visar att branschen står inför möjligheten att utveckla ännu mer effektiva metoder för att hantera avfall och samtidigt möta de ökande kraven på hållbarhet i samhället.

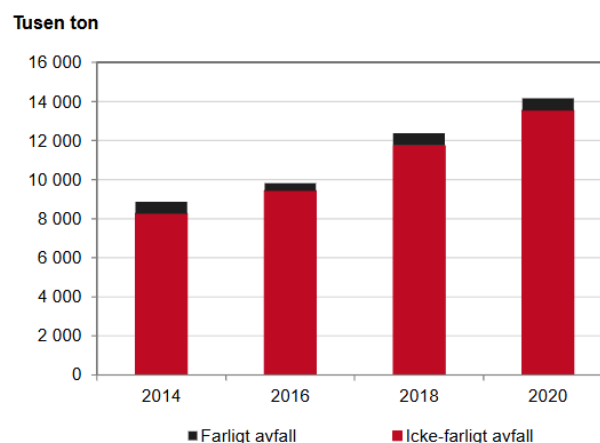
Om vi lägger mer fokus på byggsektorn så genererades under 2020 ungefär 14,2 miljoner ton primärt bygg- och rivningsavfall i Sverige, enligt den senaste statistiken som framförts av Boverket. Av detta utgjorde omkring 0,6 miljoner ton farligt avfall, vilket motsvarar 40 procent av allt farligt avfall i landet. Primärt avfall uppstår i samband med produktion och konsumtion, och även om byggavfall förekommer i andra sektorer är dess bidrag marginellt jämfört med vad som produceras inom byggbranschen. Det är dock oroande att mängden farligt avfall ökade med cirka 3 procent mellan 2014 och 2020, och att totalt uppkommet avfall under samma period ökade med 60 procent, en utveckling som pekar åt fel håll.

För att Sverige ska nå miljömålen krävs det att vi minskar både mängden och farligheten hos bygg- och rivningsavfallet. Det är huvudsakligen byggföretagen själva som ansvarar för hanteringen av detta avfall, men även myndigheter spelar en central roll i arbetet med att utveckla riktlinjer och minimera avfallsgenereringen. Till exempel har åtgärder som "Plan och bygglagens" regler införts

för att säkerställa att farligt avfall hanteras korrekt, samtidigt som återanvändning av material främjas.

Sedan den 1 augusti 2020 har specifika krav gällt för dokumentation och kontroll av farligt avfall från byggprojekt. Dessa är utformade för att spåra och återvinna material så mycket som möjligt, vilket i sin tur minskar avfallets negativa påverkan på miljön. Dessa förändringar härstammar från uppdateringar av EU:s avfallsdirektiv från juli 2018, som lade grunden för mer omfattande åtgärder i hela unionen. (Boverket, 2024)

Total mängd uppkommet avfall från byggverksamhet



Figur 7. Total mängd uppkommet avfall från byggverksamhet

Här är det viktigt att nämna att denna statistik endast inkluderar vissa sektorer och inte fullt ut speglar avfall från hushåll eller material som återanvänds direkt på byggarbetsplatser. Det är även relevant att EU-regler inte alltid räknar med jord- och stenmassor som återvinns på plats, vilket kan påverka de siffror som redovisas.

När vi tittar på det ur ett livscykelperspektiv är det svårt att få en heltäckande bild av mängden bygg- och rivningsavfall. Även här beror på brister i statistiken och avsaknad av metoder för att inkludera avfall som uppstår utomlands i samband med produktionen av importerade material. Exempelvis räknas inte alltid avfall från stora infrastrukturprojekt som vägar och järnvägar in i beräkningarna.

För att uppnå nationella miljömål, som att öka återanvändning och materialåtervinning, har Sverige fastställt delmål inom miljömålssystemet. Ett viktigt steg är att öka återvinningsgraden för icke-farligt bygg- och rivningsavfall, exklusive jord och sten, till minst 70 procent senast 2025. (Boverket, 2024)

För att ett sådant mål ska kunna låta realistiskt så faller ansvaret på vartenda individ göra sin part för omgivningens bästa. För att avfall ska kunna återvinnas eller omvandlas till energi på ett hållbart sätt ska farliga ämnen och andra miljöskadliga material sorteras ut och behandlas separat. Vid valet av material och produkter är det viktigt att välja alternativ som innehåller så få skadliga ämnen som möjligt.

När det gäller bygg- och rivningsavfall är det nödvändigt att sorteringen sker direkt på plats där avfallet uppstår. Detta minskar risken för kontaminering och underlättar återanvändning och återvinning. Avfallet bör delas in i olika kategorier eller fraktioner beroende på materialtyp för att hanteras på bästa möjliga sätt. Material som bör sorteras och förvaras separat inkluderar bland annat trä, mineralbaserade material som betong och tegel, metall, glas, plast och gips. Dessutom måste farligt avfall, elektronik och brännbart material hanteras separat för att säkerställa att de behandlas korrekt. Genom att organisera avfallshanteringen på detta sätt kan man maximera återvinningen och minimera miljöpåverkan. (Stockholms stad, 2024)

3. Hållbara byggmetoder och material

3.1 Hållbara byggmaterial och konstruktionstekniker

Hållbara byggmaterial spelar en central roll i byggmetoder eftersom de är särskilt utformade för att minska miljöpåverkan. Dessa material är inte bara effektiva på att minimera negativa effekter utan är också nyckeln till att bygga för en hållbar framtid. Det som gör dem särskilt värdefulla är deras tålighet och möjlighet till återanvändning. Dessa material är dessutom viktiga eftersom de möjliggör tryggare byggprocesser och långsiktiga kostnadsbesparingar.

En annan aspekt som gör dessa byggmaterial outhållbara är deras motståndskraft och hållbarhet över tid. Egenskaper som återvinningsbarhet gör det möjligt att integrera dem i en cirkulär ekonomi, där resurser används effektivt och avfall minimeras. Hållbara material är konstruerade för att tåla olika miljöförhållanden utan att försämrats, vilket minskar behovet av att ersätta dem regelbundet. Genom att använda material som kan återanvändas i slutet av sin livscykel bidrar vi till både miljömässiga och ekonomiska vinster. Lokalt producerade material har också fördelen att de minskar transportrelaterade koldioxidutsläpp, vilket ytterligare stärker deras roll i hållbart byggande.

Ett utmärkt sätt att bidra till återvinningsprocessen är genom trä-, betong- och metallåtervinning. Ta till exempel gamla träbalkar, dörrar och golv – istället för att hamna på soptippen kan de få nytt liv i nya byggprojekt. Det minskar inte bara mängden avfall utan också behovet av att avverka nya skogar och våra skogsekosystem. Korslaminerat trä, eller CLT, har snabbt blivit ett av de mest innovativa materialen när det gäller hållbart byggande. CLT tillverkas genom att flera lager av träskivor sätts samman i rätt vinkel mot varandra, vilket ger materialet både styrka och stabilitet. En stor fördel med CLT är att det lagrar koldioxid under hela sin livslängd, vilket gör det både mer miljövänligt och lättare än traditionella byggmaterial som stål.

En annan fördel med korslaminerat trä är dess brandmotstånd. CLT behåller sin struktur även vid höga temperaturer, vilket gör det till ett säkert alternativ för byggnader. Dessutom är CLT-paneler prefabricerade, vilket innebär att de snabbt kan monteras på byggsplatsen, och detta minskar både byggtiden och den miljöpåverkan som traditionella byggmetoder kan orsaka. Med tanke på dessa egenskaper har CLT stor potential att spela en central roll i framtidens miljövänliga byggande, och forskning visar att det kan minska den globala uppvärmningen med upp till 26 % jämfört med konventionella byggmaterial. (Distrelec)

På samma sätt kan betong, som ofta ses som ett av de mest resurskrävande byggmaterialen, också återanvändas. Genom att krossa gamla betongkonstruktioner kan vi skapa en bas för ny betong, och samtidigt sparar vi energi som annars skulle ha använts vid produktionen av ny betong.

Metaller som stål och aluminium är också enormt värdefulla i detta sammanhang. När vi använder återvunnet stål eller aluminium, istället för att framställa nya material, minskar vi koldioxidutsläppen avsevärt. Återvinning av metaller kräver betydligt mindre energi än att utvinna och bearbeta nya råmaterial, vilket gör det till ett både ekonomiskt och miljövänligt alternativ.

Ett annat intressant material är bambu, ett unikt material känt för sina egenskaper såsom hållbarhet och sin förmåga att växa extremt snabbt (med en tillväxttakt på upp till 30 centimeter per dag kan bambu bli fullvuxet på bara några månader), vilket gör det till en av de snabbast förnybara resurserna vi har. Miljöpåverkan från bambu är också betydligt mindre jämfört med många konventionella byggmaterial. Det kräver mycket lite eller inga bekämpningsmedel för att odlas och kan därför odlas på ett miljövänligt sätt. Bambu används som pelare och balkar och kan till och med fungera som förstärkning i betongkonstruktioner – en lösning där det ofta ersätter stål.

Det är inte bara miljövänligheten som gör bambu till ett attraktivt val, utan även dess styrka och flexibilitet. Med en draghållfasthet som kan mäta sig med stålets är det ett utmärkt material för att bygga i områden som ofta drabbas av naturkatastrofer, som jordbävningar och stormar. Därför är bambu särskilt populärt i regioner som Kina och Filippinerna, där dess styrka och anpassningsförmåga används för att skapa säkra och hållbara strukturer. (Distrelec)

Även om bambu ännu inte används i någon större utsträckning inom svensk byggindustri, kan det lyftas fram som ett exempel på hur alternativa och snabbt förnybara material kan bidra till mer hållbara bygglösningar globalt. Sådana innovationer kan inspirera framtida materialval även i Sverige, särskilt i takt med att intresset för biobaserade material ökar.

Återvunnen plast är också ett alternativ, särskilt för dess styrka, låga vikt och flexibilitet. Genom att använda plast som redan har använts, kan vi minska avfallet och även förbättra byggmaterialens prestanda, som exempelvis isoleringspaneler och strukturella element.

