



UPPSALA
UNIVERSITET

ISRN UTH-INGUTB-EX-B-2025/017-SE

Examensarbete 15 hp

Juni 2025

En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Kalle Andersson
Dilman Abd Alrazzak



UPPSALA
UNIVERSITET

A Study of Concrete in the Construction of Enköping's Wastewater Treatment Plant

Kalle Andersson
Dilman Abd Alrazzak

Abstract

The aim of this study was to investigate how different selections of concrete during the construction phase of Enköping's wastewater treatment plant can be optimized to reduce climate impact and meet the EU Taxonomy requirements for green loans. The study focused on the role of concrete as a significant source of greenhouse gas emissions and analyzed alternative climate-improved concrete types.

Through life cycle assessment (LCA) and life cycle cost analysis (LCC), two scenarios were compared: the original design using level 1 concrete (10% reduced climate impact) and a revised design using level 2 concrete (20% reduction). The results showed that switching to level 2 concrete could reduce emissions by 225,000 kg CO₂e, with an additional cost of approximately SEK 144,000. This investment was still deemed cost-effective, as it enabled eligibility for green loans with lower interest rates.

The study highlighted the importance of early requirement-setting in the procurement process, as the Swedish Public Procurement Act (LOU) prohibits changes to material specifications after the contract is signed. The conclusion was that clear sustainability requirements in the tendering phase are crucial for achieving climate goals and gaining financial benefits.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Joakim Hammarsten Ämnesgranskare: Mattias Lantz

Examinator: Farshid Shadram

Sammanfattning

Syftet med denna studie var att undersöka hur val av betong under byggfasen av Enköpings avloppsreningsverk kan optimeras för att minska klimatpåverkan och uppfylla EU:s taxonomikrav för gröna lån. Studien fokuserade på betongens roll som en betydande källa till växthusgasutsläpp och analyserade alternativa klimatförbättrade betongtyper.

Genom livscykelanalys (LCA) och livscykelkostnadsanalys (LCC) jämfördes två scenarier: ursprunglig utformning med betong på nivå 1 (10 % minskad klimatpåverkan jämfört med cementbaserad betong) och en reviderad utformning med betong på nivå 2 (20 % minskning). Resultaten visade att en övergång till nivå 2 kunde minska utsläppen med 225 000 kg CO₂e, men med en merkostnad på cirka 144 000 kr. Denna investering bedömdes ändå lönsam, då den möjliggjorde ansökan om gröna lån med lägre räntor.

Studien belyste vikten av tidig kravställning under upphandlingen, eftersom Lagen om offentlig upphandling (LOU) förhindrar ändringar av materialval efter kontraktsslut. Slutsatsen var att tydliga hållbarhetskrav redan i anbudsprocessen är avgörande för att uppnå klimatmål och finansieringsfördelar.

Nyckelord: anbudsprocess, avloppsreningsverk, betong, bluebeam, grön betong, gröna lån, klimatavtryck, mängdberäkning, oneclick, upphandling.

Förord

Detta examensarbete har genomförts av Dilman Abd Alrazzak och Kalle Andersson under vårterminen 2025 på högskoleingenjörsprogrammet inom byggt teknik vid Uppsala Universitet.

Arbetet omfattar 15 högskolepoäng och genomfördes i samarbete med Enköpings kommun och STUNS.

Vi vill rikta ett stort tack till Enköpings kommun för att de generöst delat med sig av projektmaterial och expertis. Ett särskilt tack riktas till vår handledare vid kommunen, Joakim Hammarsten, för vägledning, engagemang och värdefulla insikter under hela arbetsprocessen. Vi vill även tacka Martin Wetterstedt och Therese Fernlund från STUNS som gjort detta samarbete möjligt.

Vidare vill vi tacka vår ämnesgranskare vid institutionen för fysik och astronomi, Mattias Lantz, för konstruktiv återkoppling och stöd i arbetets akademiska utformning.

Vi är även tacksamma för all hjälp och input från branschaktörer som bidragit med värdefull information och perspektiv. Tack också till Thomas Betong för tillstånd att använda miljövarudeklarationer i rapporten.

Den här rapporten har skrivits självständigt av författarna och inget innehåll har skapats av generativa AI-verktyg.

Uppsala, maj 2025

Ansvarsfördelning (X) = Stort bidragande, (O) = Mindre bidragande, (-) = Inget bidragande		
Kapitel	DA	KA
1. Introduktion	O	X
2. Teori	O	X
3. Metod	X	X
4. Resultat	X	O
5. Analys och diskussion	X	X

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings
avloppsreningsverk

6. Slutsatser	X	X
---------------	---	---

Begreppslista:

CCS – Carbon capture and storage, en alternativ metod för reducering av CO₂.

CO₂ – Kemiska beteckningen för koldioxid.

Kg CO₂e – Antal kg koldioxidekvivalenter, ett mått på hur olika växthusgaser påverkar klimatet.

EPD – Miljövarudeklaration, beskriver en produkts miljöpåverkan under hela dess livscykel.

ISO – Internationella standardiseringsorganisationen, sätter standarder produkter måste möta.

LCA – Livscykelanalys, en metod att mäta en produkts miljöpåverkan under hela dess livstid.

LCC – Livscykelkostnad, en metod för att beräkna de totala kostnaderna för en produkt.

LOU – Lagen om offentlig upphandling, den svenska lag som styr hur myndigheter och offentliga aktörer ska genomföra inköp.

SCM – Supplementary Cementing Material, material som blandas in i betongreceptet som delvis ersättning för cement.

Innehållsförteckning

En studie av betong vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk	i
A Study of Concrete in the Construction of Enköping's Wastewater Treatment Plant.....	ii
Abstract	ii
1 INTRODUKTION.....	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Problembeskrivning.....	2
1.3 Syfte.....	2
1.4 Frågeställningar	2
1.5 Avgränsningar	3
2 TEORI	4
2.1 Livscykelanalys	4
2.1.1 EPD	5
2.1.2 Livscykelkostnad.....	5
2.2 EU-Taxonomi	6
2.3 Gröna lån	6
2.3.1 Kriterier för Gröna lån – Avloppsvattenhantering	6
2.3.2 Krav på minskad klimatpåverkan från betong	7
2.4 Cirkulär ekonomi och konstruktion i byggbranschen	8
2.5 CCS – Carbon capture and storage.....	8
2.6 Lagen om offentlig upphandling (LOU)	9
2.7 Tidigare forskning för EU-taxonomi och konstruktion av avloppsreningsverk.....	9
2.7.1 Tidigare arbeten.....	9
2.7.2 Grön betong – möjligheter och begränsningar	10
2.7.3 Byggskedets bidrag till avloppsreningsverkets miljöpåverkan	11
2.8 Mängdberäkning.....	12
3 METOD.....	12
3.1 Undersökningsmetod.....	12
3.2 Genomförande av litteraturstudie.....	13
3.3 Fallstudie av Enköpings kommun	13
3.3.1 Bluebeam Revu	14
3.3.2 LCA/Klimatdeklaration.....	16
3.3.3 LCC	19
3.3.4 EPD:er använda i One Click LCA	19
3.3.5 Enköpings upphandling av nytt avloppsreningsverk.....	19
3.4 Utförande av intervjuer	20

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

3.4.1	Intervjukandidater	21
3.5	Validitet och reliabilitet.....	21
3.5.1	Validitet.....	21
3.5.2	Reliabilitet	21
3.6	Etiska ställningstaganden	21
4	RESULTAT.....	23
4.1	Huvudbyggnad	23
4.2	Slambyggnad	25
4.3	Personalbyggnad	25
4.4	Biobassänger	26
4.5	Sammanställning	26
5	ANALYS OCH DISKUSSION.....	28
5.1	Övergripande klimatpåverkan (LCA-resultat)	28
5.2	Kostnad i relation till klimatprestanda (LCC-resultat).....	28
5.3	Krav för gröna lån	29
5.4	Osäkerheter och avgränsningar	29
5.5	Resultat	32
5.5.1	Frågeställning 1	30
5.5.2	Frågeställning 2	30
5.5.3	Frågeställning 3	30
5.6	Metoddiskussion.....	31
6	SLUTSATSER	32
6.1	Slutsatser	32
6.2	Förslag på fortsatt forskning/arbete.....	32
7	Referenser.....	33

Tabellförteckning

Tabell 1: Kommuninvest kriterier för Gröna lån - Avloppsvattenhantering.....	7
Tabell 2: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för huvudbyggnad.	25
Tabell 3: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för slambyggnad.....	25
Tabell 4: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för personalbyggnad.....	25
Tabell 5: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för biobassänger.	26
Tabell 6: Sammanställning resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong.	26

Figurförteckning

Figur 1: Skeden och moduler för en LCA [7]	4
Figur 2: Delar i en LCC.....	5
Figur 3: Excel sammanställning av mätvärden för personalbyggnad.	13
Figur 4: Excel sammanställning av mätvärden för slambyggnad.	14
Figur 5: Excel sammanställning av mätvärden för huvudbyggnad.....	14
Figur 6: Excel sammanställning av mätvärden för en biobassäng.	14
Figur 7. Ett flödesschema över de metoder som använts i arbetet.	13
Figur 8: Överblick på Enköpings nya reningsverk.....	13
Figur 9: Ursprunglig indata på personalbyggnadens ytterväggar.	17
Figur 10: K-ritning för långsida yttervägg.	18
Figur 11: K-ritning för kortsida yttervägg.....	18
Figur 12: Resultat för totalutsläpp per byggnad och betongnivå.	27
Figur 13: Resultat för totalutsläpp för samtliga byggnader och totalkostnad.	27

1 INTRODUKTION

I detta kapitel presenteras studiens bakgrund, problembeskrivning, syfte och frågeställningar. Kapitlet avslutas med en redogörelse för de avgränsningar som gjorts i studien.

1.1 Bakgrund

I Parisavtalet 2015 enades världens länder om ett nytt globalt klimatavtal för att minska utsläppen av växthusgaser och därmed reducera klimatpåverkan. Riksdagen vill att Sverige ska vara ledande i detta globala arbete. Senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser. För att uppfylla detta mål måste samtliga sektorer bidra, inklusive bygg- och fastighetssektorn [1]. Hållbarhetsfrågor har blivit allt viktigare inom byggsektorn, särskilt eftersom den står för en betydande del av utsläppen. Bygg- och fastighetssektorn svarade 2022 för inhemska utsläpp av växthusgaser på cirka 10,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter, vilket motsvarade 22,1 procent av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser [2].

För att främja en mer hållbar utveckling inom byggsektorn har EU infört taxonomiförordningen, som ställer specifika krav för att byggprojekt ska kunna klassificeras som miljömässigt hållbara. Eftersom denna lagstiftning är relativt ny finns det fortfarande begränsad erfarenhet och kunskap om hur byggprojekt bäst kan anpassas för att uppfylla dessa krav. Enköpings kommun driver för närvarande ett projekt för att uppföra ett nytt avloppsreningsverk, denna studie kommer att använda den som en fallstudie för att undersöka hur betongval samt tekniska och strategiska lösningar kan bidra till att minska klimatpåverkan och uppfylla EU:s taxonomikrav. Eftersom hållbart byggande är en central fråga inom många nybyggnadsprojekt kan studiens resultat även ge värdefulla insikter för andra aktörer inom byggsektorn som strävar efter att möta hållbarhetsmålen.

I dagsläget används betong i stor utsträckning inom byggbranschen och är bland det vanligaste byggnadsmaterial i den byggda miljön. Tack vare dess beständighet mot belastning, varierande klimat och ljudöverföring är det ett material man kan förlita sig på inom flera olika användningsområden. Betong består framförallt av cement, krossat berg, sten/grus och vatten. Cement agerar som ett hydrauliskt bindemedel i betongen och hårdnar när det kommer i kontakt med vatten. Det är även den del av betongen som orsakar mest klimatpåverkan. Cement består av kalciumoxid och framställs genom att man värmer kalksten till 1450°C. När kalkstenen når höga temperaturer frigörs koldioxid och det som blir kvar är kalciumoxid. Detta blir problematiskt i och med att betong används i så stor mängd i dagens infrastruktur. År 2020 producerades ca 2,8 miljoner ton cement i Sverige där varje ton cement frigör omkring 700-800 kilo koldioxid, detta resulterade i ca 1,9 miljoner ton koldioxidutsläpp bara från svensk produktion [3]. Bland detta kommer ca en tredjedel av utsläppet från fossila bränslen som används vid upphettandet av kalkstenen. För att kunna möta de nya kraven gällande växthusgaser inom byggsektorn måste man se över möjliga klimatneutrala alternativ till betong.

En möjlig metod för minskandet koldioxidutsläppet från cementproduktionen är att implementera CCS (carbon capture and storage) tekniker i processen. Genom att fånga koldioxiden kan man kraftigt minska mängden CO₂ som frigörs i atmosfären och arbeta mot noll nettoutsläpp inom betongindustrin och byggsektorn i helhet.

1.2 Problembeskrivning

Enköpings kommuns pågående byggnation av ett nytt avloppsreningsverk strävar efter att klassas som en klimatsmart och hållbar infrastruktur. Problemet är att nuvarande byggstrategier saknar tillräckligt mycket fokus på hållbarhet enligt en ny lagstiftning från EU, grundad för att försöka reducera miljöpåverkan från byggsektorn. EU:s gröna taxonomi-förordning, som antogs i juni 2020, utgör en ramreglering för att avgöra vilka ekonomiska verksamheter som ska anses vara miljömässigt hållbara i taxonomin [4]. För att avloppsreningsverket ska klassas som klimatsmart måste det uppnå EU:s taxonomimål, såsom:

- Minskning av växthusgasutsläpp: Genom att identifiera betongval som reducerar koldioxidavtrycket under byggnationsfasen och drift.
- Effektiv resursanvändning: Genom att optimera materialanvändning och minska avfall enligt principer för cirkulär ekonomi.

Denna studie fokuserar på att analysera och granska valet av material och byggmetoder som minskar klimatavtrycket och bidra till en mer hållbar anläggning. För att utveckla konkreta förbättringsförslag för byggnationer av avloppsreningsverk och andra byggprojekt som strävar efter att uppnå EU:s taxonomikrav.

Enköpings kommun har inte blivit beviljad gröna lån, vilket hade kunnat underlätta finansieringen av det nya avloppsreningsverket. Gröna lån kan beviljas för projekt som uppfyller specifika miljökriterier, men eftersom kommunen inte ställde krav på användning av klimatförbättrad betong under upphandlingsfasen gick möjligheten förlorad. Enligt lagen om offentlig upphandling (LOU) är det inte tillåtet att i efterhand ändra väsentliga delar av ett kontrakt, såsom materialval, efter att upphandlingen avslutats. Syftet med LOU är att säkerställa transparens, rättvisa och konkurrensneutralitet i offentliga upphandlingar, vilket innebär att alla leverantörer ska ha samma förutsättningar utifrån de krav som anges från början. Om miljökrav inte specificeras i upphandlingsdokumenten från början, får de inte läggas till senare i processen. Utöver materialval vill Enköpings kommun nu undersöka hur man kan bli en mer effektiv kravställare i komplexa projekt - med särskilt fokus på miljö, klimat och hållbarhet.

1.3 Syfte

Syftet med detta examensarbete är att undersöka hur hållbar kravställning kan utvecklas i offentliga byggprojekt genom att analysera klimatpåverkan från betongval och tekniska lösningar under byggfasen. Arbetet syftar också till att belysa hur upphandlingsstrategier påverkar möjligheten att uppfylla EU:s taxonomikrav och kvalificera för gröna lån. Ett aktuellt reningsverksprojekt används som fallstudie för att identifiera utmaningar och lärdomar som kan vara till nytta i framtida projekt med liknande komplexitet.

1.4 Frågeställningar

För att uppnå syftet formuleras följande forskningsfrågor:

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

1. Hur kan val av betong och tekniska lösningar under byggfasen i offentliga byggprojekt optimeras för att minska växthusgasutsläpp utifrån ett livscykelperspektiv (LCA)?
2. Vilka faktorer inom upphandling och projektering påverkar möjligheten att uppfylla EU:s taxonomikrav och erhålla gröna lån?
3. Vilka lärdomar från ett aktuellt reningsverksprojekt kan användas för att utveckla mer hållbara kravställningsstrategier i framtida offentliga byggprojekt?

1.5 Avgränsningar

I denna studie avgränsas livscykelanalysen (LCA) till att endast omfatta byggskedet, det vill säga faserna A1-A5 enligt ISO 14040/44-standarden för livscykelanalys. Det vill säga, användning, underhåll, rivning eller återvinning utesluts i LCA-kalkylen. Eftersom arbetet huvudsakligen fokuserar på klimatpåverkan från betong har ett beslut gjorts att endast inkludera betong i LCC/LCA beräkningar. Fokus ligger på att undersöka och optimera betongval och tekniska lösningar under byggfasen för att minska växthusgasutsläppen och anpassa projektet efter EU:s taxonomikrav. Genom den här avgränsningen innefattas enbart den mest relevanta informationen för valet av byggmaterial och tekniska lösningar som minskar projektets klimatpåverkan vid byggnation.

Med hänsyn till lagen om offentlig upphandling kan ej specifika materialdata användas då det är upp till entreprenören att köpa in material från leverantörer. Som beställare kan Enköpings kommun under upphandlingen endast sätta krav på vilka funktioner som materialet ska uppnå, utifrån det köper entreprenören in det de anser vara mest lämpligt. Utifrån detta har ett beslut gjorts om att använda godtyckliga transportsträckor vid utförande av LCA/LCC.

2 TEORI

I detta kapitel presenteras de teoretiska utgångspunkter och tidigare forskning vilket ger en utgångspunkt för studien. Kapitlet omfattar LCA som metod för bedömning av miljöpåverkan från byggmaterial, EU-taxonomi som används som ett ramverk för hela studien samt principer för hållbart byggande och cirkulär ekonomi. Slutligen presenteras grön betong som ett alternativ för att minska en byggnads klimatpåverkan.

2.1 Livscykelanalys

LCA är en omfattande metod för att analysera de potentiella miljöeffekterna av en produkt eller en process. Den bedömer hela produktens livscykel, från råmaterialutvinning till avfallshantering. Den här studien kommer dock enbart fokusera på byggskedet vilket inkluderar A1- A5, se figur 1 nedan. Metoden kvantifiera och analyserar olika typer av miljöpåverkan, såsom växthusgasutsläpp, energi- och vattenförbrukning samt avfall. En LCA-studie genomförs vanligtvis i fyra steg: (1) mål- och omfattningsdefinition, (2) livscykelinventering (LCI), (3) livscykelpåverkansbedömning (LCIA) och (4) livscykel förbättringsanalys och tolkning (LCAI) [5]. LCA hjälper beslutsfattare att välja de mest hållbara alternativen. Det ger även ett verktyg för att identifiera möjliga förbättringar i systemets miljöpåverkan, vilket gör det möjligt att modifiera eller omforma systemet för att minska de totala miljöeffekterna. Detta kan man göra genom att förbättra specifika faser eller på en mer övergripande nivå av produktens livscykel [6].

A1-5 Byggskede		
A1-3 Produktskede	A1	Råvaruförsörjning
	A2	Transport
	A3	Tillverkning
A4-5 Byggproduktionsskede	A4	Transport
	A5	Bygg- och installationsprocess
B1-7 Användningsskede	B1	Användning
	B2	Underhåll
	B3	Reparation
	B4	Utbyte
	B5	Ombyggnad
	B6	Driftsenergi
	B7	Driftens vattenanvändning
C1-4 Slutskede	C1	Demontering, rivning
	C2	Transport
	C3	Restproduktsbehandling
	C4	Bortskaffning
D Fördelar och belastningar utanför systemgränsen		

Figur 1: Skeden och moduler för en LCA [7]

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

2.1.1 EPD

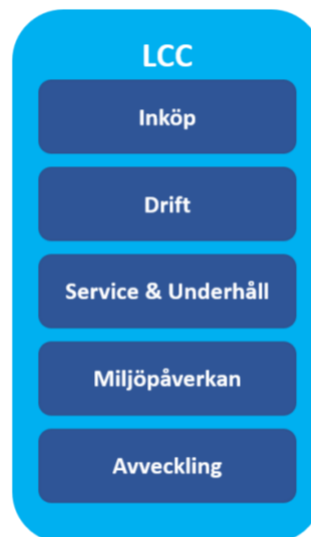
EPD – Environmental Product Declaration, eller miljövarudeklaration på svenska, är en produkts påverkan på miljön under sin livscykel. En EPD innehåller en produkts miljöpåverkan inom kategorierna global uppvärmningspotential, energiförbrukning, vattenanvändning och avfallshantering. Miljövarudeklarationer används av företag som ett verktyg för att jämföra produkter ur ett miljöperspektiv och kan vara särskilt värdefulla i upphandlingsskedet. Det innebär inte nödvändigtvis att produkten är miljövänlig, syftet är snarare att skapa transparens och tillhandahålla jämförbar information. Kraven för EPD:er varierar mellan olika branscher, men gemensamt är att deklARATIONEN måste granskas och verifieras av en oberoende tredje part innan publicering. Inom byggsektorn är EPD:er särskilt användbara vid bedömning av en byggnads totala klimatpåverkan. [8]

2.1.2 Livscykelkostnad

Livscykelkostnad, LCC, är en metod att beräkna alla kostnader som uppstår under en produkts livslängd. Det som skiljer en LCC från en LCA är den ekonomiska aspekten som inkluderas i LCC medan LCA fokuserar mer på miljöaspekter, resultaten ges i totalkostnad respektive miljömässig belastning. LCC-kalkyler är användbara under projekteringsfasen av ett arbete och ger en prognos på möjliga kostnader. För att göra en kalkyl krävs att man beräknar:

- Grundinvestering
- Energikostnader
- Ekonomisk livslängd
- Drift- och underhållskostnader
- Reparationskostnader
- Avvecklingskostnader

Detta kan appliceras på ett byggprojekt genom att man beräknar kostnader för inköp av material, montering, arbetskraft och maskinverktyg. Vid en färdigställd byggnad börjar man räkna på drift- och underhållskostnader samt energikostnader under byggnadens hela livslängd. [9]



Figur 2: Delar i en LCC

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

2.2 EU-Taxonomi

EU-taxonomin är ett gemensamt klassificeringssystem för miljömässigt hållbara ekonomiska verksamheter. Detta är en förutsättning för att investerare, företag och beslutsfattare ska kunna identifiera och jämföra investeringar utifrån gemensamma definitioner för vad som är hållbart. EU-taxonomin fungerar som ett verktyg för att nå EU:s klimatmål och målsättningar enligt den europeiska gröna given [4]. Taxonomin utgår ifrån sex miljömål [10]:

- Begränsning av klimatförändringar
- Anpassning till klimatförändringar
- Hållbar användning och skydd av vatten och marina resurser
- Övergång till en cirkulär ekonomi
- Förebyggande och kontroll av föroreningar
- Skydd och återställande av biologisk mångfald och ekosystem.

Boverket [10] sammanfattar kriterierna för uppförande av nya byggnader, bygg- och rivningsavfall ska hanteras enligt EU:s avfallslagstiftning, minst 90% av icke-farliga avfall ska återanvändas eller återvinnas. Byggnadens globala uppvärmningspotential under hela livscykel ska beräknas. Konstruktionen ska stödja cirkularitet genom anpassbar design och nedmontering. Användningen av primära råmaterial ska minimeras genom användning av sekundära råmaterial. För att gynna framtida underhåll, återvinning och återanvändning ska digitala verktyg användas för att dokumentera byggnadens material och egenskaper.

2.3 Gröna lån

Kommuninvest, kommunsektorns största långgivare, har sedan 2015 erbjudit Gröna lån för att främja klimatsmarta investeringar i kommuner och regioner. Dessa lån finansierar projekt som bidrar till minskade koldioxidutsläpp och klimatanpassning, med förmånliga villkor jämfört med traditionella lån.

Det finns åtta olika kategorier i vilket ett grönt lån kan bli beviljat; avfallshantering, biologisk mångfald, energieffektivisering, förnybar energi, gröna byggnader, hållbara transporter, klimatanpassningsåtgärder och vattenhantering. Ett avloppsreningsverk faller under kategorin "vattenhantering", vilket är kategori den här studien inkluderar. Det finns gemensamma kriterier för samtliga kategorier, vilka är att projektet måste:

- främja övergången till koldioxidsnål och klimattålig tillväxt
- utgöra en del av sökandens systematiska miljöarbete
- relatera till nationella och regionala miljömål
- ha som mål att antingen minska klimatförändringarna eller anpassa verksamheten efter dem, alternativt omfatta miljöåtgärder på andra områden än klimatförändring.

Villkoren för gröna lån har sedan 2024 anpassats efter EU-taxonomin regelverk. Det innebär att för att ett projekt ska kunna få ett väsentligt bidrag behöver det följa EU-taxonomin krav [11].

2.3.1 Kriterier för Gröna lån – Avloppsvattenhantering

För att Kommuninvest ska bevilja ett grönt lån för ett avloppsreningsverk ska projektet följa de specifika kriterierna för avloppsvattenhantering, vilket är inom kategorin *Vatten- och avloppsvattenhantering*. Här är de uppgifter som måste vara med vid ansökan:

- Det miljötillstånd som gäller för avloppsvattenanläggningen.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

- Hur många invånare som anläggningen försörjer, uttryckt i antal personekvivalenter (pe).
- Avloppsvattensystemets årliga energianvändning (MWh).
- Om projektet omfattar anaerob rötning ställs krav på uppgifter enligt tabell nedan.

Kriterierna delas in i olika kategorier så som *Befintliga/Nya/Utbyggda avloppsvattensystem*, Förnyelse av avloppsvattensystem och *Om projektet omfattar anaerob rötning*. Enköpings projekt faller under *Befintliga/Nya/Utbyggda avloppsvattensystem*. Projektet måste uppfylla kraven för antingen miljö eller klimat, se bilaga 6. Här är miljökriterierna samt klimatkriterierna:

Tabell 1: Kommuninvest kriterier för Gröna lån – Avloppsvattenhantering

Typ av investering/ anläggning/projekt	Klimatkriterier		Miljökriterier
Befintliga- Nya- Utbyggda- Avloppsvattensyste m	Reningskapacitet	Genomsnittlig nettoenergianvändnin g	Avloppshanteringssystem et har ett ledningsnät samt väl anpassade reningsprocesser så att reningsverket lever upp till utsläppskraven i enlighet med sitt miljötillstånd. Vid kapacitet $\geq 100\ 000$ pe eller dagligt inflöde BOD7 >7 ton måste slammet behandlas med rötning eller teknologi med lägre energianvändning.
	$<100\ 000$ pe	≤ 35 kWh/pe	
	$10\ 000 \geq 100\ 000$ pe	≤ 25 kWh/pe	
	$>100\ 000$ pe	≤ 20 kWh/pe	

2.3.2 Krav på minskad klimatpåverkan från betong

För att en betong ska klassas som klimatförbättrad krävs att dess materialsammansättning uppfyller vissa kriterier. Svenska aktörer som Thomas Betong och Skanska har utvecklat flera betongvarianter där koldioxidutsläppen minskas under tillverkningsprocessen, bland annat genom att ersätta delar av cementen med alternativa bindemedel. Hos Thomas Betong, som ansvarar för betongleveransen i reningsverksprojektet, klassificeras dessa varianter i olika nivåer. Till exempel innebär Thomagrön nivå 1 att en del av cementen har ersatts med slagg, vilket resulterar i en minskning av den totala klimatpåverkan (GWP) med 10 %. Thomagrön nivå 2 innebär en minskning med 20 %, nivå 3 med 30 %, och så vidare.

För att en betongprodukt ska få benämningen "grön betong" enligt dagens branschkrav har Svensk Betong infört ett minimikrav på att klimatpåverkan ska vara minst 20 % lägre än den nuvarande referensnivån. Det motsvarar klimatförbättrad betong av nivå 2, till exempel Thomagrön 2.

Det ökade behovet av klimatneutral betong har drivit på innovation inom betongindustrin. Under de senaste åren har så kallad grön betong vunnit mark, där delar av cementinnehållet ersätts med restprodukter som flygaska och slagg från kol- och stålproduktion. Dessa ämnen fungerar som alternativa bindemedel med betydligt lägre klimatpåverkan. Granulerad masugnsslagg används också som ett så kallat SCM (Supplementary Cementing Material), vilket bidrar till att minska

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

koldioxidutsläppen från cementtillverkningen. Enligt Skanska har man genom användning av alternativa bindemedel lyckats minska betongens klimatpåverkan med upp till 52 %, utan att göra avkall på kvalitet eller livslängd [12].

En tidigare studie av Nguyen et al. [5] visar att betong, tillsammans med armeringsstål, står för den största miljöpåverkan vid byggnation av avloppsreningsverk. Detta gör valet av betong till en avgörande faktor ur ett klimatperspektiv. Den största källan till koldioxidutsläpp i betongen är cementen, som står för cirka 8 % av de globala utsläppen [3]. Därför kan traditionell betong med hög cementhalt med fördel ersättas med grön betong där en stor del av cementen byts ut.

En studie av Pérez et al. [13] från 2023 visar att flygaska var det mest använda alternativa bindemedlet, med 30 % av marknaden. Därefter följde gruvavfall (10 %), glasavfall (7 %), masugnsslagg (7 %), gjuterisandavfall (7 %) samt marmormaterialavfall (7 %). Flygaska har etablerat sig som den mest effektiva cementersättaren, där flera studier visar att upp till 70 % av cementen kan ersättas, vilket i genomsnitt minskar koldioxidutsläppen med cirka 35 %.

2.4 Cirkulär ekonomi och konstruktion i byggbranschen

Cirkulär ekonomi i byggbranschen syftar till att minimera resursförbrukningen och avfall genom att återanvända och återvinna material samt använda byggprocesser som ökar hållbarheten. Enligt IVL Svenska Miljöinstitutet [14] återvinns eller återanvänds endast 40% av byggavfallet i Europa. En förbättring inom det området hade inte bara gynnat miljön utan även ekonomin. En nybyggnation bör vara konstruerad för lång livslängd, anpassningsbarhet, demonterbarhet och med rätt material (återvunnet, förnybart, icke-förorenande). Enligt Interreg Europe [15] finns det fem huvudsakliga aspekter när det kommer till cirkulärt byggande, dessa är;

1. Design för demontering: Utformad med avsikt att enkelt kunna demolera för att kunna återanvända eller återvinna materialen vid livscykelns slut.
2. Återanvända och återvinning av material: Material som lätt kan återvinnas bör användas.
3. Resurseffektivitet: Använda en effektiv design som optimerar resursanvändning och minimerar spill. Det kan till exempel innebära att använda prefabriceringstekniker och implementera lean construction-principer.
4. Cirkulära affärsmodeller: Det innebär att använda affärsmodeller som stödjer principerna för cirkulär ekonomi. Det kan inkludera hyra eller leasing av byggkomponenter, använda återtagningssystem för material och samarbeta med intressenter för att uppmuntra resursdelning.
5. Digitalisering och datahantering: Med digitala verktyg så som Building Information Modeling (BIM) eller Internet of Things (IoT) kan man lättare spåra och hantera material. Det möjliggör identifiering av återanvändbara komponenter vilket ger stöd vid beslutsfattande kring materialval och demonteringsplanering.

2.5 CCS – Carbon capture and storage

CCS är ett samlingsnamn för en mängd tekniker som avser att fånga in och lagra koldioxid i avseende att minska utsläppen från bland annat cementproduktion och betongtillverkning. Då betongindustrin står för 8% av de globala utsläppen så har det blivit allt mer kritiskt att utveckla nya metoder för att minska klimatpåverkan. Hur detta funkar är att man först fångar in koldioxiden genom en teknik kallad post-combustion capture som avser att rena rökgaser från koldioxid med

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

hjälp av katalysatorer eller ett membran. När man fångat koldioxiden måste den komprimeras under högt tryck för att minska dess volym. Därefter kan man transportera det till en lagringsplats via ledningar eller fartyg. I det slutliga steget pumpas koldioxiden ner djupt i berggrunden där det lagras. Detta är ett lovande koncept som i nuläget har en del brister. CCS tekniken är dyr och används inte i kommersiell skala för nuvarande samt att processen är krävande när det gäller energi. I Sverige har en cementtillverkare planer på att tillämpa CCS-tekniken samt att man diskuterar med norska företag om att lagra koldioxid inom gamla oljefält i Nordsjön [16].