På tal om plaster så finns det även något som kallas för bioplaster, som tillverkas från förnybara råvaror som alger, majsstärkelse och sockerrör. Dessa bioplaster är ett utmärkt alternativ till vanlig traditionell plast, som vanligtvis är baserad på fossila bränslen. En av de stora fördelarna med bioplaster är att de antingen är återvinningsbara eller komposterbara, vilket gör att de har betydligt lägre koldioxidpåverkan än de fossila plastprodukterna. Men även om bioplaster kan minska vårt beroende av fossila bränslen och hjälpa till att minska växthusgasutsläpp, varierar deras

miljöpåverkan beroende på hur de produceras och hanteras efter användning. Vissa bioplaster kräver särskilda förhållanden för att brytas ner, och odling av råmaterialen kan påverka livsmedelsförsörjningen eller markanvändningen. (Distrelec)

Hampa och halm är också två naturliga material som är på frammarsch inom hållbart byggande. Ett bra exempel på hampanns hållbarhet är "Flat House" i Cambridgeshire, där hampa användes som huvudbyggmaterial. Med tanke på att det är en växt som växer fort så odlades hampan lokalt, utan kemikalier eller gödningsmedel, och bidrog till att skapa ett miljövänligt och hälsosamt hem. Förutom det, binder hampa koldioxid under sin tillväxt, vilket gör att byggnaden får ett lägre koldioxidavtryck. (Byrum, 2021)

Även fast de hittills främst framförts i bostadsprojekt som Flat House så är det inte otänkbart att dessa material kan skalas upp och tillämpas även i större byggnader, som skolor, kontor eller andra offentliga miljöer.

Det finns flera imponerande exempel som man kan ta lärdom och inspiration från. Ett av de mest kända exemplen är Bullitt Center i Seattle, Washington, som ofta beskrivs som världens grönaste byggnad. Här arbetade byggteamet i två år med att hitta material som inte innehåller några farliga kemikalier, såsom kadmium, asbest eller flamskyddsmedel som kan vara skadliga för både människor och miljö. Exempel på material de använde var 100% FSC-certifierat trä (Forest Stewardship Council certifierat - minskar koldioxidavtrycket och säkerställer hållbar skogsförvaltning), limfria golvmaterial, giftfria isoleringslösningar och byggprodukter listade i det så kallade "Red List Free"-registret, vilket innebär att de inte innehåller några av de ämnen som klassas som särskilt farliga. Det var en lång och noggrann process för att säkerställa att varje val av material inte bara var hållbart utan också hälsosamt för alla som kommer i kontakt med byggnaden. (Bluebeam. (2024). Green Building Materials for Sustainable Construction., Bullitt Center. (2014). *Red List Compliant Products.*, Bullitt Center. (2013). *Tall Timbers.*)

En annan spännande byggnad är Makoko Floating School i Lagos, Nigeria. Denna skola från 2013 skapades som ett svar på de växande klimatförändringarna och den snabba urbaniseringen i Afrika. Byggnaden är uppförd med hjälp av återvunna plasttunnor, lokal bambu och trä från ett närliggande sågverk. Den är ett bra exempel på hur man kan använda lokala och återvunna material vart man än befinner sig för att bygga hållbart, samtidigt som man möter de specifika behov som samhället har. (Bluebeam. (2024). Green Building Materials for Sustainable Construction.)

Och vi har också Pixel Building i Australien, en kontorsbyggnad som är byggd med hållbara och återvunna material. Där användes betong som har låg koldioxidpåverkan (möjligtvis grön betong) och byggnaden fick också det högsta betyget någonsin från Green Building Council of Australia, vilket understryker hur det går att skapa funktionella kontorsutrymmen samtidigt som man minimerar miljöpåverkan. (ibid.)

När vi väljer byggmaterial är det viktigt att tänka på vilka kemiska ämnen som ingår i dem, eftersom dessa ämnen ger materialen deras specifika egenskaper. För att uppnå olika funktioner används olika tillsatser. Men det är också avgörande att dessa tillsatser uppfyller grundläggande hälso- och miljökrav. Det finns dock två typer av kemiska ämnen som bör undvikas vid val av byggprodukter: utfasningsämnena och riskminskningsämnena.

Utfasningsämnena är särskilt farliga och bör helt undvikas. Dessa ämnen har bevisade negativa effekter på både miljön och hälsan, och kan vara cancerframkallande eller ha förmågan att lagras i levande organismer. Exempel på dessa farliga ämnen är kvicksilver, bly och kadmium, som både är giftiga och har långvariga effekter på naturen. Utfasningsämnena kan också vara persistenta, bioackumulerande och toxiska, vilket betyder att de samlas i organismer och miljön över tid. (Byggtjänst, 2021)

Riskminskningsämnena, å andra sidan, bör användas med försiktighet. Dessa ämnen är inte lika farliga som utfasningsämnena, men de kan ändå orsaka allvarliga problem, som allergiska reaktioner eller ackumulering i organismer. Riskminskningsämnena kan till exempel vara mycket giftiga vid akut exponering eller orsaka långsiktiga skador, som genetiska defekter eller allergier. De kan också ha långvariga miljöeffekter, vara bioackumulerande och giftiga, och ha potentiella effekter på hälsan på lång sikt. (ibid.)

EU:s lagstiftning, särskilt REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) och CLP (Classification, Labelling and Packaging), säkerställer att kemiska ämnen i byggmaterial är korrekt klassificerade och märkta, så att både företag och konsumenterna kan ta informerade beslut. REACH syftar till att registrera kemiska ämnen inom EU, medan CLP innehåller regler för hur dessa ämnen ska hanteras, märkas och förpackas för att minimera riskerna för både hälsa och miljö. (ibid.)

3.2. Innovativa byggmetoder

Förutom att välja hållbara material så påverkar själva byggprocessen och de tekniker vi använder våra önskade slutresultat. Genom att integrera innovativa konstruktionstekniker och metoder kan vi ytterligare bidra till att minska energianvändningen, förbättra byggnaders prestanda och skapa miljövänliga lösningar för framtiden. Först på tur har vi passivhusstandard. När man bygger ett hus enligt passivhusstandarden fokuserar man på att minimera alla tänkbara värmeförluster. Målet är att skapa en byggnad som är lufttät och välisolerad, samtidigt som man ser till att inga köldbryggor uppstår, vilket kan hända runt fönster eller dörrar. Passivhus är designade för att värmas upp av naturliga källor, som till exempel solen, den omgivande luften, eller den interna värmen från de som bor i huset bidrar med.

I extrema kalla väderförhållanden kan passivhus ibland ha svårt att hålla temperaturen enbart genom dessa metoder, och då väljer många att komplettera med en värmepump eller en kamin. Passivhus kräver också en mycket mer omfattande isolering än traditionella hus. Här kollar man U-värdet, vars värde visar hur mycket värme som förloras från byggnaden. Ju lägre U-värde, desto mer värme behåller huset. För ett passivhus ligger U-värdet vanligtvis runt 0,10–0,15 W/m²K för väggar, medan traditionella byggnader ofta har U-värden på omkring 0,20–0,30 W/m²K. För fönster ligger U-värdet i passivhus normalt under 0,80 W/m²K, jämfört med cirka 1,2–1,5 W/m²K i konventionella hus. Det är även en prioritet att hålla antalet köldbryggor till ett minimum, eftersom köldbryggor kan dra bort värme från insidan, vilket man vill undvika. (Passive House Institute)

När det gäller fönster är det viktigt att de är moderna och täta så att kall luft inte strömmar in och skapar kallras. Eftersom fönster är den byggnadsdel som har högst U-värde, bör man välja fönster med så lågt U-värde som möjligt för att minimera värmeförlusterna. Därför används ofta treglasfönster för att förbättra den totala energieffektiviteten. Dessa har vanligtvis lågemissionsskikt på glasen och kan även innehålla en speciell gas, till exempel argon (se Menta Fönster), mellan glasrutorna för ökad isoleringsförmåga. För att maximera uppvärmningen bör de största fönsterpartierna placeras i söderläge, eftersom solen är som mest närvarande där. Fönster kan även placeras på andra sidor, men då ofta i mindre mängder. Ventilation är också en viktig del av passivhusens konstruktion, och nästan alla passivhus är utrustade med FTX-system. (Passivhuscentrum)

När vi pratar om passivhus och hur dessa byggnader är utformade, är det också viktigt att förstå konceptet termisk massa och hur det kan spela en avgörande roll för inomhusklimatet och energianvändningen. Termisk massa refererar till materialens förmåga att lagra och frigöra värme, vilket gör det möjligt för dem att jämma ut temperaturvariationer inomhus. När ett material har hög termisk massa, innebär det att det kan absorbera stora mängder värme och sedan avge det långsamt. Termisk fördröjning handlar om hur snabbt detta material släpper ifrån sig den lagrade värmen. Generellt sett, ju högre termisk massa ett material har, desto längre tid tar det för det att släppa ut värmen det har "samlat på sig" under dagen.

Material som betong, tegel och sten har ofta hög termisk massa, medan lättare byggmaterial såsom trästommar har en lägre termisk massa. Den rätta användningen av termisk massa kan förbättra värmehantering i ett hem. Om det används på ett ineffektivt sätt kan det dock göra huset mindre bekvämt och till och med leda till högre energikostnader. (Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources)

Termisk massa är särskilt fördelaktigt i klimat där det finns stora temperaturvariationer mellan dag och natt. I varma och fuktiga klimat, där temperaturer inte skiljer sig mycket, är det ofta bättre att använda lättare byggmaterial. Men i klimat där både uppvärmning och kylning behövs kan hög termisk massa vara en stor tillgång. Det gör det möjligt att lagra värme under dagen och släppa ut den på kvällen, vilket kan minska behovet av både uppvärmning på vintern och kylning på sommaren, vilket i sin tur kan sänka energikostnaderna.

I kalla och svala klimat, där uppvärmning är en stor del av energianvändningen, hjälper hög termisk massa till att lagra och frigöra värme som gör det möjligt att stödja passiv uppvärmning. För att termisk massa ska vara effektiv måste den kombineras med andra passiva designprinciper, som rätt orientering av byggnaden, effektiv isolering och lämplig fönsteranvändning som vi nämnde ovan för att optimera solens värmeinsläpp och minska värmeförluster och behovet av artificiell belysning. (Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources)

Termisk massa kan realiseras på olika sätt. Det kan vara genom golv, som till exempel betongplattor, eller genom väggar med material som tegel. Även genom att använda tillsatser som vattenfyllda behållare som lagrar och frigör värme. När det används korrekt, kan termisk massa vara en kraftfull metod för att skapa en mer energieffektiv byggnad med ett behagligt inomhusklimat när som.

3.3 Modularade byggsystem

Modulerade byggsystem har blivit en allt mer populär metod inom byggbranschen, särskilt på grund av deras hållbarhetsfördelar och effektivitet. Dessa system bygger på prefabricerade moduler som tillverkas i fabrik och sedan transporteras till byggsplatsen för montering. Genom denna metod minskas byggtiden avsevärt, vilket i sin tur leder till lägre energianvändning och minskad miljöpåverkan (Smith, 2020).