2.6 Lagen om offentlig upphandling (LOU)

Lagen om offentlig upphandling, LOU, handlar om att främja konkurrensen som uppstår vid upphandling av entreprenörer. Det ser till att alla leverantörer tävlar med rättvisa förutsättningar vid anbudslämnandet [17]. Det består av fem huvudprinciper;

- Ickediskriminering – Förbud mot att diskriminera leverantörer på grund av deras nationalitet, upphandlare får ej begränsa sig till endast svenska företag.
- Likabehandling – Alla leverantörer måste få tillgång till samma information samtidigt, ingen leverantör ska få ett övertag.
- Proportionalitet – Krav och villkor i upphandlingen ska stå i rimlig proportion till det som upphandlas. Upphandlaren får ej överskrida det som är nödvändigt för den aktuella upphandlingen.
- Öppenhet – Upphandlingar ska vara offentligt annonserade och tydligt formulerade samt innehålla samtliga kravställningar.
- Ömsesidigt erkännande – Intyg och certifikat som utfärdats av en medlemsstats myndigheter ska även gälla i övriga EU/EES-länder.

Lagen om offentlig upphandling föreskriver att en upphandlande myndighet inte har rätt att ställa krav på användning av specifika varumärken utan istället formulera vilka funktionella krav som efterfrågas. Exempelvis är det otillåtet att ange en viss produkt från en särskild tillverkare då detta strider mot principen om likabehandling mellan leverantörer. Kraven bör därför formuleras utifrån funktionen man vill uppnå, därmed är det leverantörens ansvar att föreslå en lösning som möter dessa krav.

2.7 Tidigare forskning för EU-taxonomi och konstruktion av avloppsreningsverk

Under detta kapitel presenteras föregående forskning om materialval vid konstruktionen av ett avloppsreningsverk.

2.7.1 Tidigare arbeten

Det finns tidigare exempel på arbeten [18, 19] inom detta område som inte har samma syfte och mål men som ändå kan bidra med värdefull information gällande EU-taxonomi och klimatförbättrad betong som kan utnyttjas för denna studie.

Ett arbete ”EU-taxonomis påverkan på en byggentreprenör och en utvärdering av taxonomiuppfyllnad i 13 miljöcertifierade projekt” som utförts av civilingenjörstudenterna på Luleå tekniska universitet [18] handlar om hur EU:s taxonomiförordning påverkar byggentreprenörer i Sverige med NCC som huvudfokus. EU-taxonomin är ett klassificeringssystem som syftar till att

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

styra investeringar mot miljömässigt hållbara verksamheter för att möta de nuvarande klimatmålen som bestämts i linje med Parisavtalet och EU:s mål om klimatneutralitet. Bygg- och fastighetssektorn omfattas av tekniska granskningskriterier i EU:s delegerade akt, ”*Climate Delegated Act*” eftersom industrin står för en stor del av de globala koldioxidutsläppen. Sedan 2022 har företag behövt rapportera hur stor del av deras verksamhet som stämmer överens med taxonomin.

Studien undersöker vilka utmaningar taxonomin medför en svensk byggtreprenör på både projekt- och företagsnivå. Genom en litteraturstudie, intervjuer och projektutvärderingar identifierades flera svårigheter, exempelvis:

- tolkningsutrymme i kriterierna
- begreppsförvirring
- oklarheter kring ansvarsfördelning och tidpunkt för genomförande.

En viktig utmaning är att många kriterier ligger utanför entreprenörens kontroll då nybyggnadsprojekt involverar flera aktörer samt att beslut ofta fattas av beställare och myndigheter. Därför betonas vikten av samverkan för att lyckas med implementeringen.

Dessutom bedöms EU-taxonomin också skapa en ökad administrativ börda vilket kan öka kostnader ytterligare. Vissa tekniska krav som klimatriskanalyser, byggnaders flexibilitet och begränsning av farliga ämnen lyfts fram som särskilt utmanande.

Projektutvärderingen visade att byggprojekt certifierade enligt BREEAM-SE 2017 [20] i högre grad låg i linje med EU-taxonomin än de som certifierades enligt Miljöbyggnad 3.0 [21] vilket tyder på att tidigare erfarenhet av BREEAM kan ge bättre förutsättningar för att uppfylla taxonomins krav.

Avslutningsvis diskuteras två möjliga framtidsscenarier: antingen kommer EU-taxonomin att komplettera befintliga miljöcertifieringar som ett verktyg för att få tillgång till gröna lån, eller så kan den på sikt ersätta dem. Det senare innebär en risk för att hållbarhetsarbetet försvagas då certifieringar som BREEAM och Miljöbyggnad ofta har bredare krav och tydliga betygsnivåer som driver projekt mot högre miljöprestanda. [18]

Detta arbete kan utnyttjas eftersom EU-taxonomin utgör grunden för att klassificera och avgöra vad som räknas som miljömässigt hållbara investeringar, vilket i sin tur är avgörande för att få tillgång till gröna lån.

2.7.2 Grön betong – möjligheter och begränsningar

Ett annat arbete ”*Grön betong – möjligheter och begränsningar*” som utförts av högskoleingenjörstudenter på Chalmers Tekniska Högskola diskuterar att hållbarhet är ett område som fått allt större fokus inom byggsektorn de senaste decennierna. Med globala klimatmål, nationella lagförslag och ökade miljökrav ställs byggbranschen inför behovet att minska sin klimatpåverkan, särskilt genom att reducera koldioxidutsläpp. Enligt flera initiativ på både nationell och internationell nivå är målet att halvera utsläppen till 2030, vilket kräver betydande förändringar i materialanvändning och byggmetoder.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Ett konkret exempel på denna utveckling är *grön betong* även kallad klimatförbättrad betong. Grön betong är ett hållbart byggmaterial som Skanska tagit fram under våren 2019 och har som syfte att minska andelen portlandcement i betong genom att delvis ersätta det med alternativa material, såsom flygaska, masugnsslagg och silikastoft. Dessa bindemedel har visat sig kunna bidra till minskade koldioxidutsläpp och lägre resursförbrukning utan att kompromissa betongens tekniska egenskaper.

Flera studier har visat att betong med alternativa bindemedel kan uppvisa likvärdiga eller i vissa fall förbättrade egenskaper jämfört med konventionell betong. Exempelvis har positiva resultat uppmätts vad gäller hållfasthetsutveckling, slutlig hållfasthet, elasticitetsmodul, motstånd mot kloridinträngning samt värmeutveckling. Samtidigt finns vissa utmaningar, däribland en ökad benägenhet för karbonatisering, vilket kan påverka betongens långsiktiga beständighet. [19]

Med hjälp av denna studie kan fördelar och potentiella problem identifieras med klimatförbättrade alternativ till betong vilket gör det möjligt att erbjuda lösningsförslag där alla nödvändiga aspekter tagits i åtanke.

2.7.3 Byggskedets bidrag till avloppsreningsverkets miljöpåverkan

En tidigare studie av Nguyen et al, se [5], granskar två olika avloppsreningsverk för att analysera klimatpåverkan av olika byggmaterial i byggnationen av två ett avloppsverk genom LCA. Studien kollar på fem behandlingsprocesser i avloppsreningsverket - (1) pumpning, (2) primär behandling, (3) sekundär behandling, (4) slamhantering och (5) byggnad och landskap. De konstaterade att betong och armeringsstål var ungefär likvärdiga och hade den största påverkan på de flesta av EPD 2018-påverkan. EPD 2018 är en standardiserad metod som används för att redovisa en produkts klimatpåverkan under sin livstid. [22] Men utöver de så hade även glasfiber och diesel en betydande bidragsgivare till byggfasen. Trots att mängden av glasfiber är 110 gånger mindre än betong så står den för 70% av ozonnedbrytningen och diesels bidrag till ozonbildningen var 5% högre än armeringsstålet. De kom även fram till att den sekundära reningsenheten bidrog med 50% av miljöpåverkan under byggfasen, så genom att öka storleken på den primära reningen skulle man kunna minska påverkan från den sekundära reningen och därmed minska miljöpåverkan.

Denna studie ger värdefull bakgrundsinformation som kan användas för att analysera och jämföra med byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk.

3 METOD

3.1 Undersökningsmetod

För att besvara studiens frågeställningar tillämpas en kvalitativ metod bestående av en litteraturstudie, fallstudier av befintliga och planerade avloppsreningsverk samt en livscykelanalys (LCA) av framtagna material- och konstruktionsplaner. För att skapa en grund för arbetet utförs en litteraturstudie, för att kartlägga befintlig forskning, relevanta standarder och riktlinjer från EU:s taxonomikrav och växthusgasutsläpp i byggskedet.

Denna studie inkluderar vetenskapliga artiklar, rapporter och branschdokument för att identifiera tekniska lösningar och strategier för att minska klimatpåverkan vid byggnationen av avloppsreningsverk.

Därefter analyseras de nuvarande planerade konstruktionerna och materialvalen för Enköpings avloppsreningsverk. Här granskas projektdokumentation, materialdeklarationer och byggplaner för att identifiera potentiella förbättringsmöjligheter.

Vidare genomförs analyser av andra avloppsreningsverk och andra möjliga materialval. Det görs för att få en bredare datainsamling kring materialval och tekniker i liknade projekt. Genom att jämföra olika exempel kan effektiva och innovativa lösningar identifieras.

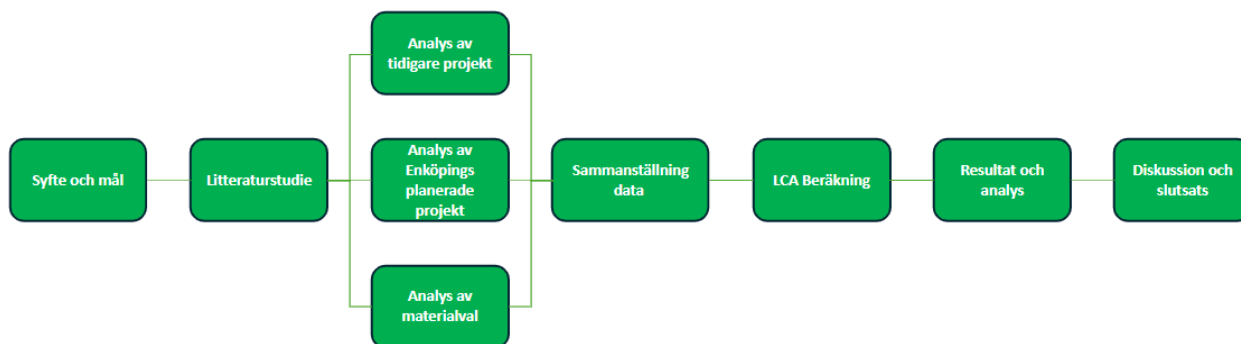
Slutligen genomförs livscykelanalyser (LCA) på olika möjliga förbättringsförslag för att kvantifiera klimatpåverkan från olika alternativ. Genom att sammanställa insamlade data och jämföra olika materialval utvärderas vilka alternativ som ger den mest hållbara lösningen utifrån ett klimatperspektiv. Sedan görs en utvärdering för att se om de håller EU: taxonomikraven.

Denna metod möjliggör en systematisk bedömning av hur materialval kan optimeras för att minska växthusgasutsläppen samt hur projektet kan anpassas för att uppfylla EU:s taxonomikrav. Figur 7 visar ett flödesschema över de valda metoderna.

I helhet efterliknar den valda metoden Arksey och O'Malleys metodiska ramverk från 2005 som är en typ av litteraturöversikt i syfte till att kartlägga befintliga studier inom området. Detta ramverk består av fem steg:

1. Identifiera forskningsfrågan.
2. Identifiera relevanta studier.
3. Granska urval av studier.
4. Kartläggning av data.
5. Sammanställning och diskussion av resultat.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk



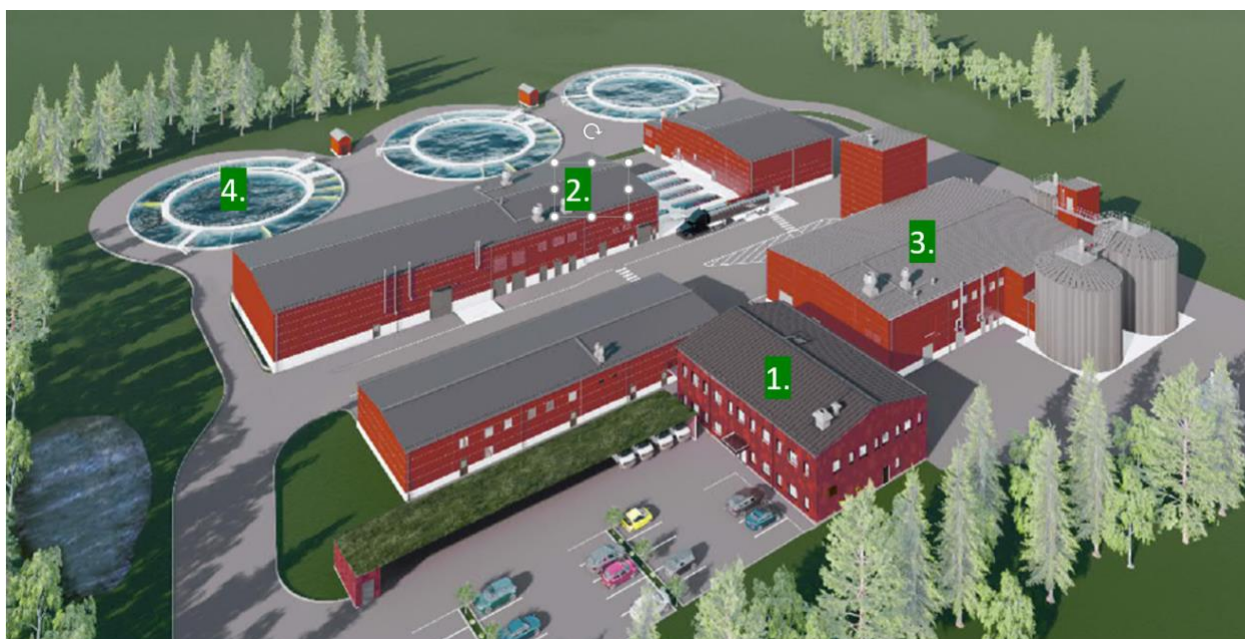
Figur 3. Ett flödesschema över de metoder som använts i arbetet.

3.2 Genomförande av litteraturstudie

Studie av litteratur har utförts med Google Scholar och DiVA-portal som är databaser för tidigare studier och forskning inom samtliga ämnen. Dessutom användes Uppsala Universitetsbiblioteks söktjänst som verktyg för att finna relevanta arbeten. Detta har kombinerats med företagets egna dokument som konstruktionsbeskrivningar och ritningar samt jämförelser mellan nuvarande vattenreningsverk i bruk och Enköpings planerade projekt. Utöver det så används EU:s taxonomimål som riktlinjer under arbetets gång. Intervjuer med projektledare har utförts.

Vid sökandet av information på databasen Google Scholar användes nyckelord relevant för detta projekt, till exempel "vattenreningsverk", "betong", "miljö" etc. Användningen av Google Scholar säkerställer att endast vetenskapliga artiklar visas, bland dessa valdes artiklar vars fokus omfattade vattenreningsverk och miljöpåverkan från byggnadsmaterial samt potentiella gröna alternativ till betong.

3.3 Fallstudie av Enköpings kommun



Figur 4: Överblick på Enköpings nya reningsverk

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Enköpings kommun bidrog med ritningar på samtliga byggnader på arbetsplatsen. Dessa har olika egenskaper materialmässigt och omfattar:

1. en personalbyggnad med utfackningsväggar och träregelstomme
2. huvudbyggnad med stålstomme och sandwichelement där reningsprocessen sker
3. slambyggnad lik huvudbyggnaden.
4. biologiska bassänger av prefabricerat betong.

Bärande innerväggar och bjälklag i betong är en gemensam nämnare för ovanstående byggnader. Genom observation och analys av konstruktions- samt arkitekt ritningar har det varit möjligt att mängdberäkna utvalda delar av byggnaden via Bluebeam Revu. För att hålla arbetet inom rimliga ramar så begränsades mängdberäkningen till bärande betongkonstruktioner, dvs ytterväggar, innerväggar, grund och mellanbjälklag. Dessa skiljer sig i exponeringsklasser och tjocklekar men grundreceptet är densamma, armering tas ej med i beräkningarna. Med denna data kan en LCC/LCA utföras via OneClickLCA i syfte om att analysera och ta fram resultat på hur materialval påverkar projektets klimatavtryck samt kostnader.

1. Personalbyggnaden kommer användas som utrymme för kontor samt omklädningsrum för arbetare inom själva reningsverket. Volymen för betong i personalbyggnaden är 405 m^3 .
2. I huvudbyggnaden kommer själva reningsprocessen ske där olika bassänger och kanaler utgör majoriteten av ytan. Total volym av betong för huvudbyggnaden är $2\,172 \text{ m}^3$.
3. Slambyggnaden är en lagringslokal för det organiska material som avskilts från vattnet. Detta behandlas bland annat genom rötning som producerar biogas. Tanken är att utnyttja gasen för energi. Total volym av betong för slambyggnaden är $1\,391 \text{ m}^3$.
4. Biobassängernas uppgift är att bryta ned organiskt material som kväve och fosfor med hjälp av mikroorganismer och bakterier. Total volym för tre biobassänger är $2\,586 \text{ m}^3$.

3.3.1 Mängdberäkning

Mängdberäkning är en metod som används för att beräkna volymerna av material som krävs vid konstruktionen av en byggnad. Innan själva mängdberäkningen kan utföras måste man ta fram mängderna genom så kallade mängdavgivningar. Detta görs genom att, med hjälp av ritningar och handlingar, mäter längd, bredd och djup - vilket är grundläggande för att kunna göra en korrekt beräkning. Mängdberäkning är en viktig del av anbuds kalkylen, eftersom den ger en mer exakt uppskattning av materialåtgången och därmed även en bättre kostnadsbedömning för projektet.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Plan 1	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	297,85	0	20	278
Lättvägg 1	51	0	6	45
Lättvägg 2	244,3	0	32,34	212
Plan 2	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	153	5	14	134
Lättvägg 1	38,5	0	0	38,5
Lättvägg 2	228,6	18	14,7	195,9
Bjälklag	Bruttoarea [m ²]	Tjocklek betong [m]	Tjocklek Cellplast [m]	Volym [m ³]
Betong				
Grund	472	0,22	0,4	94,4
Mellanbjälklag	444,5	0,26		133,35
Takbjälklag	472	0,22		94,4
Balkong	41,5	0,2		8,3

Figur 5: Excel sammanställ av mätvärden för personalbyggnad.

Figur 5 visar ett exempel på tillvägagångssättet för att få fram rätt mängder för olika konstruktionsdelar. Relevanta mätningar har gjorts för area och tjocklekar. Utifrån det kunde volymen tas fram med hjälp av ekvation 1.

$$V = b \times d \times h \quad (1)$$

3.3.2 Bluebeam Revu

Bluebeam Revu har valts som metod för arbetet eftersom författarna använt det i tidigare kurser under utbildningens gång. Det är en programvara som används inom byggbranschen och är en standardlösning för PDF-markering. Det används för att mäta i PDF-filer. Programmet läser in PDF dokument och erbjuder bland annat verktyg för mätning av omkrets, area och längd. Genom att sätta en skala via programmet kan man säkerställa att alla mätningar sker på ett korrekt vis och speglar verkligheten. Skalstocken på ritningarna används som referens. [23]

Mängdberäkningsprocessen utfördes genom att läsa in plan-, fasad- och sektionsritningar där samtliga längder mättes ut för att sedan multipliceras med både höjd och djup för area respektive volym av individuella element. Dessa kategoriserades inom olika väggtyper som bärande innervägg 1 och icke-bärande innervägg etc. Separata mätningar skedde för tillhörande dörrar och fönster vilket underlättade arbetet att subtrahera dessa areor från de tillhörande väggtyperna. Resultat från mätningar dokumenterades via Excel för att sammanställa all data, se figurerna 3 till 6.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

3.3.3 LCA/Klimatdeklaration

För att undersöka hur materialval påverkar koldioxidutsläpp har en klimatdeklaration genomförts för två olika alternativ: den ursprungliga utformningen, där material med likvärdig global uppvärmningspotential (GWP) som de aktuella betongelementen i projektet används, samt en ny utformning med material som har lägre GWP. För närvarande används klimatförbättrad betong på nivå 1 i byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk, vilket innebär en nuvarande minskning av koldioxidutsläppen med cirka 10 %. Trots denna förbättring uppfyller betongen inte de nuvarande kraven för att beviljas gröna lån, eftersom regelverken ständigt förändras. I dagsläget krävs en minskning av klimatpåverkan med minst 20 %, vilket innebär att betong med minst nivå 2 måste användas. Därför behöver materialvalet ses över för att identifiera eventuella brister och möjligheter till förbättring [24]. Klimatdeklarationen har genomförts med hjälp av verktyget OneClick LCA. Efter att en mängdberäkning av samtliga betongväggar hade utförts, kunde all relevant data matas in i systemet. OneClick LCA [25] tillhandahåller en omfattande katalog med produkter från både svenska och internationella materialleverantörer, där varje produkt är kopplad till en EPD (Environmental Product Declaration), kostnad per kubikmeter, transportsträcka och andra relevanta parametrar.

Thomas Betong uppgav att den betong som används på byggplatsen är frysbeständig med hållfasthetsklass C35/45 samt exponeringsklasserna XC4 och XF4. XC4 innebär att betongen utsätts för en cykliskt våt och torr miljö och används för ytor i kontakt med vatten. XF4 avser betong som utsätts för kraftig vattenpåverkan i kombination med tölsalter, och som måste klara upprepade frys- och töcykler [26]. Denna betong, kallad "Thomafrys Grön 1" med en GWP-total 318,5 kg CO₂e/m³, används för utvändiga konstruktioner. För invändiga konstruktioner används också betong med hållfasthetsklass C35/45 och exponeringsklass XC4, men utan krav på frysbeständighet, kallad "Thomagrön 1" som har en GWP-total på 276,3 kg CO₂e/m³. Detta är en 10% förbättring över standardbetong med enbart cement som bindemedel. Det som gör dessa klimatförbättrade är att en mängd cement ersätts med slagg.

De klimatförbättrade betongtyperna klassade som nivå 2, "Thomafrys Grön 2" och "Thomagrön 2" har GWP-totalvärde omkring 285 kg CO₂e/m³ respektive 233 kg CO₂e/m³. Prismässigt är Thomafrys Grön 1 cirka 60 kronor dyrare per kubikmeter än standardalternativet. Vid uppgradering till nivå 2 ökar kostnaden med ytterligare 20 kronor per kubikmeter och det totala utsläppet är minskat med minst 20%. Transportsträckan för betongen är känd, då produktionen sker i Västerås och leverans sker till Vappa säteri, Enköping, där reningsverket uppförs. Avståndet uppgår till 37 km. Det har även ställts krav i upphandlingen på att lastbilarna ska använda mer miljövänliga bränslen för att minska utsläppen. Detta har tagits i beaktande i beräkningen, där en svensk koldioxidreducerad bränslemix har använts, med ett antaget energiutsläpp på 1 MJ/ton km. För avfall så har ett schablonvärde på 3% använts, givet av Boverket.

Eftersom OneClick inte har miljövarudeklarationer (EPD) för alla specifika betongprodukter har likvärdiga EPD:er, med liknande klimatpåverkan (GWP-värden), använts baserat på den information som tillhandahållits av Thomas Betong.

Varianter av input i OneClick LCA

Vid inmatning av materialmängder gjordes initialt en version där samtliga byggmaterial i väggarna inkluderades i beräkningarna. Detta omfattade bland annat träreglar, stålreglar, gipsskivor,

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

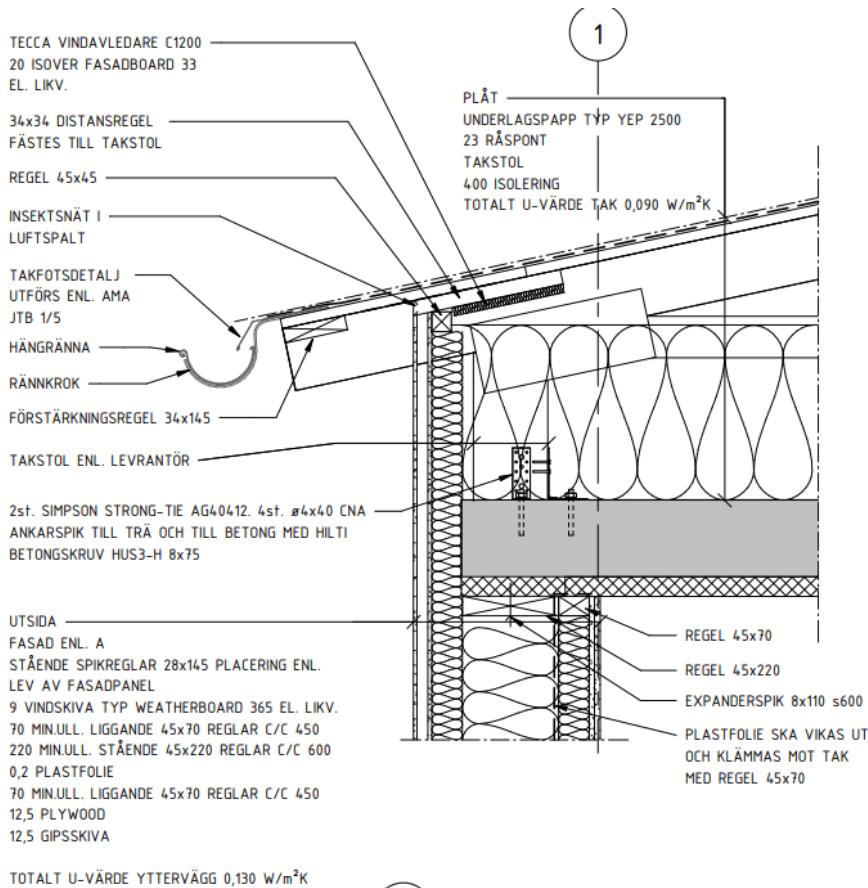
isoleringsmaterial i grund och väggar samt betong. Även takets material togs med i denna första klimatdeklaration. Resultatet blev dock att fokus försköts från det huvudsakliga syftet, eftersom fler material än nödvändigt inkluderades. Exempelvis användes mineralull som isolering i väggarna, vilket visade sig ha en mycket hög klimatpåverkan jämfört med övriga material, endast betongen hade större påverkan. Eftersom Enköpings kommuns resultat framför allt påverkades av betongen, och på grund av rådande tidsbegränsningar, beslutades det i samråd med handledaren att enbart inkludera betong i den slutliga beräkningen.

Resource	Quantity	CO ₂ e
Längsidor	315.0 m ²	34t - 15%
Mineral wool insulation, 0.036 W	315 m ²	5,4t - 2%
Gypsum plasterboard, regular, 9.5 m	315 m ² x 9,5 mm	0,87t - 0,4%
Mineral wool insulation, 0.036 W	315 m ²	14t - 6%
Plastic vapour control layer, 0.	315 m ² x 0.2 mm	0,14t - 0,1%
Mineral wool insulation, 0.036 W	315 m ²	5,4t - 2%
Laminated plywood, from spruce	315 m ² x 12 mm	0,88t - 0,4%
Gypsum plasterboard, regular, 12.5	315 m ² x 12,5 mm	0,69t - 0,3%
Cement-composite façade panel, p	315 m ² x 10 mm	6,5t - 3%
Kortsidor	301.0 m ²	31t - 14%
Gypsum plasterboard, regular, 9.5 m	301 m ² x 9,5 mm	0,83t - 0,4%
Mineral wool insulation, 0.036 W	301 m ²	5,2t - 2%
Mineral wool insulation, 0.036 W	301 m ²	13t - 6%
Mineral wool insulation, 0.036 W	301 m ²	5,2t - 2%
Gypsum plasterboard, regular, 9.5 m	301 m ² x 9,5 mm	0,83t - 0,4%
Cement-composite façade panel, p	301 m ² x 10 mm	6,2t - 3%
Hot finished steel hollow sections	0.0435 m ³	0,96t - 0,4%
Ready-cut timber from spruce/whitew	14 m ³	0,85t - 0,4%

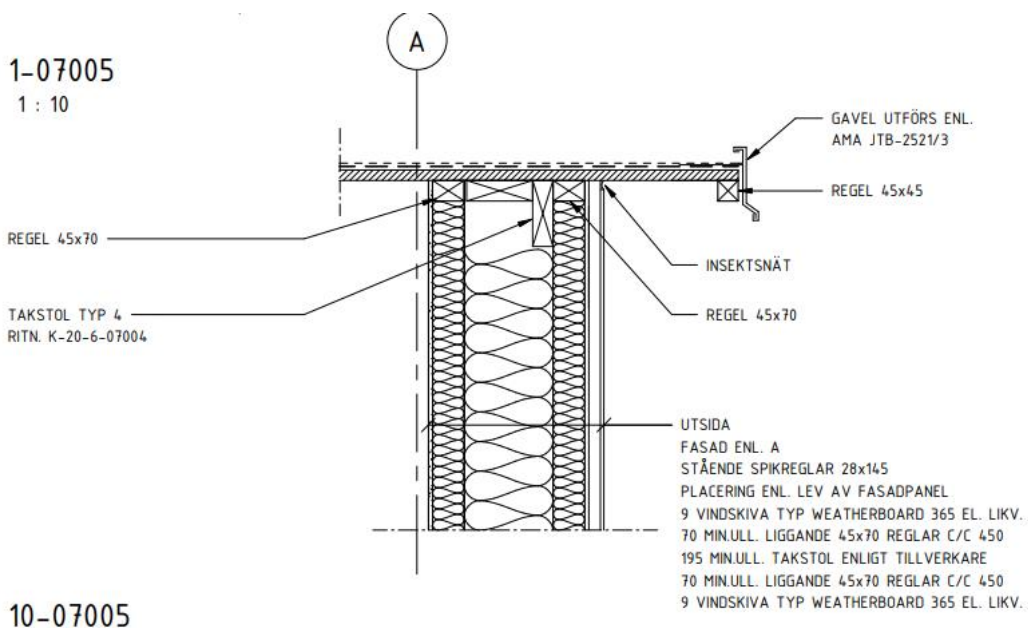
Figur 6: Ursprunglig indata på personalbyggnadens ytterväggar.

Ovanstående exempel i figur 6 illustrerar de två varianterna av ytterväggskonstruktioner för personalbyggnaden som användes i den initiala analysen. Båda var av typen utfackningsväggar, vilket innebär att de inte innehöll någon betong. Därför bedömdes det som irrelevant att inkludera dessa i den slutliga klimatberäkningen. Väggaras indata baseras på ritningar av konstruktionsdetaljer från Enköpings kommun, se figur 7 och 8.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk



Figur 7: K-ritning för långsida yttervägg.



Figur 8: K-ritning för kortsida yttervägg.

Efter beslutet att enbart fokusera på betong togs en ny beräkningsvariant fram, där betongtyper från Thomas Betong användes med målet att uppnå de kravställda hållfasthetsklasserna. Det framgick från handledaren att Thomas Betong var den ansvariga leverantören i projektet. Trots detta

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

överensstämde inte de använda GWP-värdena med de faktiska betongrecept som användes i Enköpingsprojektet, vilket gav en missvisande bild av den verkliga klimatpåverkan.

Vid arbetet med klimatförbättrade alternativ användes initialt EPD:er från flera olika betongleverantörer. Detta resulterade dock i ett icke projektspecifikt resultat. För att öka noggrannheten i klimatberäkningarna beslutades det därför att kontakta Thomas Betong direkt, vilket möjliggjorde tillgång till de betongrecept som faktiskt används i projektet.

3.3.4 LCC

I samband med klimatdeklarationen har en livscykelkostnad (LCC) beräknats. I samband med klimatdeklarationen togs en ungefärlig kostnad fram för de olika betongtyperna. Eftersom likvärdiga produkter användes i beräkningarna, med fokus på klimatpåverkan (GWP), speglade de initiala priserna inte de faktiska kostnaderna fullt ut. Därför justerades kostnaden per kubikmeter utifrån den prisinformation som tillhandahållits av Thomas Betong. Betong med klimatprestanda motsvarande nivå 1 medför en merkostnad på 60 kronor per kubikmeter, medan nivå 2 innebär ytterligare 20 kronor per kubikmeter. Med dessa justeringar kunde mer korrekta priser användas, vilket resulterade i totalkostnader som bättre överensstämmer med verkligheten.

3.3.5 EPD:er använda i One Click LCA

Betongtyperna som används i projektet är Thomafrys grön 1 och Thomagrön 1. I One Click LCAs bibliotek finns endast EPD:n för Thomafrys grön 1, därför används en EPD med likvärdiga GWP-värden för att ersätta Thomagrön 1. Den EPD:n som ersätter Thomagrön 1 är *Ready-mix and prefabricated concrete, C30/37 VCT 0,55 Std. Cement (Thomas Betong)*.

I den reviderade utformningen av projektet ersätts betongtyperna till två nivå 2 betonger, Thomafrys grön 2 och Thomagrön 2. Thomafrys grön 2 finns inte i One Click LCAs bibliotek så ersätts av en EPD med likvärdiga GWP-värden, *Ready-mix concrete, C30/37 (B30 M60) WCR 0.5, exposure class XC4, XF3 (Thomas Betong AB)*. Se bilaga 5 för EPD:erna använda i One Click LCA.