En av de största fördelarna med modulerade byggsystem är deras resurseffektivitet. Eftersom modulerna tillverkas i en kontrollerad miljö kan materialspill minimeras, och återanvändning av material blir enklare (Jones & Brown, 2018). Dessutom möjliggör den industriella tillverkningen en mer noggrann kvalitetskontroll, vilket kan leda till byggnader med högre energieffektivitet och bättre isoleringsegenskaper. Studier visar att modulbyggnader ofta har en lägre koldioxidpåverkan jämfört med traditionellt byggda strukturer, särskilt när de kombineras med hållbara energilösningar som solpaneler och energieffektiva ventilationssystem (White et al., 2021).

Flexibiliteten är en annan viktig aspekt av modulerade byggsystem. Eftersom modulerna är standardiserade men ändå kan anpassas efter behov, kan byggnader lätt förändras eller utökas över tid. Detta gör dem särskilt användbara för sektorer som skola och vård, där behov kan förändras snabbt (Taylor, 2019).

Trots dessa fördelar finns det vissa utmaningar med modulerade byggsystem, såsom transportkostnader och initiala investeringskostnader. Dock pekar forskning på att de långsiktiga ekonomiska och miljömässiga fördelarna överväger dessa initiala hinder (Miller, 2022).

4. Certifieringssystem och standarder

Certifieringssystem och standarder för hållbara byggnader, såsom LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) och BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), spelar en viktig roll i utvecklingen och implementeringen av hållbara byggnader. Dessa system bedömer och klassificerar byggnader utifrån olika kriterier som energianvändning, materialval, vattenförbrukning och inomhusmiljö. Genom att utvärdera dessa system kan vi förstå deras betydelse och påverkan på byggbranschens hållbarhetsarbete.

LEED är ett globalt erkänt system som klassificerar byggnader utifrån en poängbaserad skala. Poäng ges för olika hållbara åtgärder, som energieffektivitet, vattenbesparing och användning av hållbara material. LEED har flera certifieringsnivåer: Certified, Silver, Gold och Platinum, beroende på antalet uppnådda poäng (USGBC, 2020).

BREEAM är det äldsta och ett av de mest utbredda certifieringssystemen i världen. BREEAM bedömer byggnader utifrån kategorier som energi, hälsa och välbefinnande, föroreningar, transport och materialval. Systemet har olika betygsnivåer, från Pass till Outstanding (BREEAM, 2021).

Det finns flera fördelar med att implementera certifieringssystem.

En av de främsta fördelarna är minskad energianvändning, vilket leder till lägre driftskostnader. Byggnader som uppnår certifieringar som LEED eller BREEAM är ofta bättre isolerade, har effektivare uppvärmnings- och kylsystem och använder förnybara energikällor. Detta bidrar till både lägre energikostnader och minskade koldioxidutsläpp (Häkkinen & Belloni, 2011).

Miljöbyggnad är ett svenskt certifieringssystem som fokuserar på energi, inomhusmiljö och materialval. Systemet, som administreras av Sweden Green Building Council, har tre nivåer: Brons, Silver och Guld (SGBC, 2022). Exempel på Miljöbyggnad-certifierade fastigheter är KTH Live-In Lab i Stockholm.

WELL Building Standard är ett certifieringssystem som lägger särskild vikt vid människors hälsa och välbefinnande i byggda miljöer. Det omfattar faktorer som luftkvalitet, vatten, ljus, rörelse och mentalt välbefinnande (IWBI, 2022). WELL används alltmer i kontorsbyggnader för att skapa hälsofrämjande arbetsmiljöer.

ISO-standarder för byggsektorn, internationella standarder som ISO 14001 (miljöledning) och ISO 50001 (energieledning) används brett i byggsektorn för att strukturera och förbättra miljö- och energiprestanda (ISO, 2018).

Living Building Challenge (LBC) är en av de mest ambitiösa certifieringarna för hållbart byggande och utvecklas av International Living Future Institute (ILFI, 2020). Certifieringen utgår från att byggnader ska vara regenerativa, vilket innebär att de inte bara ska minimera negativ miljöpåverkan utan även bidra positivt till sin omgivning.

Till skillnad från många andra system baseras LBC på verifierad drift, där en byggnad måste uppfylla samtliga krav under minst tolv månaders användning innan certifiering kan ges (ILFI, 2019).

LBC ställer också mycket höga krav på energiprestanda, där byggnaden ska producera minst lika mycket förnybar energi som den själv förbrukar, samt omfattande materialkrav där vissa ämnen, ofta kallade "Red List"-kemikalier, är helt förbjudna (ILFI, 2019).

Certifierade byggnader är utformade för att maximera naturligt ljus, förbättra kvaliteten på inomhusluften och minska buller, vilket kan ha positiva effekter på hälsa och välbefinnande för byggnadens användare (BREEAM, 2021). Detta kan även leda till högre produktivitet på arbetsplatser och minskad sjukfrånvaro (Kats, 2010).

Fastigheter med hållbarhetscertifieringar har ett högre marknadsvärde och är mer attraktiva för investerare och hyresgäster. Detta beror på att certifierade byggnader ofta har lägre driftskostnader och anses vara framtidssäkra, vilket är viktigt i en tid av ökande miljömedvetenhet och striktare miljölagstiftning (Wiley et al., 2010).

Certifieringssystemen främjar användningen av återvunna och lokalt tillgängliga material samt förnybara energikällor, vilket minskar byggnadens negativa påverkan på miljön. Genom att sätta standarder för resurseffektivitet hjälper de till att minska byggsektorns koldioxidutsläpp och främja mer hållbara byggnadslösningar (Häkkinen & Belloni, 2011).

Implementeringen av certifieringssystem har haft en tydlig inverkan på byggbranschen genom att sätta standarder för hållbarhet och uppmuntra innovation. Genom att följa dessa riktlinjer får man byggföretag att utveckla nya tekniker och lösningar som bidrar till hållbarhet, såsom energieffektiva material, bättre isolering och smartare byggnadssystem. Detta har bidragit till en ökad medvetenhet

om miljöfrågor inom branschen och lett till att fler företag och projekt strävar efter att uppnå hållbarhetsmål (Wiley et al., 2010).

Sammanfattningsvis bidrar certifieringssystem till att driva byggbranschen mot mer hållbara och energieffektiva lösningar. Dessa system sätter en standard för byggnaders miljöprestanda och erbjuder både ekonomiska och miljömässiga fördelar, vilket har stor betydelse för att minska den globala påverkan från byggsektorn.

5. Internationella exempel på hållbara byggnader

Vi har valt att inkludera fyra internationella exempel på hållbara byggnader i vårt arbete eftersom de är hållbara byggnader och har effektiva, miljövänliga lösningar som väckte vårt intresse från en tidigare kurs vi läst. De utvalda byggnaderna representerar till exempel kontorsbyggnader, forskningscentra och utbildningslokaler, vilket möjliggör en bred analys av hållbarhets principernas tillämpning inom olika användningsområden. Byggnaderna har dessutom valts utifrån deras geografiska spridning, för att analysera hur lokala klimatförhållanden och samhällsbehov påverkar lösningarna för hållbart byggande.

Vårt syfte är att genom dessa exempel på hållbara byggnader undersöka hur teoretiska modeller för hållbar utveckling inom byggsektorn har implementerats i praktiken, och vilka strategier som använts för att integrera miljömässiga, ekonomiska och sociala aspekter i design och konstruktion.

5.1 The Edge

The Edge (figur 8) är en av världens mest hållbara byggnader som är belägen i Amsterdam som är ett plusenergihus. Den eleganta byggnaden kombinerad med smart samt avancerad teknik resulterade 98,36% i hållbarhets poäng hos BREEAM-NL.

The Edge är känd för sin imponerande energiprestanda samt självförsörjande energiförsörjning med sina 28 000 solpaneler på taket och fasaden som producerar sin egen förnybara energi. Byggnaden är orienterad och formad på ett sätt att solens kraft utnyttjas optimalt och med en fasad av glas ser byggnaden till att man kan utnyttja dagsljuset så länge som möjligt utan att solens värme påverkar temperaturen inuti byggnaden. För att undvika övertemperaturer använder byggnaden solskyddande glas, strategiskt placerade solpaneler som fungerar som solavskärmning samt ett sensorstyrt ventilations- och kylsystem som automatiskt reglerar inomhusklimatet. Byggnadens södra sida är utrustad med effektiva solpaneler som håller värmen borta och samtidigt absorberar strålningen när den är som starkast, vilket ger byggnaden tillräckligt med energi för värme- och kylinstallationer, alla bärbara datorer och smartphones i byggnaden och eldrivna fordon som används för de anställda (Edge Technologies, 2024).

Uppvärmningen och kylningen är reglerad på ett hållbart sätt med grundvattenkällor som finns 130 meter under jorden, en för kallt vatten och en för varmvatten. Dessa kallas för akvifera värmerenergilagringspumpar som styrs av solenergi beroende på det inre och yttre klimatet (ibid).

6000 lågenergilampor är anslutna till dagsljus-, temperatur-, infraröd och rörelsedetektorer som är aktiva vid behov. LED-lamporna sparar energi eftersom det är 3,9 watt/m² istället för standard som är 8 watt/m² (ibid.)

Utöver detta har byggnaden även geotermisk värmesystem som utnyttjar den naturliga värmen från marken för att värma upp byggnaden samt producera varmvatten (ibid.).



Figur 8: The Edge byggnaden (Garofalo, 2015).

Fakta (The Edge):

Användning: Kontorsbyggnad

Byggnadsår: Färdigställd 2015

Storlek ca. 40 000m²

Höjd: ca. 60m (15 våningar)

Stomme och material: Stål- och betongstomme med (klimatsmart) glasfasad

Energiprestanda: Plusenergihus, producerar mer energi än det förbrukar

Certifiering: BREEAM-NL outstanding (98,36%)

5.2 The Bullitt Center

The Bullitt Center i Seattle (figur 9), som invigdes 2013, är ett banbrytande exempel på hållbar arkitektur och anses vara en av världens mest miljövänliga kommersiella byggnader. Byggnaden, som har sex våningar, är helt självförsörjande på energi och har erhållit ”Living Building Challenge-certifieringen”, vilket är en av de mest krävande standarderna för hållbara byggnader.

Byggnaden drivs enbart av solenergi som genereras från ett stort antal solpaneler på taket. Trots Seattles ofta molnigt väder är solpanelerna tillräckliga för att täcka byggnadens energibehov året runt. Bullitt Center använder passiv design och smarta energisystem för att minimera förbrukningen av el och värme, vilket gör det till en netto-noll energibygnad (Rombouts, 2016).

Byggnaden har ett innovativt system för att samla och filtrera regnvatten, vilket förser hela byggnaden med dricksvatten. Dessutom används komposterande toaletter som minimerar vattenanvändningen och eliminerar behovet av anslutning till stadens avloppssystem (Bradshaw, 2015).