3.3.6 Enköpings upphandling av nytt avloppsreningsverk

Denna fallstudie bygger även på en analys av upphandlingsdokumentationen av projektet upphandlad under hösten 2021 genomfördes enligt LOU, diarienummer TF2021/861. Dokumenten har hämtats från Merzell, en digital upphandlingsplattform där offentliga myndigheter publicerar sina upphandlingar och tillhörande handlingar.

Upphandlingen är strukturerad enligt AMA AF – ett svenskt referenssystem för administrativa föreskrifter i byggprojekt, där varje kravpunkt har en kod, exempelvis AFC.222. Koderna hänvisar till standardiserade rubriker i systemet och används för att underlätta tydlig och enhetlig kravställning i entreprenadavtal.

I upphandlingen finns dokumentet som *9.3 AFC.pdf* där administrativa föreskrifterna för entreprenaden hittas. Här ställdes krav på att entreprenören skulle ha ett dokumenterat systematiskt miljöarbete. Certifiering enligt ISO 14001 godtas som bevis för detta enligt punkt AFC.222. ISO 14001 är en internationell standard för miljöledningssystem som används för att säkerställa att verksamheter arbetar strukturerat med att minska sin miljöpåverkan. Enligt Upphandlingsmyndigheten innebär detta att entreprenören har rutiner för att identifiera miljörisker,

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

följa tillämplig miljölagstiftning, sätta upp mål för miljöförbättringar och kontinuerligt följa upp och förbättra sitt miljöarbete. Kravet på ett dokumenterat miljöledningssystem används i offentlig upphandling för att säkerställa att leverantören tar ett aktivt ansvar för sin miljöpåverkan, den innehåller dock inga absoluta krav eller mått på miljöprestanda [27]. Vidare anges i punkt AFC.224 att entreprenören ska ta fram en projektspecifik miljöplan. Denna plan ska bland annat innehålla beskrivningar av hur avfall ska hanteras, hur buller, damm och vibrationer ska minimeras, samt hur transporter ska utföras på ett miljöanpassat sätt.

Under AFC.15 anges att material inte får avge besvärande gaser eller lukter och att de ska vara allergitestade. Förpackningar ska vara återvinningsbara eller utformade för retursystem. Dessutom ställs etiska och sociala krav på vissa material. Exempelvis ska trä vara FSC- eller PEFC-certifierat och stål och natursten ska vara framställda under förhållanden som uppfyller krav på mänskliga rättigheter, ILO-konventioner och miljöskyddslagar. ILO-konventionerna syftar till att skydda arbetstagares rättigheter, bland annat genom förbud mot tvångsarbete och barnarbete. [28] Miljöskyddslagar omfattar regelverk som ska säkerställa att verksamheter bedrivs med hänsyn till miljön. I Sverige är miljöbalken (1998:808) den centrala miljölagstiftningen och innehåller grundläggande regler om hushållning med resurser, miljöfarlig verksamhet och skydd av natur och vatten [29].

I 13.1 *Anbudsformulär BE* redovisas hur anbudsgivaren ska lämna sitt pris samt fylla i information om bland annat referensentreprenader, arbetsledning, och leverantörsförsäkran. Det ställs inga specifika klimatrelaterade krav i anbudsformuläret, och det finns ingen hänvisning till miljöprestanda för specifika material såsom betong.

Sammantaget visar upphandlingsdokumentationen att det fanns övergripande krav på miljöledning och miljöplaner, samt vissa etiska och miljörelaterade krav på material. Däremot förekommer inga kvantitativa krav på klimatpåverkan från materialval, och det saknas krav på exempelvis livscykelanalys, miljövarudeklarationer eller miljöklassificeringsnivåer för betong.

3.4 Utförande av intervjuer

För att samla information och kunskap under arbetets gång utfördes en del intervjuer med olika respondenter inom byggbranschen som bland annat arbetar med betong, avloppsreningsverk och gröna lån. Dessa skedde muntligt via en blandning av digitala möten via programmet Microsoft Teams, samt skriftligt över mejl beroende på respondentens tillgänglighet. Den valda strukturen för de muntliga intervjuerna var en semistrukturerad intervju där en del frågor förbestämdes men utrymme lämnades för följdfrågor baserat på respondentens svar. De skriftliga frågorna var däremot helt strukturerade med alla ställda frågor bestämda i förväg. För att säkerställa att informationen mottogs korrekt deltog båda studenter och ena parten agerade som sekreterare under muntliga intervjuer. Detta för att kunna återkomma till informationen utan att behöva kontakta företagen ytterligare. Intervjuer bidrar med kunskap som ej är möjlig att finna via litteraturstudien då respondenterna kan erbjuda intern information samt specifika siffror. Vid planeringen av intervjuer kontaktades företag som var relevanta för arbetet och som kunde bidra med nyttig kunskap. Inför deltagandet fick kandidaterna en sammanfattning av arbetets syfte samt en översikt över frågetypen. De erbjöds att välja mellan ett digitalt möte eller att motta frågorna via mejl. Deras medverkan var helt frivillig.

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

3.4.1 Intervjukandidater

	Rollbeskrivning	Datum	Metod
Respondent 1	Projektledare	2025-04-15 13:00	Zoom-möte
Respondent 2	Arkitekt		Mejl
Respondent 3	Betongleverantör	2025-05-15 10:30	Microsoft Teams
Respondent 4	Finansiering av lån	2025-05-12 13:20	Telefonsamtal

3.5 Validitet och reliabilitet

3.5.1 Validitet

Validitet handlar om hur hög grad ett resultat stämmer med vad det faktiskt avser att mäta. Man ska kunna hantera och diskutera möjliga fel som kan uppstå i undersökningar. Detta är essentiellt för att kunna göra en bra undersökning då det uppmuntrar författaren till att överväga flera vinklar för insamling av data. Ett arbete med hög validitet säkerställer kvalitet och bygger trovärdighet hos läsaren. [30]

För att säkerställa att detta arbete hög grad validitet så har lämpliga mätmetoder använts för mängdberäkning av byggnadsdelar. Kontrollmätningar har utförts efter tillämpning av skalor för att säkerställa att det inte sker felberäkningar i resultaten. Dessutom har skalor tillämpats på enskilda ritningar då dessa kan skilja sig beroende på innehåll. Detta är viktigt för att resultaten ska vara trovärdiga.

3.5.2 Reliabilitet

Reliabilitet används för att beskriva kvaliteten av datainsamlingsmetoden. Det handlar om kvalitet vid mätning och konsistens, samma resultat ska kunna uppnås ifall det upprepas av en tredje part. Hög reliabilitet innebär att arbetet använder sig av tillförlitliga källor samt pålitliga och konsekventa resultat. [31]

Reliabiliteten stärktes genom att kontrollera och jämföra källor i syfte med att undersöka hur trovärdiga dessa är, samt säkerställa man ej sprider desinformation och utför arbetet baserat på felaktig information. Vid noggrant utvalda intervjuer agerar ena parten som sekreterare för att minimera missuppfattningar.

3.6 Etiska ställningstaganden

Den här studien genomförs i enlighet med Uppsala universitets riktlinjer för god forskningssed och forskningsetik. För att säkerställa ett etiskt genomförande beaktas och motverkas tre centrala former av forskningsoredlighet, nämligen fabricering, förfalskning och plagiering. Fabricering och förfalskning undviks genom att alla analyser och slutsatser baseras på verifierbara data och källor. De motverkas även genom transparenta redovisningar av använda metoder och material. Plagiering, det vill säga användning av andras arbete utan korrekt hänvisning, förebyggs genom att all använd information citeras och refereras enligt vedertagna akademiska standarder.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Känslig information som kommer från Enköpings kommun och andra källor, hanteras med omsorg och endast godkända uppgifter kommer att inkluderas. Den här studien följer de etiska riktlinjerna för att säkerställa en objektiv och transparent datainsamling och analys.

4 RESULTAT

I detta avsnitt redovisas de resultaten framtagna från klimatdeklarationen samt livscykelkostnadsanalysen i tabellformat. Tabellerna i detta kapitel visar resultat för betong av nivå 1 och nivå 2. Nivå 1 motsvarar de betongtyper som används i projektet idag, Thomagrön 1 och Thomafrys grön 1, medan nivå 2 är ett förbättrat alternativ, Thomagrön 2 och Thomafrys grön 2 som uppfyller kraven för grön betong enligt branschstandard. Resultattabeller redovisas för varje separat byggnad med en sammanställning för totalutsläpp och -kostnad i slutet.

4.1 Mätvärden från mängdberäkning

Plan 1	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	297,85	0	20	278
Lättvägg 1	51	0	6	45
Lättvägg 2	244,3	0	32,34	212
Plan 2	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	153	5	14	134
Lättvägg 1	38,5	0	0	38,5
Lättvägg 2	228,6	18	14,7	195,9
Bjälklag	Bruttoarea [m ²]	Tjocklek betong [m]	Tjocklek Cellplast [m]	Volym [m ³]
Betong				
Grund	472	0,22	0,4	94,4
Mellanbjälklag	444,5	0,26		133,35
Takbjälklag	472	0,22		94,4
Balkong	41,5	0,2		8,3

Figur 9: Excel sammanställ av mätvärden för personalbyggnad.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Total huvudbyggnad	m2	Tjocklek (m)	m3	m3
tak	1907			
fasad	1779			
bärande innervägg	1066	0,3	319,8	
bjälklag	851	0,4	340,4	
grund mot mark	1046	0,425	444,55	
mark				
källarnivå	851	0,425	361,675	
			Total:	806,225
ytterväggar				
källarnivå	709,3	0,35	248,255	
sockel	279	0,3	83,7	
			2171,704	

Figur 10: Excel sammanställning av mätvärden för huvudbyggnad.

Plan 1	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande yttervägg Betong (300 mm)	443,62		2,31	441
Bärande innervägg 1 Betong (300 mm)	477		2,31	475
Bärande innervägg 2 Betong (200 mm)	36,9		2,31	35
Plan 2 och 3	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Innervägg 1	353,1		14	339
Innervägg 2	196,5		11	185,5
Isolerelement				
Gips				
Bjälklag	Bruttoarea [m ²]	Tjocklek [m]	Volym [m ³]	
Plan 0	10	0,6	6	
Plan 1	485	0,4	194	
Plan 2	1339	0,4	536	
Plan 3 HD/f	294	0,2	59	

Figur 11: Excel sammanställning av mätvärden för slambyggnad.

	Biobassäng [m2]	Tjocklek [m]
Grund	1176	0,4
Inre grund	491	0,3
Yttre vägg	750,3	0,2
Inre vägg	474	0,2

Figur 12: Excel sammanställning av mätvärden för en biobassäng.

Total volym betong för en respektive tre biobassänger blev 862 m³ och 2 586 m³.

4.2 Huvudbyggnad

Tabell 2: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för huvudbyggnad.

	Ursprunglig utformning (Betong nivå 1)	Reviderad utformning (Betong nivå 2)		
Klimatpåverkan (A1-A5) [kg CO ₂ e]	746 660	654 059	-92 601	-12,5%
Kostnad [kr]	41 846 775	41 901 600	+54 825 kr	+1,308%

Not: Nivå 1 = Thomagrön 1 / Thomafrys Grön 1. Nivå 2 = Thomagrön 2 / Thomafrys Grön 2.

Jämförelse mellan betongnivå 1 och betongnivå 2 för huvudbyggnaden som har en volym betongvolym på 2172 m³ visar att en övergång till betongnivå 2 resulterar i en reducerad klimatpåverkan (A1-A5) med 12,5 %, motsvarande en minskning från 746 660 kg CO₂e till 654 059 kg CO₂e (dvs. 92 601 kg CO₂e). Andelen av utsläpp som kommer från transport av material är 2,7% eller 17 966kg CO₂e. Denna miljöförbättring medför en kostnadsökning om 54 825 kr, vilket motsvarar en merkostnad på cirka 0,59 kr per reducerat kg CO₂e. Den totala kostnaden ökar därmed från 41 846 775 kr till 41 901 600 kr.

4.3 Slambyggnad

Tabell 3: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för slambyggnad.

	Ursprunglig utformning (Betong nivå 1)	Reviderad utformning (Betong nivå 2)		
Klimatpåverkan (A1-A5) [kg CO ₂ e]	412 068	364 542	-47 526	-11,5%
Kostnad [kr]	24 787 631	24 815 922	+28 291 kr	+1,141 %

Not: Nivå 1 = Thomagrön 1 / Thomafrys Grön 1. Nivå 2 = Thomagrön 2 / Thomafrys Grön 2.

För slambyggnaden med 1391 m³ betong medför övergången från betongnivå 1 till betongnivå 2 en minskning av klimatpåverkan (A1-A5) med 11,5 %, från 412 068 kg CO₂e till 364 542 kg CO₂e, vilket motsvarar en reduktion på 47 526 kg CO₂e. Andelen av utsläpp som kommer från transport av material är 2,7% eller 9 830 kg CO₂e. Denna minskning innebär en kostnadsökning på 28 291 kr, från 24 787 631 kr till 24 815 922 kr. Det ger en merkostnad på cirka 0,60 kr per reducerat kg CO₂e.

4.4 Personalbyggnad

Tabell 4: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för personalbyggnad.

	Ursprunglig utformning (Betong nivå 1)	Reviderad utformning (Betong nivå 2)		
Klimatpåverkan (A1-A5) [kg CO ₂ e]	118 526	106 285	-10%	-10%

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Kostnad [kr]	9 537 948	9 547 026	+9 078 kr	0,952 ‰
--------------	-----------	-----------	-----------	---------

Not: Nivå 1 = Thomagrön 1 / Thomafrys Grön 1. Nivå 2 = Thomagrön 2 / Thomafrys Grön 2.

För personalbyggnaden med 405 m³ betong innebär övergången från betongnivå 1 till betongnivå 2 en klimatpåverkansreduktion (A1-A5) med 10 %, från 118 526 kg CO_{2e} till 106 285 kg CO_{2e}, vilket motsvarar en minskning på 12 241 kg CO_{2e}. Andelen av utsläpp som kommer från transport av material är 4,5% eller 4 737 kg CO_{2e}. Kostnaden ökar med 9 078 kr, från 9 537 948 kr till 9 547 026 kr. Detta motsvarar en merkostnad på cirka 0,74 kr per reducerat kg CO_{2e}.

4.5 Biobassänger

Tabell 5: Resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong för biobassänger.

	Ursprunglig utformning (Betong nivå 1)	Reviderad utformning (Betong nivå 2)		
Klimatpåverkan (A1-A5) [kg CO _{2e}]	877 797	805 173	-72 624	-8%
Kostnad [kr]	43 423 755	43 475 463	+51 708 kr	1,190 ‰

Not: Nivå 1 = Thomagrön 1 / Thomafrys Grön 1. Nivå 2 = Thomagrön 2 / Thomafrys Grön 2.

För de tre biobassängerna med totalvolym 2586 m³ innebär övergången från betongnivå 1 till betongnivå 2 en klimatpåverkansreduktion (A1-A5) med 8%, från 877 797 kg CO_{2e} till 805 173 kg CO_{2e}, vilket motsvarar en minskning på 72 624 kg CO_{2e}. Andelen av utsläpp som kommer från transport av material är 2,3% eller 18 477 kg CO_{2e}. Kostnaden ökar med 51 708 kr, från 43 423 755 kr till 43 475 463 kr. Detta motsvarar en merkostnad på cirka 0,71 kr per reducerat kg CO_{2e}.

4.6 Sammanställning

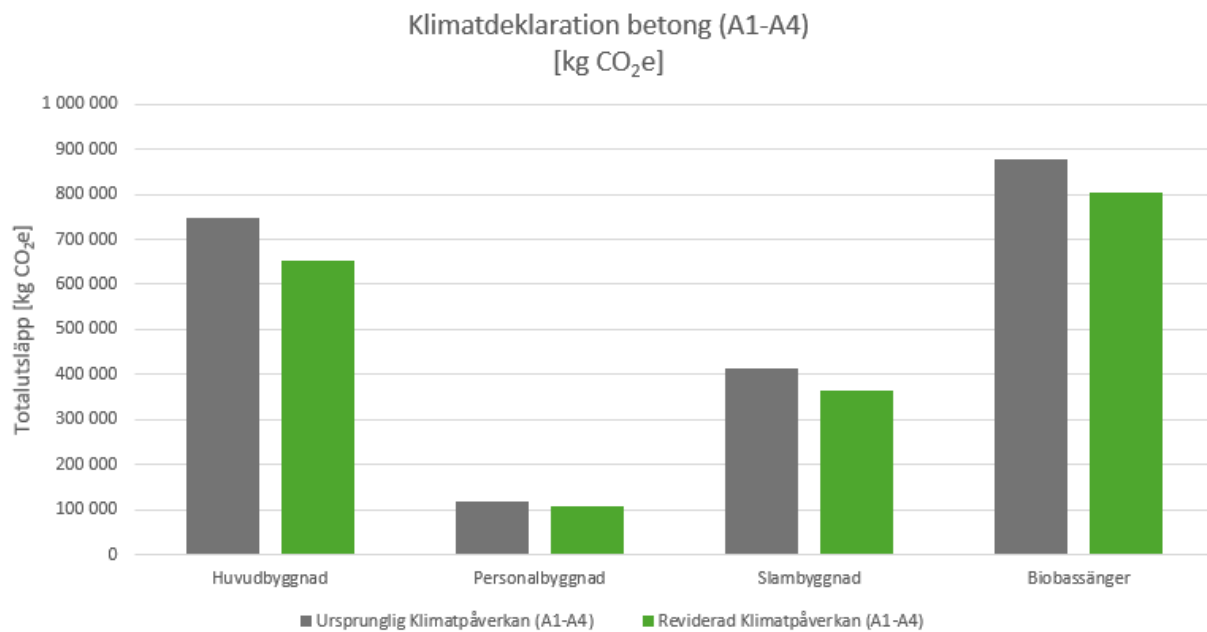
Tabell 6: Sammanställning resultat klimatpåverkan och kostnad på nivå 1 respektive nivå 2 betong.

	Ursprunglig utformning (Betong nivå 1)	Reviderad utformning (Betong nivå 2)		
Klimatpåverkan (A1-A5) [kg CO _{2e}]	2 155 051	1 930 058	-224 993	-10,5%
Kostnad [kr]	119 596 109	119 740 011	+143 902 kr	+1,203 ‰

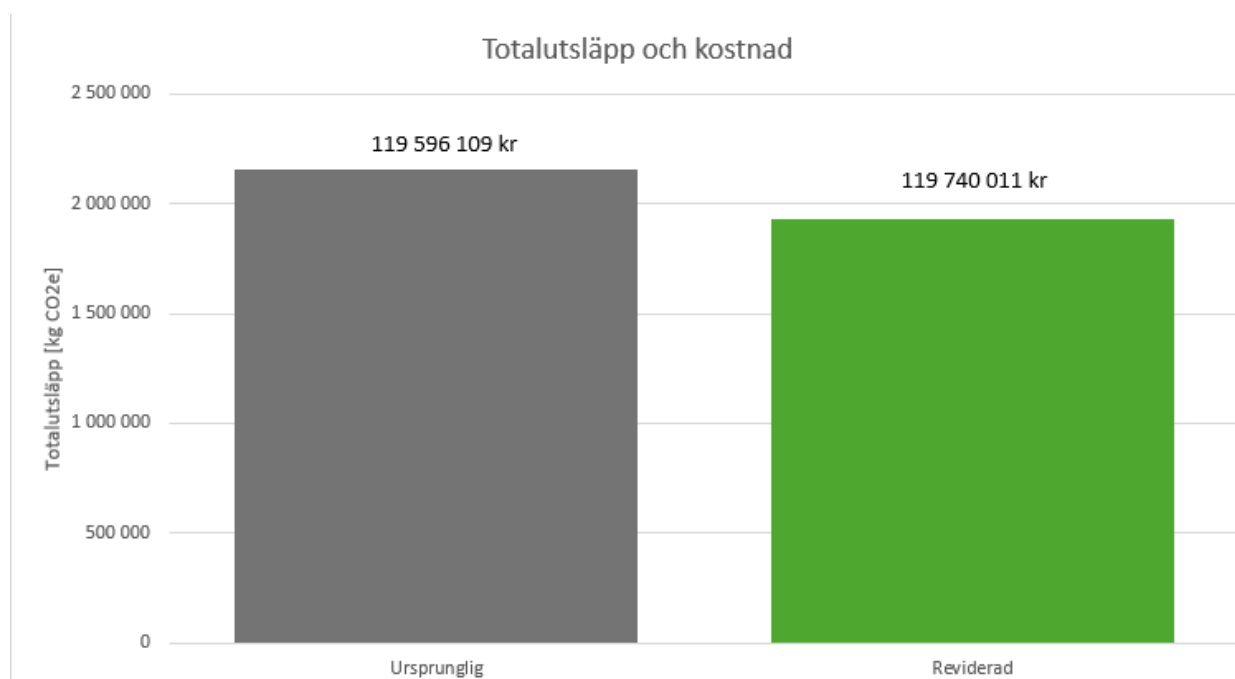
Not: Nivå 1 = Thomagrön 1 / Thomafrys Grön 1. Nivå 2 = Thomagrön 2 / Thomafrys Grön 2.

Sammanlagt medför övergången från betongnivå 1 till betongnivå 2 för samtliga byggnader en minskning av klimatpåverkan (A1-A5) med 10,5 %, från 2 155 051 kg CO_{2e} till 1 930 058 kg CO_{2e}. Detta motsvarar en total reduktion på 224 993 kg CO_{2e}. Kostnaden ökar samtidigt med 143 902 kr, från 119 596 109 kr till 119 740 011 kr. Den genomsnittliga merkostnaden per reducerat kg CO_{2e} uppgår till cirka 0,64 kr/kg CO_{2e}. Den sammanlagda volymen betong för samtliga byggnader är 6554 m³.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk



Figur 13: Resultat för totalutsläpp per byggnad och betongnivå.



Figur 14: Resultat för totalutsläpp för samtliga byggnader och totalkostnad.

5 ANALYS OCH DISKUSSION

I detta avsnitt analyseras och diskuteras resultatet från tidigare avsnitts genomförda jämförelser mellan ursprunglig utformning och reviderad utformning utifrån global uppvärmningspotential samt hur kostnader påverkas av materialval och gröna lån.

5.1 Övergripande klimatpåverkan (LCA-resultat)

Livscykelanalysen i denna studie fokuserade på betongkonstruktionerna i projektet och visade att val av betongtyp har en betydande påverkan på klimatavtrycket. I den ursprungliga utformningen användes klimatförbättrad betong av typ Thomafrys Grön 1 och Thomagrön 1, som har cirka 10 % lägre klimatutsläpp än konventionell betong med enbart cement som bindemedel. Ett byte till nivå 2-betong, med högre andel alternativa bindemedel, resulterade i en totalreduktion på 20 %, vilket också är det minimumkrav som Svensk Betong ställt för att man ska kunna ansöka om gröna lån.

Transporten, som sker från Thomas Betongs fabrik i Västerås till Vappa Säteri i Enköping (37km), har också inkluderats i analysen där en användning av en svensk koldioxidreducerad bränslemix bidragit till en minskning av koldioxidutsläppen i skede A4.

För avfall har ett schablonvärde om 3 % använts, baserat på One Clicks användning av svenska standardvärden och riktlinjer, då exakta mängder avfall inte specificerats i det underlag som tillhandahållits av Enköpings kommun.

Med beaktande av ovan nämnda faktorer har det varit möjligt att ta fram ett rimligt resultat som visar en total minskning av utsläppen med 20 %, samtidigt som den totala kostnaden för de reviderade byggnaderna har ökat. Detta stämmer med verkligheten då de klimatförbättrade materialen är aningen dyrare per kubikmeter i jämförelse med betong med endast cement som bindemedel.

Resultaten från LCA:n visar tydligt att valet av betongtyp har stor påverkan på projektets totala klimatavtryck. Standardbetong ger upphov till högst utsläpp medan den klimatförbättrade betongen Thomagrön 2 innebär en betydande minskning av GWP-värdet - minst 20% reduktion. Genom att ställa krav på klimatförbättrad betong minst på nivå 2 i anbudsprocessen säkerställs att byggnaden uppfyller de nödvändiga kriterierna för att kunna beviljas gröna lån. Dessutom kan man kräva att transportfordon drivs med koldioxidreducerade bränslen.

5.2 Kostnad i relation till klimatprestanda (LCC-resultat)

Livscykelkostnadsanalysen visade att de klimatförbättrade betongalternativen medförde en merkostnad på 60-80kr/m³, beroende på vilken nivå man använder. När denna kostnad ställdes i relation till klimatvinsten (uttryckt i kg CO₂e besparing) visade beräkningarna att det var en kostnadseffektiv åtgärd ur både miljö- och långsiktigt investeringsperspektiv.

Med ett grönt lån från Kommuninvest erbjuds en ränterabatt på 0,02 procentenheter. Den aktuella räntan för ett standardlån är 2,5 %, vilket innebär att räntan med ett grönt lån skulle bli 2,48 %. Vid en total projektkostnad på cirka 325 miljoner kronor (MSEK) innebär detta en tydlig ekonomisk fördel.

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Vid ett antaget amorteringsupplägg med 20 års löptid och årliga betalningar om 16 250 000 kr, blir den årliga räntekostnaden med 2,5 % ränta 8 125 000 kr, vilket tillsammans med amorteringen ger en total årlig kostnad på 24 375 000 kr. Med en ränta på 2,48 % sjunker räntekostnaden till 8 060 000 kr, och den totala årliga kostnaden blir då 24 310 000 kr.

Sammanlagt, över 20 år, uppgår återbetalningen till:

- 410 312 500 kr med standardlån (2,5 %)
- 409 630 000 kr med grönt lån (2,48 %)

Detta motsvarar en besparing på 682 500 kr tack vare den lägre räntan.

Om man samtidigt jämför kostnadsskillnaden mellan klimatförbättrad betong nivå 1 och nivå 2, uppgår denna till cirka 144 000 kr i merkostnad. Den ekonomiska merkostnaden för att gå från nivå 1 till nivå 2-betong motsvarar ungefär 1,2 promille av projektets totala investeringskostnad. I ett större sammanhang framstår detta som en mycket liten ökning, särskilt när man beaktar att fördyringar i byggprojekt ofta uppgår till flera procent på grund av till exempel förseningar, materialprishöjningar eller ändrade förutsättningar.

Med tanke på att nivå 2-betongen samtidigt möjliggör en tydlig reduktion av klimatpåverkan och dessutom uppfyller kravet för gröna lån, framstår åtgärden som väldigt rimlig även ur ett risk- och investeringsperspektiv. Den låga kostnadsökningen bör därför inte ses som ett hinder, utan snarare som en möjlighet att stärka projektets hållbarhetsprofil med mycket begränsad ekonomisk påverkan.

5.3 Krav för gröna lån

Enligt rådande kriterier för gröna lån krävs att projektet kan påvisa konkreta utsläppsminskningar samt har genomfört beräkningar enligt erkända metoder. Projektets arbete med både LCA och LCC, tillsammans med faktabaserade materialval, visar att dessa krav uppfylls. Valet att integrera klimatprestanda i upphandlingsprocessen ger ytterligare styrka åt detta.

5.4 Osäkerheter och avgränsningar

Viss osäkerhet föreligger eftersom likvärdiga EPD:er använts i brist på produktspecifika data i OneClick. Detta medför mindre avvikelser i de slutgiltiga resultaten, men inget som är tillräckligt stort för att ge en missvisande bild av klimatpåverkan. Eftersom en EPD specifik för Thomafrys Grön 2 inte kunde hittas, fick ett antagande göras. Genom att använda GWP-värdet för Thomafrys Grön 1 kunde en ungefärlig uppskattning av GWP för nivå 2 göras. Det framtagna värdet var cirka 285 kg CO_{2e}, vilket möjliggjorde användandet av en likvärdig EPD i OneClick med en GWP på 291,46 kg CO_{2e}. De övriga EPD:erna överensstämde väl i global uppvärmningspotential.

Även antaganden kring energianvändning vid transport samt livslängd hos vissa komponenter påverkar resultatets exakthet. Trots detta är indata noggrant motiverade och baserade på information från leverantörer och projektets verkliga förutsättningar.

Enköpings kommun saknade detaljerade underlag för energianvändningen under bygg- och installationsprocessen. Därför användes i stället en uppskattning av den totala energiförbrukningen. Det gick inte att särskilja mellan el-, bränsle- och värmeanvändning, vilket innebär att analysen bygger på sammanslagna energivärden och därmed kan innehålla viss osäkerhet.

5.5 Svar på forskningsfrågor

5.5.1 Frågeställning 1

F1 - Hur kan materialval och tekniska lösningar under byggfasen i offentliga byggprojekt optimeras för att minska växthusgasutsläpp utifrån ett livscykelperspektiv (LCA)?

Resultatet från detta arbete visar att genom uppgradering till högre nivåer av klimatförbättrad betong, till exempel Thomafrys Grön 2 och Thomagrön 2, kan man minska växthusgasutsläppet med ca 225 000 kg CO_{2e} under ett 100 årigt perspektiv.

Detta arbete har fokuserat på materialval och visar tydligt potentialen i att byta ut ett enskilt material för att uppnå signifikanta klimatvinster. Andra tekniska lösningar, såsom elektrifiering av transporter eller mer energieffektiva produktionsmetoder, kan ytterligare bidra till minskade utsläpp, men har inte ingått i denna studie. Dessa förbättringar utgör möjliga framtida utvecklingsspår för att ytterligare optimera byggprocessens klimatpåverkan.

5.5.2 Frågeställning 2

F2 - Vilka faktorer inom upphandling och projektering påverkar möjligheten att uppfylla EU:s taxonomikrav och erhålla gröna lån?

Lagen om upphandling påverkar köparens mål att möta EU:s taxonomikrav efter att projektet startat då lagen ej tillåter en att ändra sig efter att anbudsprocessen har avslutats. Dessutom kan köparen ej ställa krav på specifika produkter från leverantörer och måste därför endast ange specifikationer som hållfasthets- och exponeringsklasser samt vilken nivå av klimatförbättring man vill ha. Detta måste ske under anbudsprocessen när köparen agerar som kravställare under upphandlingen. Utifrån det kan entreprenörerna ge anbud på hur de tänker uppfylla kraven med beskrivningar, priser och tidsplaner. Därför måste köparen vara noggrann med att inkludera alla deras krav i upphandlingen.

5.5.3 Frågeställning 3

F3 - Vilka lärdomar från ett aktuellt reningsverksprojekt kan användas för att utveckla mer hållbara kravställningsstrategier i framtida offentliga byggprojekt?

För att säkerställa att de klimatförbättrade materialen uppfyller de tekniska kraven, är det avgörande att köparen tydligt specificerar dessa redan i upphandlingen. För avloppsreningsverk innebär det särskilt att utvändiga betongkonstruktioner, som utsätts för växlande våta och torra förhållanden samt upprepade frysings- och töcykler, måste vara frostbeständiga (exponeringsklass XF4). De ska även ha tillräcklig motståndskraft mot karbonatiseringsorsakad korrosion (exponeringsklass XC4) för att undvika framtida skador och underhållskostnader.

Kostnadsanalysen visar att övergången till klimatförbättrad betong endast innebär en merkostnad på cirka 144 000 kr för hela projektet vid Enköpings avloppsreningsverk. I ett större ekonomiskt perspektiv är detta en marginell ökning, särskilt med tanke på att den uppfyller kraven för gröna lån. Den räntesänkning som ett sådant lån kan ge innebär att investeringen i klimatvänligare material på sikt är ekonomiskt fördelaktigt, då besparingen från lägre finansieringskostnader

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

överstiger merkostnaden. Dock så är det inte en väsentlig minskning i det stora hela och andra faktorer som man bör ta i beaktning är att sättningstiden för klimatförbättrad betong kan vara längre än den för cementbaserad betong. Men med gröna lån återstår möjligheten för besparingar.

5.6 Metoddiskussion

Mängdberäkning, livscykelanalys (LCA) och livscykelkostnadsanalys (LCC) har varit centrala metoder för att besvara rapportens frågeställningar. Databesamlingen har underlättats genom värdefulla bidrag från Enköpings kommun, i form av intervjuer och tillhandahållna projektunderlag. Detta möjliggjorde mer tillförlitliga beräkningar av klimatpåverkan kopplat till olika materialval.

Genom LCA kunde klimatpåverkan analyseras utifrån olika livcykelskedan, vilket gav en tydlig överblick och underlättade tolkningen av resultaten. För att avgränsa arbetets omfattning valdes att enbart inkludera betongkonstruktioner, med fokus på byggskedet (A1–A5), vilket bedömdes vara mest relevant för projektets syfte och för möjligheten att påverka klimatpåverkan inom ramen för en grön finansiering.