Bullitt Center är byggd av icke-toxiska och lokalt tillgängliga material, däribland trä från certifierat hållbart skogsbruk. Genom att undvika farliga kemikalier och fokusera på återvunna och hållbara material, minimerar byggnaden sin miljöpåverkan och skyddar inomhusmiljön för de som arbetar där (Lynch, 2019).

Byggnaden är designad för att maximera användningen av naturligt dagsljus och ventilation, vilket inte bara minskar energianvändningen, utan även skapar en bättre arbetsmiljö för de som vistas i byggnaden. Det främjar dessutom medvetenheten om hur byggnader kan ha en positiv inverkan på människors hälsa och välbefinnande (Bradshaw, 2015).

Bullitt Center är en banbrytare inom hållbart byggande och har visat hur moderna byggnader kan utformas för att ha minimal miljöpåverkan, samtidigt som de erbjuder hög komfort och funktionalitet.



Figur 9: The Bullitt Center byggnaden (Benschneider, 2013).

Fakta (The Bullitt Center)

Användning: Kommersiell kontorsbyggnad

Byggnadsår: 2013

Storlek: Cirka 4 645 m²

Höjd: 6 våningar (cirka 19 meter)

Stomme och material: Stomme i trä och stål, interiört FSC-certifierat trä

Energiprestanda: Nettonoll-energibyggnad

Certifiering: Living Building Challenge (en av världens mest krävande certifieringar)

5.3 The Crystal

The Crystal (figur 10) i London är en av världens mest hållbara byggnader och ett av de mest framstående exemplen på grön arkitektur. Byggnaden är både ett besökscenter och en utställning för hållbar stadsutveckling, och drivs av Siemens som en plattform för att främja innovation inom hållbar teknik och energihantering. Här är en mer detaljerad beskrivning av byggnadens hållbara lösningar, certifieringssystem och materialval.

The Crystal är känt för att vara koldioxidneutral och drivs enbart med förnybar energi. Solpaneler på byggnadens tak producerar en del av energin, medan resterande behov täcks av ett fjärrvärmesystem som använder biomassa som energikälla. Byggnadens energianvändning är

ungefär hälften av vad en typisk kontorsbyggnad skulle använda i samma storlek, vilket är ett resultat av en noggrant utformad energihantering och högeffektiv isolering (Wilkinson, 2014).

The Crystal använder sig av avancerad teknik för att övervaka och kontrollera energianvändningen i realtid. Ett Building Management System (BMS) ser till att belysning, uppvärmning och ventilation alltid fungerar så effektivt som möjligt baserat på användning och väderförhållanden (Jones, 2016). Byggnadens design främjar naturlig ventilation, vilket minskar behovet av mekanisk kylning under varmare månader.

The Crystal är utrustad med ett av världens mest avancerade vattenhanteringsystem. Genom att samla regnvatten och använda det i byggnadens sanitära system minskar byggnaden sitt beroende av dricksvatten med upp till 90%. Dessutom används ett vattensystem där använt vatten renas och återcirkuleras, vilket ytterligare bidrar till hållbarheten (Smith, 2015).

Byggnaden följer principer om "zero waste," där avfallet från verksamheten i största möjliga mån återvinns eller återanvänds. Detta är i linje med Siemens mål att skapa cirkulära flöden i sina byggnader och processer (Brown, 2017).

The Crystal är en av få byggnader i världen som har erhållit både LEED Platinum och BREEAM Outstanding, de högsta certifieringsnivåerna i de respektive systemen. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) är ett internationellt system som fokuserar på hållbara byggnader, medan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) är det mest använda miljöcertifieringssystemet i Europa. Dessa certifieringar indikerar att The Crystal uppfyller exceptionellt höga krav vad gäller energianvändning, vattenhantering, inomhusmiljö och byggmaterial (Jones, 2016).

Byggnadens fasad består huvudsakligen av glas, vilket tillåter ett maximalt insläpp av dagsljus, vilket minskar behovet av artificiell belysning. Glaset är högpresterande och bidrar till att bibehålla byggnadens termiska effektivitet. Dessutom har man använt material som har låg miljöpåverkan och som kan återvinnas vid byggnadens slutliga livscykel. Detta inkluderar återvunnet stål och FSC-certifierat trä, vilket säkerställer att materialen kommer från ansvarsfullt skötta källor (Wilkinson, 2014).

The Crystal är ett landmärke för hållbar arkitektur och en modell för hur moderna byggnader kan minimera sin miljöpåverkan samtidigt som de erbjuder högkvalitativa arbets- och utställningsutrymmen. Med dess innovativa lösningar för energihantering, vattenbesparing och

användning av hållbara material, visar The Crystal vad som är möjligt när hållbarhet är en central del av byggnadens design och drift.



Figur 10: The Crystal byggnaden (Reddaway, 2011).

Fakta (The Crystal):

Användning: Utställningscenter och kontor

Byggnadsår: 2012

Storlek: ca. 6300m²

Höjd: 65 m

Stomme och material: Betong, stål och glasfasad

Energiprestanda: Koldioxidneutral

Certifiering: BREEAM Outstanding och LEED Platinum

5.4 One Angel Square

One Angel Square (figur 11) i Manchester är en av de mest hållbara byggnaderna i Europa och används som huvudkontor för Co-operative Group. Byggnaden, som öppnades 2013, är känd för sina innovativa hållbara lösningar, materialval och designstrategier. Här är en beskrivning av dessa aspekter, samt dess certifieringssystem:

One Angel Square använder en rad energieffektiva och hållbara tekniker för att minimera dess miljöpåverkan:

Byggnaden är utrustad med ett kombinerat värme- och kraftverk (CHP) som drivs av biobränsle från lokalt producerade rapsfrön. Det här systemet minskar behovet av energi från det nationella elnätet och använder förnybar energi för att värma och kyla byggnaden (Gardiner & Theobald, 2013).

Ett avancerat ventilationssystem använder naturlig ventilation för att hålla byggnaden sval under varma perioder och minska behovet av luftkonditionering. Byggnadens design möjliggör att frisk luft kan komma in genom den yttre fasaden och släppas ut genom ett centralt atrium (Sustainable Construction, 2013).

One Angel Square har en tjock termisk massa som hjälper till att reglera temperaturen i byggnaden och minskar energianvändningen (BREEAM, 2013).

Materialvalen för One Angel Square har gjorts med fokus på att minimera miljöpåverkan. Stora delar av byggnaden är byggda med återvunna och lokalt producerade material, vilket minskar både transporter och byggnadens koldioxidutsläpp (Sustainable Construction, 2013).

Trä som använts i interiören är certifierat av Forest Stewardship Council (FSC), vilket garanterar att det kommer från hållbart skogsbruk (BREEAM, 2013).

One Angel Square har fått flera prestigefyllda hållbarhetscertifieringar.

Byggnaden är certifierad som BREEAM Outstanding, den högsta nivån inom detta ledande certifieringssystem för hållbara byggnader. BREEAM bedömer byggnader utifrån energiprestanda, vattenförbrukning, avfallshantering, materialval och inomhusklimat (BREEAM, 2013).

Byggnaden har också fått ett högt betyg inom LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), ett annat globalt hållbarhetscertifiering system som fokuserar på energieffektivitet, vattenbesparing, och minskning av koldioxidutsläpp (USGBC, 2013).



Figur 11: One Angel Square byggnaden (Hopkinson, 2012).

Fakta (one Angel Square):

Användning: Kontorsbyggnad

Byggnadsår: 2013

Storlek: ca. 33 000m²

Höjd: 72 m (15 våningar)

Stomme och material: Betong, återvunnet stål, FSC-certifierat trä

Energiprestanda: +50% effektivare än kraven i UK Building Regulations

Certifiering: BREEAM outstanding, LEED Gold

6. Miljövänliga lösningar inom byggsektorn

6.1 Naturbaserade lösningar i byggsektorn

Naturbaserade lösningar inom byggsektorn omfattar metoder och material som inspireras av eller använder naturens egna processer för att skapa hållbara och klimatsmarta byggnader.

Några specifika exempel är biobaserade byggmaterial som trä som är ett förnybart byggmaterial med låg klimatpåverkan. Till exempel används korslimmat trä (CLT) i moderna höghus som Sara Kulturhus i Skellefteå, vilket gör byggnaden till en av de högsta träbyggnaderna i världen (Skellefteå kommun, 2022).

Lera och halm är traditionella tekniker som halmbals väggar och lerväggar återupplivas som hållbara alternativ. Dessa material erbjuder bra isoleringsförmåga och är nedbrytbara, vilket minskar avfallet vid rivning (Minke, 2013).

Grön infrastruktur som gröna tak och väggar. Gröna tak används i byggnader som City Skyliner i Stockholm, gröna tak kan förbättra byggnadens isolering, vilket minskar energibehovet för uppvärmning under kalla perioder. De kan också bidra till att hålla byggnader svalare och därmed minska behovet av kylning i ett varmare klimat. Dessutom absorberar de regnvatten, vilket minskar belastningen på avloppssystemen (Dunnett och Kingsbury, 2008).

Gröna korridorer och parker i urbana områden fungerar i grönområden som naturligt sänker koldioxidhalten och minskar värmeeffekter.

Naturliga vattenhantering som dagvattenhantering med våtmarker i städer som Köpenhamn använder naturbaserade lösningar för att hantera översvänningsrisker. Genom att integrera våtmarker och regnträdgårdar i stadsplaneringen kan regnvatten naturligt filtreras och fördröjas (EEA, 2015).

Permeabla ytor, genom att använda permeabla material på parkeringsplatser och gångvägar kan vatten sippra ner i marken, vilket efterliknar naturens vattenkretslopp.

Energioptimering med naturliga metoder där byggnader utformas med hänsyn till lokala klimatförhållanden vilket kan minska energibehovet. Ett exempel är Bullitt Center i Seattle, som använder naturlig ventilation och solvärme för energieffektivitet (Kibert, 2016).

Naturligt ljus och ventilation, strategisk placering av fönster och öppningar maximerar dagsljuset och skapar naturlig kylning, vilket minskar behovet av artificiell belysning och luftkonditionering.

6.2 Solceller i byggsektorn

Solceller har blivit en viktig komponent i byggsektorns omställning mot hållbara energilösningar. Solceller omvandlar solljus till elektricitet genom fotovoltaisk teknik och kan installeras på byggnaders tak, fasader eller som fristående enheter. De bidrar till att minska beroendet av fossila bränslen och sänker driftkostnaderna över tid (IEA, 2020).