Genom tillgång till ritningar och dokument från Enköpings kommun stärktes förståelsen för projektet, då arbetet kunde förankras i en verklig och aktuell byggsituation. Kommunen bidrog generöst med både fakta och insikter, vilket visade på god intern kompetens och ett öppet samarbetsklimat. Enköpings kommuns engagemang utgjorde även en viktig faktor för att arbetet kunde genomföras smidigt och effektivt. Vid bristande information kunde de hänvisa till andra parter och boka intervjuer med relevanta aktörer.

I kombination med information från andra ledande aktörer inom branschen möjliggjordes en mångsidig databesamling. Både kvalitativa metoder, såsom intervjuer, och kvantitativa underlag, exempelvis tekniska specifikationer och beräkningar, kunde integreras – vilket bidrog till en bred och tillförlitlig grund för analysen.

6 SLUTSATSER

Detta kapitel sammanfattar de viktigaste resultaten från studien och besvarar de uppställda frågeställningarna. Utifrån dessa slutsatser presenteras även rekommendationer och förslag på fortsatt arbete.

6.1 Slutsatser

Syftet med detta arbete var att undersöka hur materialval och tekniska lösningar under byggfasen i offentliga byggprojekt kan optimeras för att minska växthusgasutsläpp samt vilka faktorer som påverkar möjligheten att uppfylla EU:s taxonomikrav och därmed erhålla gröna lån. Fokus låg på byggfasen av Enköpings nya avloppsreningsverk, där livscykelanalyser (LCA) och livscykelkostnadsanalyser (LCC) användes för att kvantifiera klimatpåverkan och ekonomiska effekter.

Resultaten visar att materialskedet (A1–A3), och då särskilt valet av betong, har störst klimatpåverkan i projektet. Genom att använda klimatförbättrad betong på nivå 2 kan växthusgasutsläppen minska med cirka 20 % jämfört med standardbetong, vilket motsvarar cirka 225 000 kg CO_{2e} under en 100-årsperiod. Samtidigt visade kostnadsanalysen att merkostnaden för detta val är marginell i förhållande till den ekonomiska besparingen som ett grönt lån innebär.

Analysen visar även att en noggrann kravställning under upphandlingen är avgörande för att projektet ska uppfylla taxonomins kriterier. Då offentliga upphandlingar inte tillåter specifika produktkrav efter kontraktsskrivning, måste krav på klimatprestanda och exponeringsklasser formuleras tydligt redan i anbudsunderlaget. Det är även fördelaktigt för företagen att hålla sig uppdaterade vad gäller nya eller uppdaterade regelverk.

Sammantaget visar examensarbetet att det är både klimatmässigt och ekonomiskt fördelaktigt att ställa hållbarhetskrav i ett tidigt skede av byggprojekt. En tydlig strategi för hållbar kravställning kan säkerställa att projekt kvalificerar sig för grön finansiering utan att äventyra de tekniska kraven eller ekonomin.

6.2 Förslag på fortsatt forskning/arbete

- Utökad systemgräns i LCA: Studien fokuserade på byggfasen (A1-A5). Vidare forskning kan inkludera drift- och underhållsskeden (B-faser) samt rivning och avfallshantering (C-faser) för att ge en mer heltäckande bild av projektets klimatpåverkan.
- Producentdata och digitala EPD:er: Framtida studier kan använda produktspecifika EPD:er direkt från leverantörer, vilket skulle förbättra precisionen i klimatberäkningarna och minska osäkerheten.
- Jämförelse mellan olika typer av anläggningar: Genom att analysera fler offentliga byggprojekt, exempelvis skolor, sjukhus eller bostäder, kan man identifiera gemensamma strategier och skapa mer generella riktlinjer för hållbar kravställning.
- Uppföljning av verklig energianvändning: Då denna studie baserades på uppskattade energivärden för byggskedet, vore det värdefullt att i framtiden samla in faktiska data för att verifiera antagandena och ytterligare kalibrera modellerna.

7 Referenser

- [1] Boverket, "Hållbart byggande med minskad klimatpåverkan," 2018. [Online]. Available: <https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2018/hallbart-byggande-med-minskad-klimatpaverkan.pdf>. [Använd 2025].
- [2] Boverket, "Växthusgaser – aktuell status," 29 Januari 2025. [Online]. Available: <https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/>. [Använd 30 Januari 2025].
- [3] Naturskyddsföreningen, "Cement, klimat och miljö," Naturskyddsföreningen, 7 Februari 2022. [Online]. Available: <https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/cement-klimat-och-miljo/>. [Använd 28 Februari 2025].
- [4] Finansdepartementet, "Regeringen," 5 April 2022. [Online]. Available: <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/finansmarknad/taxonomi-ska-gora-det-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/>. [Använd 30 Januari 2025].
- [5] ISO, 2006, citerad i Nguyen et. al, "Contribution of the construction phase to environmental impacts of the wastewater treatment plant," Science Direct, 15 November 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720341802#bb0055>. [Använd 28 Februari 2025].
- [6] Ding, "Life cycle assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview," Science Direct, 2014. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857097675500030>. [Använd 28 Februari 2025].
- [7] Boverket, "Introduktion till livscykelanalys (LCA)," 2024. [Online]. Available: Introduktion till livscykelanalys (LCA) - Boverket. [Använd 05 mars 2025].
- [8] Swedac, [Online]. Available: <https://www.swedac.se/amnesomraden/miljovaru-deklarationer/>. [Använd 14 Maj 2025].
- [9] Offentliga Fastigheter, "LCC-kalkyler för en hållbar förvaltning," Sveriges kommuner och regioner, 2017.
- [10] Boverket, "EU:s taxonomi," 2024 Maj 20. [Online]. Available: <https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/styrmedel/taxomin/>. [Använd 28 Februari 2025].
- [11] Sveriges Kommuner och Regioner, "Gröna lån - ett viktigt verktyg för kommunsektorns klimatarbete," 2025. [Online]. Available: https://skr.se/skr/tjanster/larandeexempel/allalarandeexempel/gronalanettviktigtverktygforkommunsektornsklimatarbete.69522.html?utm_source=chatgpt.com. [Använd 4 April 2025].
- [12] Skanska, "Grön betong - för en hållbar framtid," [Online]. Available: <https://www.skanska.se/4a47b2/siteassets/vart-erbjudande/produkter-och-tjanster/betong/gron-betong/produktblad-gron-betong.pdf>. [Använd 3 April 2025].
- [13] Pérez et. al, "Carbon dioxide emissions from traditional and modified concrete. A review," Science Direct, December 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211464524000745>. [Använd 28 Februari 2025].

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

- [14] Ejlertsson et. al, "CIRKULÄR EKONOMI I BYGGBRANSCHEN," IVL Svenska Miljöinstitutet, 2018. [Online]. Available: <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:1549635/FULLTEXT01.pdf>. [Använd 28 Februari 2025].
- [15] A. Severin, M. Michalíková, "Sustainable and circular construction," Interreg Europe, Mars 2024. [Online]. Available: <https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/2024-03/Policy%20brief%20on%20Sustainable%20construction.pdf>. [Använd 28 Februari 2025].
- [16] Naturskyddsföreningen, "CCS – infångning och lagring av koldioxid," 12 Mars 2021. [Online]. Available: https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/ccs-infangning-och-lagring-av-koldioxid/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw47i_BhBTEiwAaJfPpjyff7_YGMH46FoTgshlgDnQOxnMfCZEh338It2sr8WXbxgxEn1TnxoCNWkQAvD_BwE. [Använd 3 April 2025].
- [17] Sveriges Riksdag, [Online]. Available: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/lag-20161145-om-offentlig-upphandling_sfs-2016-1145/. [Använd 19 May 2025].
- [18] A. Arnesson och C. Gustafsson, "EU-taxonomin påverkan på en byggentreprenör och en utvärdering av taxonomiuppfyllnad i 13 miljöcertifierade projekt," Luleå tekniska universitet, 2023. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1754191/FULLTEXT03.pdf>. [Använd 4 April 2025].
- [19] A. Kryssbo och S. Kristian, "Grön betong - Möjligheter och begränsningar," Chalmers Tekniska Högskola, 2020. [Online]. Available: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/555008f8-47ba-4548-91b2-1a3f98bc6b7c/content>. [Använd 4 April 2025].
- [20] BREEAM, "Sweden Green Building Council," 14 Juni 2018. [Online]. Available: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2018/06/BREEAM-SE-2017-1.1-Swedish-version.pdf>. [Använd 4 Juni 2025].
- [21] Miljöbyggnad, "Sweden Green Building Council," 15 September 2017. [Online]. Available: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2018/07/Milj%C3%B6byggnad-3.0-Nyproduktion-vers-170915.pdf>. [Använd 4 Juni 2025].
- [22] OneClickLCA, "SBI," 2020. [Online]. Available: [https://www.sbi.se/wp-content/uploads/2023/11/EPD-Ebook-ENG.pdf#:~:text=EPDs%20use%20life%20cycle%20assessment%20\(LCA\)%20to%20quantify,declare%20environmental%20impact%20in%20an%20accessible%20format..](https://www.sbi.se/wp-content/uploads/2023/11/EPD-Ebook-ENG.pdf#:~:text=EPDs%20use%20life%20cycle%20assessment%20(LCA)%20to%20quantify,declare%20environmental%20impact%20in%20an%20accessible%20format..) [Använd 4 Juni 2025].
- [23] Bluebeam, [Online]. Available: <https://www.bluebeam.com/se/product/>. [Använd 8 Maj 2025].
- [24] Kommuninvest AB, "Kommuninvest," [Online]. Available: https://kommuninvest.se/kunder/varalaneprodukter/gronalan/uppdateratgrontramverk/gronabyggnader.4.5b73c6281926b1c1a7275d.html?utm_source=chatgpt.com. [Använd 14 April 2025].
- [25] OneClickLCA, [Online]. Available: <https://oneclicklca.com/sv/company/about-us>. [Använd 24 April 2025].
- [26] Heidelberg Materials, [Online]. Available: <https://www.betong.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/exponeringsklasser.pdf>. [Använd 15 May 2025].

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

- [27] Upphandlingsmyndigheten, [Online]. Available: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/miljomassigt-hallbar-upphandling/krav-pa-systematiskt-miljoledningsarbete/>. [Använd 19 maj 2025].
- [28] Upphandlingsmyndigheten, [Online]. Available: <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/kriterier/arbetsrattsliga-villkor/arbetsrattsliga-villkor-enligt-ilos-karnkonventioner-och-hallbara-leveranskedjor/arbetsrattsliga-villkor-enligt-ilos-karnkonventioner/arbetsrattsliga-villkor-enligt-ilos-karnkonventi>. [Använd 19 maj 2025].
- [29] Naturvårdsverket, [Online]. Available: <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/om-miljobalken/>. [Använd 19 maj 2025].
- [30] Mälardalens Universitet, [Online]. Available: <https://libguides.mdu.se/c.php?g=678062&p=4832296>. [Använd 19 May 2025].
- [31] Mälardalens Universitet, [Online]. Available: <https://libguides.mdu.se/c.php?g=678062&p=4832301>. [Använd 19 May 2025].
- [32] Heidelberg Materials, [Online]. Available: <https://www.betong.heidelbergmaterials.se/sites/default/files/assets/document/exponeringsklasser.pdf>. [Använd 15 May 2025].

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

BILAGOR

Bilaga 1: Mängdföreteckningar.

Bilaga 2: OneClick input.

Bilaga 3: Intervjufrågor.

Bilaga 4: Sammanställning av intervjuer.

Bilaga 5: EPD:er.

Bilaga 6: Mål för gröna lån från Kommuninvest.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Bilaga 1:

	Personalbyggnad [m2]	Slambyggnad [m2]	Carport [m2]	Huvudbyggnad [m2]	Biobassäng [m2]
Tak	500	1577	315	1907	
Takbjälklag	472	-			
Bjälklag	444,5	789		851	
Ytterväggar	616	1760	150,5	1779	1224,3
Bärande innervägar	412	510		1066	
Icke-bärande inneväggar	491,4	524,5			
Fönster	74	33,6			
Dörrar	18,7	97			
Källarväggar	-	441		709,3	
Grund	472	1339		1897	1667
Rötkammare stål		1040			
Sockel	23,5	136	5	279	

Bluebeam areamätningar.

Västra Huvudbyggnaden	m2			Östrahuvudbyggnaden	m2
Fasad		720		Fasad	1059
Sockel		81		Sockel	198
Grund mot mark (källare)		382		Grund mot mark (källare)	469
tak		769		ytterväggar källare	380
grund mot mark		382		Grund mot mark	664
Bjälklag		382		BJälklag	469
yttervägg källare		329,3		Fönster	5,2
Bärande inneväggar		695,6		bärande innerväggar	370,4
				tak	1138

Mätningar på huvudbyggnaden via Bluebeam.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Delen mellan byggnaderna	m2	tjocklek (m)	m3
grund	458,5	0,4	183,4
ytterväggar	215,6		
bärande innerväggar	417,48	total:	189,924

Fortsättning av huvudbyggnad.

Total huvudbyggnad	m2	Tjocklek (m)	m3	m3
tak	1907			
fasad	1779			
bärande innerväggar	1066	0,3	319,8	
bjälklag	851	0,4	340,4	
grund mot mark	1046	0,425	444,55	
grund mot mark källarnivå	851	0,425	361,675	
			Total:	806,225
källarnivå	709,3	0,35	248,255	
sockel	279	0,3	83,7	
				2171,704

Fortsättning av huvudbyggnad.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Plan 1	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa [m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	297,85	0	20	278
Lättvägg 1	51	0	6	45
Lättvägg 2	244,3	0	32,34	212
Plan 2	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa[m ²]
Bärande innervägg Betong 200mm	153	5	14	134
Lättvägg 1	38,5	0	0	38,5
Lättvägg 2	228,6	18	14,7	195,9
Bjälklag	Bruttoarea [m ²]	Tjocklek betong [m]	Tjocklek Cellplast [m]	Volym [m ³]
Betong				
Grund	472	0,22	0,4	94,4
Mellanbjälklag	444,5	0,26		133,35
Takbjälklag	472	0,22		94,4
Balkong	41,5	0,2		8,3

Personalbyggnad mängdberäkning via Bluebeam.

Plan 1	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa[m ²]
Bärande yttervägg Betong (300 mm)	443,62		2,31	441
Bärande innervägg 1 Betong (300 mm)	477		2,31	475
Bärande innervägg 2 Betong (200 mm)	36,9		2,31	35
Plan 2 och 3	Area [m ²]	Fönster area [m ²]	Dörr area [m ²]	Summa[m ²]
Innervägg 1	353,1		14	339
Innervägg 2	196,5		11	185,5
Isolerelement				
Gips				
Bjälklag	Bruttoarea [m ²]	Tjocklek [m]	Volym [m ³]	
Plan 0	10	0,6	6	
Plan 1	485	0,4	194	
Plan 2	1339	0,4	536	1269
Plan 3 HD/f	294	0,2	59	
Rötkammare	Area [m ²]			
1	406			
2	406			
Efterrötkammare	228			

Slambyggnad mängdberäkning via Bluebeam.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

	Biobassäng [m2]	Tjocklek [m]
Grund	1176	0,4
Inre grund	491	0,3
Yttre vägg	750,3	0,2
Inre vägg	474	0,2

Enskild biobassäng mängdberäkning via Bluebeam.

Bilaga 2 – OneClickLCA input

Resource	Quantity	CO _{2e}	Comment	BSAB 83	Building part
Ready-mix concrete, 200 mm, C35/45 ?	200 m3	49t - 14%		3. Stomme	Bärande
Ready-mix concrete, 200 mm, C35/45 ?	282 m3	70t - 19%		3. Stomme	Bärande
Ready-mix concrete, 200 mm, C35/45 ?	536 m3	133t - 36%		3. Stomme	Bärande
Ready-mix concrete, C30/37 (B30 M60 ?	235 m3	72t - 20%	Thomafrys grön 2 ekvivalent	3. Stomme	Bärande
Ready-mix concrete, C30/37 (B30 M60 ?	38 m3	12t - 3%	Thomafrys grön 2 ekvivalent	3. Stomme	Bärande

Bought amount	Transport, kilometers	Transport, leg 2, kilometers	Transportation data source	Wastage
<input type="checkbox"/>	37 Lorry (1 MJ/ton km)	0.0 Lorry (1,5 MJ/ton km).	Generic	3.0000(%
<input type="checkbox"/>	37 Lorry (1 MJ/ton km)	0.0 Lorry (1,5 MJ/ton km).	Generic	3.0000(%
<input type="checkbox"/>	37 Lorry (1 MJ/ton km)	0.0 Lorry (1,5 MJ/ton km).	Generic	3.0000(%
<input type="checkbox"/>	37 Lorry (1 MJ/ton km)	0.0 Lorry (1,5 MJ/ton km).	Generic	3.0000(%
<input type="checkbox"/>	37 Lorry (1 MJ/ton km)	0.0 Lorry (1,5 MJ/ton km).	Generic	3.0000(%

Exempel på OneClick input

Bilaga 3 – Intervjufrågor

Tekniska ritningar, materialspecifikationer typ vad för isolering etcetera. Tjocklekar på dessa?