Ett vanligt tillämpningsområde är integrering av solceller i byggnadens design, kallat Building-Integrated Photovoltaics (BIPV). Detta innebär att solpanelerna fungerar både som energiproducenter och byggnadskomponenter, till exempel i form av solcellstak eller glasfasader (Häberlin, 2012). Ett exempel är Solhusen i Växjö, där solceller integrerats i byggnadens tak och producerar en stor del av dess energibehov (Växjö kommun, 2021).

I större projekt kan solceller användas för att uppfylla krav från certifieringssystem som LEED och BREEAM, där energiproduktion från förnybara källor belönas med poäng (USGBC, 2023).

Det finns flera fördelar med solceller i byggsektorn. Solceller minskar koldioxidutsläpp och bygger på en förnybar resurs. När solceller är installerade kräver de minimalt underhåll och producerar elektricitet gratis (Green, 2019). Genom att kombinera solceller med energilagring, exempelvis batterier, kan byggnader bli självförsörjande på el (REN21, 2021).

Trots deras fördelar kräver solceller initialt en hög investeringskostnad och deras effektivitet påverkas av klimat- och väderförhållanden (IEA, 2020).

6.3 Geotermiskt värmesystem och vattentank

Ett geotermiskt värmesystem i kombination med en vattentank är en hållbar lösning för uppvärmning, kylning och varmvattenförsörjning. Geotermisk energi utnyttjar markens stabila temperatur genom en värmepump som överför värme till eller från jorden. Systemet lagrar sedan den uppvärmda energin i en vattentank för att optimera energianvändningen (Lund et al., 2020).

På vintern hämtas värme från marken för att värma byggnader, medan systemet kan omvändas på sommaren för kylning. En ackumulatortank används som buffert för att lagra varmvatten, vilket minskar energiförluster och jämnar ut skillnader mellan produktion och förbrukning (IEA, 2020).

Geotermiska system är särskilt energieffektiva och kan minska uppvärmningskostnaderna med upp till 75 % jämfört med traditionella system (Rafferty, 2000). De används både i små bostäder och större kommersiella fastigheter, där flera ackumulatortankar kan integreras för att möta högre energibehov (Rees, 2016).

6.4 Plusenergihus

Plusenergihus är byggnader som producerar mer energi än de förbrukar under ett år, vilket gör dem till en central del av hållbart byggande. Konceptet bygger på att minimera energianvändning genom energieffektiva lösningar och samtidigt maximera energiproduktionen genom förnybara energikällor, som till exempel solceller (Marszal et al., 2011).

Plusenergihus designas för att uppnå hög energieffektivitet genom användning av avancerad isolering, lufttäta konstruktioner och energieffektiva system för uppvärmning och ventilation. Till exempel används ofta värmepumpar och värmeåtervinning i ventilationssystemet för att minimera energiförluster (Lützkendorf och Balouktsi, 2017). Dessa byggnader är också utformade för att utnyttja passiv solvärme och naturligt dagsljus för att minska behovet av energikrävande belysning och värme (BPIE, 2019).

En viktig del av ett plusenergihus är dess energiproduktion. Solceller är den vanligaste tekniken, men det kan också inkludera andra teknologier, som små vindkraftverk eller geotermisk energi (Marszal et al., 2011). Den energi som produceras används för att driva byggnaden, och överskottet kan säljas till elnätet eller lagras i batterier för framtida användning (Luthander et al., 2015).

Plusenergihus är inte bara för bostäder utan kan också tillämpas på kommersiella byggnader, skolor och flerfamiljshus. De anses vara en nyckel till att uppnå klimatmål genom att minska koldioxidutsläpp och bidra till en hållbar energiförsörjning (IEA, 2022).

6.5 Orientering och klimatstudie

Orientering och klimatstudie vid bygge är en viktig del av byggprocessen, eftersom byggnadens placering och design i relation till det lokala klimatet kan påverka dess energianvändning, komfort och livslängd. Genom att ta hänsyn till dessa faktorerna redan i planeringsfasen kan man optimera byggnadens energieffektivitet och minska dess miljöpåverkan (Yezioro et al., 2008).

Byggnadens orientering har stor betydelse för hur den tar emot solstrålning, ventilation och skydd mot väder. I kalla klimat är det exempelvis till fördel att maximera utnyttjande av solvärme genom att placera byggnadens största fönsterytor mot söder (Berger et al., 2018). I varma klimat prioriteras istället skuggning och minskning av värme insläpp genom strategiska placeringar och användning av överhäng eller vegetation (Hachem et al., 2012).

Klimatstudier innebär att analysera faktorer som temperatur, vindriktning, nederbörd och solinstrålning för att anpassa byggnadens design till platsens förhållanden (Szokolay, 2014). En viktig metod är användningen av solbanediagram för att förstå hur solens position varierar under året, vilket hjälper till att optimera både belysning och passiv uppvärmning (Olgyay, 2015). Vindanalys kan användas för att säkerställa god naturlig ventilation och minska obehagliga vindförhållanden runt byggnaden (Santamouris et al., 2011).

Orientering och klimatstudier är centrala komponenter i hållbart byggande och är integrerade i system som LEED och BREEAM, där poäng ges för att designa byggnader i harmoni med platsens naturliga förutsättningar (Berardi, 2017). Digitala verktyg som Building Information Modeling (BIM) och energisimuleringsprogram används allt oftare för att analysera klimatdata och optimera byggnadens design (Azhar, 2011).

7. Diskussion

Hur kan vi bygga hållbart i Sverige med hållbara och smarta lösningar?

För att uppnå hållbart byggande i Sverige, måste vi utgå från en helhetssyn där byggnader inte bara ska vara energieffektiva under sin livscykel, utan även hållbara ur ett socialt och ekonomiskt perspektiv. Att bygga hållbart handlar om att skapa byggnader som är både miljövänliga och funktionella. Detta innebär att integrera smarta lösningar för energieffektivisering, vattenhantering och materialanvändning. För att göra detta måste byggbranschen börja tänka i termer av cirkulär ekonomi och inte bara fokusera på att bygga nya strukturer, utan även återanvända och återvinna material.

Ett exempel på hur detta kan uppnås är genom att använda modulerade byggsystem som kan anpassas och återanvändas vid framtida förändringar. Genom att använda byggsystem som gör det möjligt att snabbt demontera och återanvända material, kan vi minska mängden byggavfall och återinföra resurserna i nya byggprojekt. Dessutom kan vi genom smarta lösningar för energihantering, som förnybara energikällor som solpaneler, skapa byggnader som har en minimal påverkan på den omgivande miljön.

Att integrera hållbara och smarta lösningar inom byggsektorn i Sverige innebär att kombinera innovativa materialval och energieffektiva byggmetoder med avancerade teknologier som stöttar livscykelperspektivet. Exempel på hållbara byggnader som The Edge och Bullitt Center visar att användning av solpaneler, energieffektiv design och material som är lokalt producerade eller återanvända är framgångsrika strategier. Dessa exempel understryker vikten av att prioritera integrerade lösningar som kombinerar ekologiska, ekonomiska och sociala aspekter för att uppnå verklig hållbarhet.

Vilka materialval är mest hållbara och lämpliga för det svenska klimatet?

Det svenska klimatet kräver byggmaterial som kan stå emot väderförhållandena och samtidigt bidra till att byggnader är energieffektiva. Trä, som vi alla vet, är ett förnybart material och ett utmärkt val för byggprojekt i Sverige. Trä är också ett material som lagrar koldioxid under sin livscykel, vilket kan bidra till att minska byggsektorns klimatavtryck. Det är också bra för klimatet eftersom trä är ett naturligt material och vi kan alltid odla mer. Betong är ju annars ganska energikrävande, men om vi använder betong med lägre koldioxidutsläpp, eller återvunnen metall, kan vi göra en stor skillnad i klimatavtrycket. Hampa och bambu är också intressanta material.

Hampa används i flera olika typer av byggprodukter. En vanlig produkt i Sverige är hampakalk, ett biobaserat byggblock eller väggmaterial som består av hampa och kalk och erbjuder god isolationsförmåga samt fuktreglering. Hampa finns även som lösfallnadsisolering, liknande mineralull men med lägre klimatpåverkan. Bambu däremot används främst som bärande eller dekorativt material, exempelvis som golv eller paneler. (Ekobyggportalen, 2024)

För att skapa hållbara byggnader är det också viktigt att välja rätt typ av isolering. Isoleringsmaterial som cellulosafiber (från återvunnet papper) eller växtfiberisolering (t.ex. lin, hampa och ull) kan vara effektiva alternativ till traditionell mineralull. Dessa material är inte bara bra för att hålla byggnader varma på vintern och kalla på sommaren, utan de har också en låg miljöpåverkan, både i tillverkningsfasen och i slutet av sin livscykel.

Hur kan återanvändning och återvinning av byggmaterial bidra till hållbart byggande?

Återvunna material, som återanvänt tegel, betong eller glas, är också ett bra alternativ för hållbart byggande. Dessa material kräver mindre energi att producera än nya material och minskar mängden avfall. Återvinning av byggmaterial kan också minska behovet av att utvinna nya resurser, vilket minskar miljöpåverkan och bevarar naturresurser.

Återanvändning och återvinning av byggmaterial spelar en central roll i att minska byggsektorns klimatpåverkan och främja cirkulär ekonomi. Istället för att slänga byggmaterial när en byggnad rivs ner, kan många av dessa material återanvändas i nya byggprojekt. Till exempel kan tegel, betong, fönster och dörrar återanvändas eller renoveras för att förlänga deras livslängd.

Om vi refererar till tidigare exempel på hållbara byggnader, så ser vi att projekt där de använder återbrukad betong och stål inte bara minskar koldioxidutsläppen utan även gör att de sparar pengar. Det handlar också om att jobba med smarta metoder, där material går i ett kretslopp istället för att bara slängas. Och att verkligen sortera byggavfall på rätt sätt gör stor skillnad. På så sätt kan vi göra byggprocessen mer resurseffektiv och få till ett byggande där material används om och om igen istället för att bara gå till spillo.

En viktig aspekt är att designa byggnader för demontering, vilket innebär att byggnader planeras så att materialen kan återvinnas eller återanvändas när de inte längre behövs. För att underlätta återanvändningen bör byggnader utformas med modulsystem som gör det möjligt att ta bort och återanvända delar av strukturen utan att orsaka skada på materialet.

För att stödja återvinning måste också byggbranschen utveckla infrastrukturer som gör det enkelt att hantera byggavfall. Det innebär att skapa effektiva system för insamling och sortering av

byggmaterial, samt teknologier för att återvinna och bearbeta material så att de kan användas igen. Att etablera sådana system kommer inte bara att minska mängden byggavfall som går till deponi, utan också minska behovet av nya råvaror och bidra till en mer hållbar byggbransch.

Hur kan vi minska byggsektorns klimatpåverkan genom energieffektiva konstruktioner?

Energieffektiva byggnader är en viktig del av att minska byggsektorns klimatpåverkan. Det finns flera sätt att uppnå detta på. För det första kan byggnader utformas för att minska behovet av uppvärmning och kylning genom att optimera för solens passiva uppvärmningskraft. Genom att använda fönster som släpper in solenergi under vintermånaderna och blockerar den under sommaren, kan byggnader hållas varma på vintern och svala på sommaren, vilket minskar behovet av uppvärmning och kylning. Detta är en av de mest effektiva strategierna för att minska byggsektorns klimatpåverkan. Passivhus är ett tydligt exempel på detta, då dessa byggnader som sagt utnyttjar naturliga energikällor och minimalt beroende av extern uppvärmning. Tekniker som högpresterande isolering, förbättrade ventilationssystem och användning av termisk massa bidrar till att minska energianvändningen. Energieffektiva konstruktioner kan dessutom dra nytta av smart teknik, som sensorer för att optimera energianvändning i realtid.

Byggnader som har stabil isolering och täta fönster minskar värmeförlusterna, vilket gör att byggnader kan hålla en behaglig inomhustemperatur utan att behöva använda mycket energi. För att ytterligare minska energianvändningen kan moderna ventilationssystem med värmeåtervinning installeras, vilket gör att värmen i inomhusluften kan tas tillvara och användas för att värma upp den friska luft som tas in.

Dessutom kan byggnader kopplas till smarta elnät, vilket gör det möjligt att hantera och styra energianvändningen på ett effektivt sätt. Detta system kan också bidra till att balansera efterfrågan på energi genom att optimera användningen av förnybara energikällor och minska behovet av fossila bränslen.

En annan energieffektiv lösning för byggnader är att använda förnybar energi, som solpaneler eller värmepumpar. Solpaneler kan ge byggnaden elektricitet och värme genom att utnyttja solens energi, medan värmepumpar kan utnyttja den lagrade värmen i marken eller luften för att ge uppvärmning. Dessa lösningar leder till att byggnader blir mindre beroende av fossila bränslen och minskar därav klimatpåverkan.

Vilken roll spelar gröna tak och väggar för att minska energianvändning och öka biologisk mångfald?

Gröna tak och väggar är inte bara dekorativa komponenter, utan de ger en del fördelar för hållbart byggande. Dessutom fungerar gröna tak och väggar som regnvattenhanteringssystem, genom att ta upp och absorbera regnvatten, vilket minskar belastningen på avloppssystemet, minskar risken för översvämningar och vilket är bra för att hantera översvämningar och hålla staden mer hållbar.

Gröna tak och väggar kan också bidra till att förbättra luftkvaliteten och minska stadens värmeeffekt genom att ge ytor för växter att växa, och detta skapar även en bättre miljö för dessa växter, fåglar, insekter och andra djur i omgivningen, vilket ökar den biologiska mångfalden och stärker ekosystemen som i sin tur bidrar till att motverka klimatförändringar genom att fånga och lagra koldioxid. Studier visar också att gröna tak och väggar kan minska den där extra värmen som städer kan få, det som kallas ö-värmeeffekten, och de förbättrar luftkvaliteten. Samtidigt gör de städerna mer estetiskt tilltalande och trevliga att vara i.

Vilka smarta energilösningar, som solpaneler eller energilagring, kan integreras i byggnader?

Smarta energilösningar som solceller, energilagring och smarta byggnadssystem är viktiga komponenter för att skapa hållbara och energieffektiva byggnader. Solceller kan omvandla solens energi till elektricitet, vilket gör det möjligt för byggnader att bli självförsörjande eller minska beroendet av externa energikällor. Genom att kombinera solceller med energilagringssystem kan överskottsenergi som produceras under soliga perioder lagras och användas vid behov.

Solpaneler är en populär teknik som visat sig framgångsrik i flera projekt, särskilt när de kombineras med energilagringssystem som batterier. Andra innovativa teknologier inkluderar användning av geotermisk energi och system som återvinner spillvärme. Smart teknik för energihantering möjliggör effektiv användning av energiresurser.

Genom att installera sensorer och styrsystem kan byggnaden också automatiskt justera temperatur, belysning och ventilation baserat på faktorer som väderförhållanden och inomhusbehovet. Detta gör det möjligt att spara energi utan att påverka komforten för de boende eller användarna av byggnaden.

I alla dessa ovanstående frågeställningar som adresserats framgår det att byggsektorn har stor potential att bidra till en mer hållbar framtid. Nyckeln är att kombinera hållbara material och innovativa byggmetoder med energieffektiva och smarta teknologier. Exempel på hållbara byggnader och analyserna i detta arbete visar att det finns många lösningar som redan är

tillgängliga, men för att dessa ska implementeras brett krävs större medvetenhet, samarbete och investeringar i forskning och utveckling.

Byggnadens orientering, klimatstudier, passivhus, plusenergihus och energieffektivitet visar hur olika aspekter av hållbart byggande samverkar för att skapa långsiktigt hållbara lösningar. Genom att koppla samman dessa delar blir det tydligt hur avgörande en integrerad designprocess är för att uppnå både miljö- och komfortmål.

Orientering och klimatstudier är grunden för hållbart byggande. De påverkar hur effektivt en byggnad kan använda passiva energikällor, såsom solens värme och naturlig ventilation. Utan en väl genomförd klimatstudie riskerar en byggnad att förbruka mer energi än nödvändigt. Exempelvis kan en byggnad i ett kallt klimat som inte är rätt orienterad mot solen kräva betydligt mer energi för uppvärmning (Berger et al., 2018).

Digitala verktyg som BIM (Building Information Model) och energisimuleringar har förändrat dessa aspekter, vilket gör det möjligt att i detalj analysera byggnadens prestanda redan i designfasen (Azhar, 2011). Verktygen möjliggör att man kan optimera byggnadens utformning och minska onödiga kostnader eller energiförluster senare i byggprocessen.

Passivhus är ett tydligt exempel på hur design och teknik kan kombineras för att minska energianvändningen drastiskt. En byggnad som följer passivhusstandarden har välisolerade och lufttäta konstruktioner för att minimera energiförlust (Feist, 2015).

En av de största fördelarna med standarder för passivhus är dess förmåga att ge en konstant och hög komfortnivå. Samtidigt finns det utmaningar, särskilt i varma klimat, där kylbehovet kan vara svårt att hantera utan aktiva system (Schnieders och Hermelink, 2006). Här kan klimatstudier och lokalt anpassad design spela en nyckelroll, exempelvis genom att fokusera på skuggning och ventilation.

Passivhusen visar också hur små åtgärder i designen kan ge stora resultat. Att maximera solvärme utnyttjande i kalla klimat eller minska överhettning i varma klimat är exempel på strategier som gör byggnader både energieffektiva och komfortabla.

Plusenergihus visar på en vision för framtiden, där byggnader inte bara konsumerar mindre energi utan också bidrar till energisystemet genom att producera överskott av energi (Marszal et al., 2011). Dessa byggnader kombinerar passivhusstandarden med aktiva energi produktionssystem som solceller och batterilagring, vilket gör dem till en viktig del av energiomställningen.

Utmaningen med plusenergihus ligger dock i de initiala kostnaderna och behovet av avancerad teknik. Även om dessa byggnader är ekonomiskt fördelaktiga över tid, är investeringsnivån hög, vilket kan vara ett hinder för bredare implementering (Luthander et al., 2015). För att övervinna detta behövs utmaningen från exempelvis myndigheter för att göra teknologin mer tillgänglig.

En annan aspekt att beakta är hur plusenergihus påverkar det bredare energisystemet. Genom att generera överskottsenergi kan dessa byggnader bidra till att stabilisera energinätet, särskilt om de kombineras med smarta nätverk och energilagringstekniker.

Orientering och klimatstudier lägger grunden för att designa energieffektiva byggnader som passivhus och plusenergihus. Dessa standarder visar hur teori och praktik möts för att skapa lösningar som minimerar energianvändning och klimatpåverkan.

Samtidigt visar helheten att ingen enskild lösning är tillräcklig. Passivhus och plusenergihus kräver en samverkan mellan flera faktorer som platsens klimat, byggnadens utformning, materialval och teknik. Vidare betonar både passivhus och plusenergihus vikten av att kombinera traditionella arkitektoniska strategier, som byggnadens orientering, med moderna lösningar som digitala verktyg och energi produktionssystem.

För att nå klimatneutralitet är det avgörande att alla dessa aspekter integreras och att byggsektorn fortsätter att utveckla kostnadseffektiva och möjliga lösningar för både nybyggnation och renovering.

8. Slutsats

Hållbart byggande handlar inte bara om att använda förnybara eller låg miljöpåverkande material, utan också om att implementera en cirkulär ekonomi. Inom byggbranschen innebär detta att man fokuserar på att återanvända och återvinna byggmaterial för att minska både avfall och behovet av nya resurser. Fler och fler företag inom byggindustrin satsar på att skapa byggnader med återvunna material, till exempel återanvända tegel, betong och stål, eller material som kan återanvändas vid framtida renoveringar och ombyggnationer. Detta minskar behovet av att använda nya råvaror, vilket är ett viktigt steg mot att minska det ekologiska fotavtrycket från byggindustrin.

En annan aspekt av cirkulär ekonomi i byggandet är att tänka på byggnadens hela livscykel, från design till rivning. Byggnader kan utformas för att vara modulära eller kunna demonteras och omformas istället för att bli en källa till skräp när de inte längre behövs.

När det gäller energieffektivisering är det en fortsatt trend att bygga byggnader som är nästan självförsörjande på energi, och som inte bara reducerar energianvändningen utan även kan bidra till energinätet. Det handlar inte bara om att installera solpaneler eller värmepumpar, utan också om att bygga så tätt och effektivt som möjligt för att minimera energiförlust. Passivhusstandarden, där byggnader har en mycket låg energianvändning för uppvärmning och kylning, är exempel på detta.

Smart teknologi spelar också en stor roll. System som belysning, värme och ventilation justeras i realtid beroende på behov och väderförhållanden. Detta minskar energianvändningen och gör det möjligt att bättre övervaka och optimera byggnadens användning av resurser. Byggnader kan även utrustas med energilagringssystem som lagrar överskott från exempelvis solpaneler för användning vid senare tillfällen.

Teknologi och innovation kommer att fortsätta att spela en central roll i utvecklingen av hållbart byggande. Forskning på nya material som kan vara både starka, lätta och hållbara kan minska byggnadernas klimatavtryck. Biobaserade material, som trä, får allt mer uppmärksamhet på grund av dess förmåga att binda koldioxid under sin livscykel.

En annan viktig aspekt av hållbart byggande är att minska koldioxidutsläppen från själva byggprocessen. Bygglogistik spelar en central roll i detta, genom att effektivisera leveranskedjan och minska transporter av material. Detta innebär bland annat att planera byggprojekt så att material som ska användas inte behöver transporteras långa sträckor, utan kan hämtas från lokala källor.

Syftet med den här uppsatsen har varit att kolla på hur vi kan bygga mer hållbara byggnader i Sverige genom att analysera saker som bland annat materialval, byggmetoder, energieffektivitet, social hållbarhet och ekonomi. Genom att titta på exempel på hållbara byggnader och relevant litteratur har vi fått fram en massa bra insikter som hjälper oss att svara på de frågor vi ställt oss själva.

Först och främst ser vi att hållbart byggande i Sverige måste vara en helhetssyn där vi kombinerar ekologiska, ekonomiska och sociala faktorer. Det är oerhört viktigt att använda miljövänliga material, som till exempel korslaminerat trä och betong med låg koldioxidpåverkan, om vi ska minska byggsektorns klimatpåverkan. Men det handlar inte bara om materialval – byggprocesserna måste också optimeras så att vi kan återvinna och återanvända så mycket som möjligt. På så sätt minskar vi både avfall och resursförbrukning.

När vi pratar om energieffektiva byggnader så kommer passivhus och smarta teknologier för energihantering upp som riktigt bra alternativ för att minska energianvändning. Dessutom har gröna tak och väggar visat sig vara en dubbelvinst, eftersom de inte bara sparar energi utan också ökar den biologiska mångfalden i städerna.

Om vi kollar på byggnader som The Edge och Bullitt Center så ser vi hur förnybar energi, som solpaneler och energilagringssystem, verkligen kan förändra byggnadens energiförsörjning. Det här gör att byggnaderna blir mindre beroende av fossila bränslen och kan ge en mer hållbar energiförsörjning.

Social hållbarhet och ekonomi är också superviktiga. Hållbara byggnader ska vara tillgängliga för alla och samtidigt ge ekonomiska fördelar, som lägre driftskostnader och högre marknadsvärde.

För att bygga hållbart måste vi tänka långsiktigt, både för miljön och för samhället i stort. Det handlar inte bara om att välja rätt material eller tekniker, utan också om att tänka på hur vi som samhälle kan göra vår byggbransch mer medveten och ansvarstagande. Hållbart byggande är inte en snabb fix utan ett långsiktigt projekt som kräver engagemang från alla delar av samhället - från arkitekter och ingenjörer till politiker och alla allmänheten som kan bidra, hur lite det än är.

Vi bygger inte bara för dagens behov, utan vi bygger för framtiden. Om vi verkligen vill skapa städer som är bra för både oss och miljön, måste vi tänka mer på helheten. Det handlar om att skapa livskraftiga samhällen där människor kan leva och arbeta på ett sätt som inte bara är bra för oss här och nu, men även för kommande generationer. Så även om hållbart byggande ofta kan kännas som en utmaning, är det också en möjlighet att göra något positivt. Det är vår chans att ta ansvar och skapa en framtid där byggnader inte bara är funktionella, utan också bidrar positivt till vår omvärld.

Ju mer vi lär oss och engagerar oss, desto enklare blir det att göra hållbara val - både i vårt eget byggande och som samhälle, både inrikes och på en global nivå.

Samtidigt som vi är inriktade mot att omfamna nya idéer och teknologier, måste vi räkna med att bemöta och övervinna en rad hinder som kan uppstå under kommande etapper och kan försvåra eller skjuta fram våra mål och beräkningar. Ett stort hinder är ofta den ekonomiska aspekten. För många kan de initiala kostnaderna för hållbara byggmetoder verka avskräckande.

Ett annat hinder är att förändringar i byggbranschen tar tid. Det handlar inte bara om att implementera nya byggmaterial eller metoder, utan också om att skapa en kulturell förändring i hur vi tänker och arbetar kring byggande. Det kan ta tid för företag, kommuner och hela samhället att anpassa sig till ett nytt sätt att tänka och arbeta på. Vissa lösningar kanske inte är lika lättillgängliga i vissa områden eller kräver stor anpassning till lokala förhållanden. Detta kan skapa problem för både små och stora byggprojekt.

Ett ytterligare hinder är den politiska och lagstiftande processen. För att främja hållbarheten på en större skala kan förändringar i lagar och regler krävas, vilket kan vara en långsam och komplicerad process. Om inte stöd finns från myndigheter kan det bli svårt att motivera investeringar i hållbar byggteknik, särskilt för privata aktörer.

Hållbart byggande i Sverige är en dynamisk och mångfacetterad process där tekniska framsteg, material innovation och hållbara samhällslösningar samverkar för att bygga framtidens byggnader och samhällen. Genom att fokusera på cirkulära materialflöden, energieffektivisering, hållbar urbanisering och smart teknik, kan byggindustrin spela en central roll i att minska klimatpåverkan, främja social välfärd och skapa ekonomiskt lönsamma lösningar. För att åstadkomma detta krävs både tekniska innovationer och samarbete mellan alla aktörer inom byggsektorn, från planering till genomförande och drift.

Energieffektivitet inom byggbranschen är en kritisk faktor för att möta de globala klimatutmaningarna och minska byggsektorns stora energianvändning och koldioxidutsläpp. Genom att kombinera grundläggande principer som byggnadens orientering och klimatstudier med avancerade byggstandarder som passivhus och plusenergihus kan hållbara och energieffektiva lösningar implementeras.

Byggnadens orientering och klimatstudier är avgörande för att optimera byggnadens energiprestanda genom att anpassa designen till klimatets förutsättningar. De fungerar som en förutsättning för att uppnå de höga krav som ställs av koncept som passivhus och plusenergihus. Passivhus erbjuder en energieffektiv modell för att minimera energiförluster och maximera komfort,

medan plusenergihus går ett steg längre genom att generera energiöverskott och bidra till det bredare energisystemet.

Trots deras potential finns utmaningar, såsom höga initialkostnader, tekniska krav och behovet av integrerad planering. Här spelar digitala verktyg som BIM, samt stöd från politiska och ekonomiska incitament, en viktig roll i att göra dessa lösningar mer tillgängliga och möjliga.

Den gemensamma nämnaren för alla dessa aspekter är att de kräver en helhetssyn och långsiktig strategi. Endast genom att samordna platsanpassad design, energieffektiva byggnadsstandarder och smart teknik kan byggbranschen spela sin roll i övergången till en hållbar och klimatneutral framtid.

9. Källförteckning

9.1 Internetkällor

Australian Government, Department of Industry, Science, Energy and Resources. (u.å.). Thermal mass. <https://www.yourhome.gov.au/passive-design/thermal-mass> [Hämtad: 30/12-24].

Avfall Sverige. (u.å.). Fakta & statistik. <https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/inledning/> [Hämtad: 22/12-24].

Azhar, S. (2011). 'Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry', Leadership and Management in Engineering, 11(3), s. 241–252. [Hämtad: 29/11-24].

Berardi, U. (2017). 'A Comparative Analysis of the Environmental Sustainability of Green Roofs and Green Walls', Building and Environment, 111, ss. 53–69. [Hämtad: 4/1-25].

Berger, T., Amado, M. & Huber, F. (2018). 'The Influence of Building Orientation on Energy Performance', Energy and Buildings, 164, ss. 15–22. [Hämtad: 4/1-25].

Bluebeam. (2024). Green Building Materials for Sustainable Construction. <https://blog.bluebeam.com/se/green-building-materials-for-sustainable-construction> [Hämtad: 20/12-24].

Boverket. (u.å.). Avfall. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer—aktuell-status/avfall/> [Hämtad: 20/12-24].

Boverket. (u.å.). Introduktion till livscykelanalys (LCA). <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/introduktion-till-livscykelanalys-lca/> [Hämtad: 4/11-24].

Boverket. (u.å.). Livscykelanalys. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/livscykelanalys/> [Hämtad: 2/11-24].

Boverket. (u.å.). Växthusgaser. <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer—aktuell-status/vaxthusgaser/> [Hämtad: 25/10-24].

Bradshaw, C. (2015). 'Living Building Challenge and the Bullitt Center: A Case Study', Sustainable Cities Journal. [Hämtad: 13/10-24].

BREEAM. (2013). One Angel Square Case Study. <https://www.breeam.com> [Hämtad: 20/10-24].

BREEAM. (2021). What is BREEAM. <https://www.breeam.com> [Hämtad: 5/12-24].

Brown, M. (2017). 'Designing for Sustainability: The Crystal and Beyond', Architecture and Urban Planning Journal. [Hämtad: 13/10-24].

Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2019). Future-Proof Buildings for All Europeans. <https://bpie.eu> [Hämtad: 4/1-25].

Byggtjänst. (2021). Guide: Så här väljer du giftfria och hållbara material. <https://byggkoll.byggtjanst.se/artiklar/2021/februari/guide-sa-har-valjer-du-giftfria-och-hallbara-material/> [Hämtad: 21/12-24].

Byrum. (2025). Ett hållbart hem byggt av hampa. <https://www.byrum.se/arkitektur/ett-hallbart-hem-byggt-av-hampa/> [Hämtad: 1/1-25].

Distrelec. (2024a). Hållbar förpackning – Minska plastavfall med smarta lösningar. <https://knowhow.distrelec.com/sv/hallbarhet/hallbar-forpackning-minska-plastavfall-med-smarta-loesningar/> [Hämtad: 23/12-24].

Distrelec. (2024b). Innovativa hållbara material för byggnation och tillverkning. <https://knowhow.distrelec.com/sv/hallbarhet/innovativa-hallbara-material-for-byggnation-och-tillverkning/> [Hämtad: 24/12-24].

Dunnett, N. & Kingsbury, N. (2008). Planting green roofs and living walls. London: Routledge. [Hämtad: 29/11-24].

Edge Technologies. (2024). The Edge Developments. <https://edge.tech/developments/the-edge> [Hämtad: 17/10-24].

Ekobyggportalen (2024). *Hampahus*.

<https://ekobyggportalen.se/ovriga-hustyper/hampahus/> [Hämtad: 25/11-25]

European Environment Agency (EEA). (2015). Exploring nature-based solutions: The role of green infrastructure in mitigating the impacts of weather- and climate-related hazards. Köpenhamn: EEA. [Hämtad: 29/11-24].

Falun.se. (2024). Hållbar utveckling. <https://www.falun.se/kampanjwebbar/oversiktsplan-falunborlange/huvudstrategier/strategier-for-hallbar-samhallsplanering/hallbar-utveckling.html> [Hämtad: 17/10-24].

Feist, W. (2015). 'The Passive House: Sustainable, Affordable, Comfortable', Renewable Energy World, 18(1), ss. 44–49. [Hämtad: 29/11-24].

Fossilfritt Sverige. (2019). Roadmaps for Fossil Free Competitiveness – Construction and Civil Engineering Sector [YouTube-video]. https://www.youtube.com/watch?v=84_xtvTIOP8 [Hämtad: 21/10-24].

Fossilfritt Sverige. (2024). Bygg- och anläggningssektorn. <https://fossilfrittssverige.se/roadmap/bygg-och-anlaggningssektorn/> [Hämtad: 17/10-24].

Gardiner & Theobald. (2013). One Angel Square – Project Overview. <https://www.gardiner.com> [Hämtad: 20/10-24].

GlobalABC. (2022). Global Status Report for Buildings and Construction 2022. <https://globalabc.org/news/globalabc-releases-2022-global-status-report-buildings-and-construction> [Hämtad: 1/10-24].

Green, M. A. (2019). Solar cells: Operating principles, technology, and system applications. London: Routledge. [Hämtad: 29/11-24].

Hachem, C., Athienitis, A. & Fazio, P. (2012). ‘Parametric Investigation of Geometric Form Effects on Solar Potential of Housing Units’, Solar Energy, 86(9), ss. 2361–2375. [Hämtad: 4/1-25].

House of Hemp (2024). *Hemp-lime insulation*.

<https://houseofhemp.se/en/> (Hämtad: [25/11-25]).

Häberlin, H. (2012). Photovoltaics: System design and practice. Chichester: Wiley. [Hämtad: 29/11-24].

Häkkinen, T. & Belloni, K. (2011). ‘Barriers and drivers for sustainable building’, Building Research & Information, 39(3), ss. 239–255. [Hämtad: 5/12-24].

ILFI (2019) Living Building Challenge Standard 3.0. International Living Future Institute.

ILFI (2020) Living Building Challenge: Basics. International Living Future Institute.

Implenia. (2024). Nachhaltige Wasseraufbereitung auf Baustellen. <https://impact.implenia.com/se/article/nachhaltige-wasseraufbereitung-auf-baustellen/> [Hämtad: 14/12-24].

International Energy Agency (IEA). (2020). Renewables 2020. Paris: IEA. <https://www.iea.org> [Hämtad: 29/11-24].

International Energy Agency (IEA). (2020). Renewable Heat Policies. Paris: IEA. <https://www.iea.org> [Hämtad: 29/11-24].

International Energy Agency (IEA). (2022). Energy Efficiency in Buildings. Paris: IEA. <https://www.iea.org> c

International WELL Building Institute (IWBI). (2022). WELL Building Standard. <https://www.wellcertified.com> [Hämtad: 29/11-24].

ISO. (2018). ISO 14001: Environmental management systems — Requirements with guidance for use. Genève: International Organization for Standardization. [Hämtad: 29/11-24].

Jones, L. (2016). ‘LEED and BREEAM Certifications: A Comparative Analysis’, Sustainable Building Standards. [Hämtad: 13/10-24].

- Kats, G. (2010). *Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies*. Washington, DC: Island Press. [Hämtad: 5/12-24].
- Kibert, C. J. (2016). *Sustainable construction: Green building design and delivery*. 4:e upplagan. Hoboken: Wiley. [Hämtad: 29/11-24].
- Lund, J. W. (2020). Direct Utilization of Geothermal Energy. *Energies*, 3(8), 1443-1471. [Hämtad: 29/11-24].
- Luthander, R., Widén, J., Nilsson, D. & Palm, J. (2015). 'Photovoltaic self-consumption in buildings: A review', *Applied Energy*, 142, s. 80–94. [Hämtad: 4/1-25].
- Lynch, T. (2019). 'Materials and Design for a Net-Positive Future: The Bullitt Center', *Journal of Environmental Design*. [Hämtad: 13/10-24].
- Marszal, A. J., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I. & Napolitano, A. (2011). 'Zero Energy Building – A Review of Definitions and Calculation Methodologies', *Energy and Buildings*, 43(4), ss. 971–979. [Hämtad: 4/1-25].
- MDPI (2023). *Bamboo as Sustainable Building Materials: A Systematic Review of Properties, Applications, and Future Perspectives*.
<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/10/2449> [Hämtad: 25/11-25]
- Menta Fönster. (u.å.). 2-glasfönster <https://www.mentafonster.se/faq/2-glasfonster> [Hämtad: 5/11-25]
- Minke, G. (2013). *Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*. Basel: Birkhäuser. [Hämtad: 29/11-24].
- Naturvårdsverket. (u.å.). Bygg- och rivningsavfall.
<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/bygg-och-rivningsavfall/> [Hämtad: 22/12-24].
- Naturvårdsverket. (u.å.). Energieffektivisering.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/> [Hämtad: 21/10-24].
- Naturvårdsverket. (u.å.). Energieffektivisering i bostäder och lokaler.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-energin/energieffektivisering/energieffektivisering-i-bostader-och-lokaler/> [Hämtad: 21/10-24].
- Naturvårdsverket. (u.å.). Klimatet och bygg- och fastighetssektorn.
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/omraden/klimatet-och-bygg-och-fastighetssektorn/> [Hämtad: 21/10-24].
- North Carolina State University. (2022). 5 Benefits of Cross-Laminated Timber.
<https://cnr.ncsu.edu/news/2022/08/5-benefits-cross-laminated-timber/> [Hämtad: 26/12-24].

- Nyckelfärdigt Hus. (2025). Passivhus – fördelar och nackdelar. <https://nyckelfardigthus.se/artiklar/passivhus-fordelar-och-nackdelar> [Hämtad: 4/11-25]
- Olgyay, V. (2015). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton: Princeton University Press. [Hämtad: 4/1-25].
- Passive House Institute. (2021). What is a Passive House? <https://passivehouse.com> [Hämtad: 4/1-25].
- Passive House Institute. (2024). Passive House requirements. https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm [Hämtad: 2/11-25]
- Peper, S. & Garde, F. (2017). ‘Optimizing Thermal Comfort and Energy Use in Passive Houses’, Energy and Buildings, 152, ss. 385–394. [Hämtad: 4/1-25].
- Rafferty, K. (2000). Geothermal heat pump system economics. Oregon: Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology. [Hämtad: 29/11-24].
- Rees, S. J. (2016). ‘Advances in ground-source heat pump systems’, Advances in Renewable Energy. [Hämtad: 29/11-24].
- REN21. (2021). Renewables 2021 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. [Hämtad: 29/11-24].
- Rombouts, S. (2016). ‘The Bullitt Center: The Greenest Commercial Building’, Architecture Magazine. [Hämtad: 13/10-24].
- Santamouris, M., Kolokotsa, D. & Vasilakopoulou, K. (2011). ‘Passive Design Strategies in Urban Contexts: Energy and Microclimate Modelling as a Tool for Sustainable Cities’, Renewable Energy, 36(8), ss. 1919–1925. [Hämtad: 4/1-25].
- Schnieders, J. & Hermelink, A. (2006). ‘CEPHEUS Results: Measurements and Occupants’ Satisfaction Provide Evidence for Passive Houses Being Comfortable, Healthy and Affordable’, Energy Policy, 34(2), ss. 151–171. [Hämtad: 4/1-25].
- Skellefteå kommun. (2022). Sara Kulturhus – framtidens träbyggande. <https://www.skelleftea.se> [Hämtad: 29/11-24].
- Smith, A. (2015). ‘Water Efficiency in Modern Buildings: A Case Study of The Crystal’, Environmental Engineering Review. [Hämtad: 13/10-24].
- Stockholms stad. (u.å.). Rivningsavfall. <https://tillstand.stockholm/tillstand-regler-och-tillsyn/avfallshantering/rivningsavfall/> [Hämtad: 23/12-24].
- Sustainable Construction. (2013). Sustainable Design and Construction at One Angel Square. <https://www.sustainableconstruction.com> [Hämtad: 20/10-24].

- Swerock. (u.å.). Vattenrening. <https://swerock.se/erbjudande/tjanster/vattenrening/> [Hämtad: 14/12-24].
- Sweden Green Building Council (SGBC). (2022). Miljöbyggnad. <https://www.sgbc.se> [Hämtad: 29/11-24].
- Szokolay, S. V. (2014). Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design. London: Routledge. [Hämtad: 4/1-25].
- USGBC (U.S. Green Building Council). (2013). LEED Certification for One Angel Square. <https://www.usgbc.org> [Hämtad: 20/10-24].
- USGBC (U.S. Green Building Council). (2020). LEED v4 for Building Design and Construction. <https://www.usgbc.org> [Hämtad: 5/12-24].
- USGBC (U.S. Green Building Council). (2023). LEED v4.1 Building Design and Construction. <https://www.usgbc.org> [Hämtad: 29/11-24].
- Växjö kommun. (2021). Solhusen – en satsning på hållbart boende. <https://www.vaxjo.se> [Hämtad: 29/11-24].
- Wilkinson, D. (2014). ‘Sustainable Architecture: The Crystal in London’, Journal of Green Building. [Hämtad: 13/10-24].
- Wiley, J., Benefield, J. & Johnson, K. (2010). ‘Green Design and the Market for Commercial Office Space’, Journal of Real Estate Finance and Economics, 41(2), ss. 228–243. [Hämtad: 5/12-24].
- Yezioro, A., Dong, B. & Leite, F. (2008). ‘Climate-Based Parametric Design Optimization of a Building’s Envelope and Shading System’, Energy and Buildings, 40(6), ss. 926–936. [Hämtad: 4/1-25].

9.2 Bildkällor

- Benschneider, B. (2013) Bullitt Center exterior with photovoltaic array, photograph, in: Happy Earth Day! Bullitt Center Opens in Seattle, ArchitectureWeek, 22 April. <https://arceclima.es/bullit-center-2/?lang=en> [Hämtad: 2/8-25].
- Garofalo, F. (2015) Exterior Ronald Tilleman, ‘On “the Edge” of sustainability’, LifeGate, 27 November. <https://www.lifegate.com/the-edge-amsterdam-most-sustainable-building> [Hämtad: 2/8-25].
- Hopkinson, D. (2012) One Angel Square, Manchester – exterior and atrium, photograph. <https://www.burohappold.com/projects/one-angel-square/> [Hämtad: 2/8-25].
- Reddaway, C. J. (2011) The Crystal at Kalvebod Brygge in Copenhagen, Denmark, photograph, 16 September. https://en.wikipedia.org/wiki/The_Crystal,_Copenhagen [Hämtad: 2/8-25].