Transport, leverantörer för material. Vart kommer cementet ifrån till exempel?

Avgränsningar, vad ska vi fokusera på, vilken/vilka byggnader? Vilka material är extra viktiga ur miljösynpunkt?

Varför är arbetet användbart? Vad är nyhetsvärdet?

Hur hjälper arbetet Enköpings kommun?

Diffusion of innovation, klimatförbättrad betong, alternativ som fortfarande utvecklas?

Vart ligger olika typer av lösningar i innovationskurvan?

Vet dom om andra projekt som ska byggas, potentiella intervju kandidater?

Finns det exempel på projekt eller case-studier som redan uppfyller EU:s taxonomikrav som jag kan använda som referens?

Är det relevant att inkludera miljöcertifieringar (som BREEAM, Miljöbyggnad, LEED) i min analys?

Vad skulle du säga är det smidigaste sättet att hantera transporter? Vi skulle ju bara kunna ta godtyckliga sträckor liksom.

För att kunna uppfylla kriterierna för ett grönt lån behöver man ju visa att kraven är uppfyllda – hur fungerar det i praktiken när vissa saker, som användning av rötrest, inte går att fastställa förrän efter miljöprovning och driftstart? (Behöver man alltså i dagsläget ansöka om det gröna lånet utan att veta om vissa krav kommer kunna uppfyllas, eller finns det någon möjlighet till villkorad ansökan?)

AMA-koder, hur ska man tolka dessa?

Vilka delar ska vi kolla på i LCA?

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Hur är priserna jämfört med vanlig betong?

Hur är hållfastheten och beständigheten jämfört med vanlig betong?

Kan det användas i industriella byggnader speciellt sådana med mycket kemikalier?

Varför är det inte mer brett använt i byggnadsbranschen?

Hur ser kurvan av användning ut, börjar det bli mer vanligt att använda?

Har ni några exempel på tillverkare som erbjuder klimatförbättrad betong?

När får det klassas som klimatförbättrad betong?

Intervju 2

Har ni tillgång till specifik information om Enköpings reningsverk? Har ni tillstånd att dela den informationen?

Varför är betongen ej godkänd för gröna lån? Vad hade man kunnat använda i stället?

När får det klassas som klimatförbättrad betong?

Hur är hållfastheten och beständigheten jämfört med vanlig betong? Kan det användas i industriella byggnader speciellt sådana med mycket kemikalier.

Hur är priserna jämfört med vanlig betong?

Hur mycket påverkas GWP för olika exponeringsklasser? Vad gör att en sort klassas som XC1 och en annan XC4?

Hur tror ni att användningen av miljövänlig betong kommer utvecklas de närmaste 5–10 åren?

Vad är skillnaden i sammansättning mellan er miljövänliga betong och traditionell betong?

Hur stor är CO₂-reduktionen i era klimatförbättrade produkter?

Finns det andra metoder att sänka CO₂ utsläpp, exempelvis prefab, har det mindre klimatpåverkan?

Finns det några utmaningar med att använda miljövänlig betong i större skala?

Finns alla era betongtyper på oneclick?

Intervju 3

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Hur ser till exempel villkoren ut för ett grönt lån hos er, såsom ränta, återbetalningstid eller andra ekonomiska fördelar?

Hur stor andel av ett byggprojekts totala kostnad kan typiskt finansieras med gröna lån?

Vilka faktorer avgör hur stort lån projektet kan få?

Intervju 4

Bilaga 4 – Sammanställning av intervjuer

Intervjurespondent 1

Intervjun genomfördes med en person insatt i projektets planering och genomförande, med särskild kunskap om upphandling, materialval och hållbarhetsfrågor.

Respondenten beskrev att tekniska ritningar skickats till leverantörer, men att den upphandlande enheten inte har möjlighet att styra varifrån varor och material hämtas. Detta är en konsekvens av fri konkurrens inom offentlig upphandling. Däremot uppgavs att det är möjligt att kravställa vilket bränsle som används vid transporter, där miljövänligare alternativ kan prioriteras. Enligt respondenten är detta positivt då det bidrar till att minska korruptionsrisker. Material har i stor utsträckning köpts in från närområdet, även om exakt ursprungsland inte alltid kunnat fastställas. Majoriteten av materialet bedöms dock ha svenskt eller nordiskt ursprung. Respondenten nämnde att betongen kommer från Thomas Betong i Upplands Väsby och cementen från Cementa på Gotland. Stål har enligt uppgift köpts både från Sverige och från andra länder, då svenskt stål ofta är dyrare.

Under intervjun lyfte respondenten vikten av att dra lärdomar från projektet, särskilt inför framtida upphandlingar. Ett konkret exempel som nämndes var att projektet inte från början hade med kriterier för så kallade gröna lån i sin projektering. Det ledde till att fel typ av betong användes, vilket innebar att anläggningen inte kvalificerade för sådan finansiering i efterhand – trots att övriga krav var uppfyllda. Respondenten såg detta som ett viktigt misstag att lära av och betonade behovet av att redan i ett tidigt skede formulera tydliga mål och krav kopplade till hållbarhet och finansiering. Det ställdes också frågor kring hur större projekt bättre kan definiera sina behov och mål för att uppnå högre grad av hållbarhet.

Respondenten förklarade att huvudbyggnaden är halvöppen, vilket gör det svårt att genomföra klimatkontrollerade beräkningar. Endast personalbyggnaden ansågs vara tillräckligt avgränsad och kontrollerbar ur ett klimatsynpunkt. Det framkom också att sandwichelement har använts i alla väggar utom just i personaldelen.

Som referens nämndes andra kommunala projekt, däribland i Enköping och Linköping. Enköping har enligt respondenten kommit långt i sitt arbete, men där var utbyggnad av det befintliga verket inte möjlig på grund av dess centrala läge och dåliga markförhållanden. Linköping har ett parallellt projekt som bedöms intressant att följa.

Respondenten förklarade att ansökan om gröna lån sker genom ett EU-organ efter att byggnationen är avslutad, och att handläggningstiden kan vara flera år. Detta understryker enligt respondenten vikten av att ha en tydlig målsättning kring gröna lån redan i projekteringsfasen, för att säkerställa att val av material och metoder är förenliga med de krav som ställs.

Enligt respondenten inkluderar inte anläggningen någon anaerob rötning. Det hade utretts tidigt i processen men bedömts som olämpligt för en mindre kommun, med hänsyn till logistiska svårigheter. Västerås nämndes som ett exempel på en kommun som tar emot organiskt avfall från andra kommuner. Slammet från anläggningen är planerat att användas som jordförbättring, men

Examensarbete i byggteknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

detta är beroende av bland annat tungmetallhalter och hur väl rötningsprocessen intrimmas. Om slammet inte uppfyller kvalitetskraven måste det i stället deponeras.

Respondenten angav att anläggningen har en planerad livslängd på 50–70 år, med fokus på den första halvan av livscykeln. Den är dimensionerad för 45 000 personekvivalenter, med möjlighet att utöka kapaciteten till 60 000. En utbyggnad förväntas bli aktuell efter 25–30 år.

Avslutningsvis uttryckte respondenten att projektet kan bidra till att utveckla Enköpings kommun som en mer medveten och aktiv kravställare vid upphandling av komplexa byggprojekt. Det behövs enligt respondenten en skärpning av miljö- och klimatrelaterade krav, samt en mer genomtänkt användning av verktyg som miljöbyggnad och gröna lån. I det aktuella projektet konstaterades att man till stor del "gjort som man alltid gjort", och att det finns stor potential för förbättring i kommande projekt.

Intervjurespondent 2

Intervjun genomfördes med en person med erfarenhet av hållbart byggande och användning av klimatförbättrad betong i byggprojekt.

Respondenten förklarade att priser på byggmaterial, inklusive klimatförbättrad betong, varierar kraftigt över tid och påverkas av flera faktorer. För att få en aktuell prisbild rekommenderades att ta direkt kontakt med betongleverantörer.

När det gäller hållfasthet och beständighet i jämförelse med traditionell betong menade respondenten att detta är något som bör undersökas med leverantörer, särskilt vid användning i mer krävande miljöer såsom industriella byggnader med hög kemikalieexponering.

En förklaring till att klimatförbättrad betong inte är mer utbrett använd i byggbranschen är enligt respondenten att uttorkningstiden ofta är något längre. I projekt med tidspress kan detta vara avgörande, vilket gör att entreprenörer ibland föredrar vanlig betong. Skillnaden i uttorkningstid kan röra sig om ett eller flera dygn, beroende på typ av klimatförbättrad betong och dess hållfasthetsklass.

Respondenten uppgav att användningen av klimatförbättrad betong ökar, men betonade samtidigt att betong i allmänhet har hög klimatpåverkan. Det finns därför en vilja att i större utsträckning välja alternativ till betong, såsom trä, när det är möjligt. Exakta siffror över användning eller försäljning hänvisades till leverantörerna.

Det nämndes att Thomas Betong är ett exempel på en tillverkare som erbjuder klimatförbättrad betong, och att denna typ av produkter i dag sannolikt finns hos de flesta större betongleverantörer. Vad gäller klassificering och kriterier för när en betongprodukt får benämnas som klimatförbättrad, hänvisade respondenten även där till respektive leverantör.

Intervjurespondent 3

Intervjun genomfördes med en person med teknisk kompetens kring tillverkning och användning av betong och dess klimatpåverkan, med särskild kunskap om klimatförbättrad betong och dess tillämpning i byggprojekt.

Respondenten förklarade att klimatförbättrad betong uppnås genom att en större andel alternativt bindemedel blandas in, vilket reducerar mängden cement i blandningen. Betongen delas in i olika nivåer beroende på hur stor reduktionen av cement är. För närvarande används nivå 1 av en klimatförbättrad betong, vilket motsvarar en ungefärlig besparing på 10 % i klimatpåverkan. Nivå 2 ger cirka 20 % reduktion, och så vidare.

Det framkom att hållfasthetsutvecklingen hos klimatförbättrad betong är långsammare i början, men att den uppnår samma slutliga hållfasthet som traditionell betong. En ekonomisk faktor påverkar dock val av betong, då klimatförbättrade alternativ ofta är något dyrare. För nivå 1 nämndes en merkostnad på cirka 60 kronor per kubikmeter, med ökande kostnader för högre nivåer.

Vidare diskuterades exponeringsklasserna XC1 och XC4. Betong med klass XC4 har ett högre CO₂-avtryck än XC1, eftersom den kräver ett lägre vattencementtal (vct), vilket ger starkare och mer beständig betong. För XC1 ligger vct typiskt runt 0,9, medan XC4 kräver vct 0,4. För klimatförbättrad betong inom exponeringsklass XC4 får vct inte överstiga 0,4.

Information om betongrecept och hållfasthetsklasser återfinns enligt respondenten i konstruktionsritningarna (K-ritningarna). Trots att det finns många olika betongkvaliteter, sammanfattas de ofta till två huvudvarianter – en för invändiga och en för utvändiga konstruktioner. För utvändigt bruk används en frysprovad betong med klass C35/45, medan samma klass används invändigt men med ett annat recept anpassat för inomhusmiljö. I båda fallen används klimatförbättrad betong på nivå 1. Det framkom att två grundrecept används i projektet, men att dessa varierar beroende på vilken exponeringsklass som gäller – exempelvis XC4, XD4 och XF4. På utomhusbassängerna används en särskilt frysprovad betong (C35/45), medan övriga delar av projektet har betong i klass C30/37 för exponeringsklass XC4.

Även om miljövarudeklarationer (EPD) inte finns direkt tillgängliga på hemsidan, uppgav respondenten att dessa kan skickas vid förfrågan och att klimatpåverkan (GWP – Global Warming Potential) är ungefär densamma för likvärdiga produkter.

Användningen av klimatförbättrad betong uppges öka generellt, och det blir allt vanligare att kravställningar för gröna lån anger vilken nivå av klimatförbättrad betong som ska användas. Enligt respondenten måste minst 10 % CO₂-reduktion uppnås för att en produkt ska klassas som klimatförbättrad betong. Dessa riktlinjer har tagits fram av branschorganisationen Svensk Betong.

Det nämndes också att konstruktörer i vissa fall kan välja att använda lägre betongkvalitet för att ytterligare minska betongens klimatpåverkan, vilket öppnar upp för ett mer flexibelt och miljöanpassat byggande.

Intervjurespondent 4

Intervjun genomfördes med en person med insyn i finansieringslösningar kopplade till hållbara bygg- och samhällsprojekt, med särskilt fokus på gröna lån.

Respondenten beskrev att det inte finns några krav kopplade till kapital eller räntenivå för att beviljas gröna lån. Lånevillkoren är flexibla, vilket innebär att låntagaren själv kan bestämma hur lånet ska utformas. Hela investeringen kan i princip finansieras genom ett grönt lån och det finns inga begränsningar i hur stort belopp som kan ansökas om. Projekten kan variera från några hundra tusen kronor till investeringar på hundratals miljoner.

För byggnadsrelaterade projekt som klassificeras som gröna finns vissa krav att uppfylla. Dessa utgår bland annat från Boverkets byggregler, där exempelvis punkt 6 i det aktuella ansökningsformuläret specificerar vad som gäller.

Bland fördelarna med gröna lån nämndes att låntagare kan få ränterabatt, vilket gör lånet billigare än ett konventionellt lån. Utöver den ekonomiska fördelen uppgav respondenten att ett grönt lån också bidrar till en hållbar omställning genom att främja projekt med positiv klimatpåverkan. Det är Kommuninvest som står för ränterabatten. Som exempel nämndes att om den ordinarie räntan ligger på 1 %, kan den för ett grönt lån vara 0,98 %, vilket ger en ränteförmån på 0,02 procentenheter.

Förutom gröna lån finns även möjlighet att ansöka om hållbara lån med fokus på social hållbarhet. Dessa är inriktade på att förbättra levnadsstandard och sociala villkor, snarare än direkt klimatpåverkan. Respondenten förklarade att dessa två typer – gröna lån och socialt hållbara lån – tillsammans utgör grunden för hållbar finansiering inom många offentliga och kommunala satsningar.

Examensarbete i byggt teknik: En studie av betongval vid byggnationen av Enköpings avloppsreningsverk

Bilaga 5 – EPD:er

Ursprunglig utformning		
Material	Tillverkare	EPD-nummer
Thomafrys Grön 1	Thomas Betong	NEPD-4079-3108-SE
Thomagrön 1 ekvivalent	Thomas Betong	NEPD-3540-2133-SE
Reviderad utformning		
Thomafrys Grön 2 ekvivalent	Thomas Betong	NEPD-1707-694-SE
Thomagrön 2	Thomas Betong	NEPD-3540-2133-SE

Bilaga 6 – Mål för gröna lån, Kommuninvest



Uppgifter & information som behövs för ansökan

Kriterier för Gröna lån

Avloppsvattenhantering

(inom kategori Vatten- och avloppsvattenhantering)

- Det **miljötilstånd** som gäller för avloppsvattenanläggningen.
- Hur många invånare som anläggningen försörjer, uttryckt i **antal personekvivalenter (PE)**.
- Avloppsvattensystemets årliga **energianvändning (MWh)**.
- Om projektet omfattar **anaerob rötning** ställs krav på uppgifter enligt tabell nedan.

Investeringen ska uppfylla antingen klimat- eller miljökriterier		
Typ av investering/ anläggning/ projekt	Krav för att beviljas grönt lån	
	Klimatkriterier	Miljökriterier
Befintliga/Nya/Utbyggda avloppsvattensystem	Reningskapacitet	Genomsnittlig nettoenergi-användning
	<10 000 pe	≤ 35 kWh/pe
	10 000 ≥100 000 pe	≤ 25 kWh/pe
	>100 000 pe	≤ 20 kWh/pe
Förnyelse av avloppsvattensystem	Nettoenergianvändningen efter investeringen minskar med minst 20 procent jämfört med före investeringen**	Avloppshanteringssystemet har ett ledningsnät samt väl anpassade reningsprocesser så att reningsverket lever upp till utsläppskraven i enlighet med sitt miljötilstånd. Och Vid kapacitet ≥ 100 000 pe eller dagligt inflöde BOD7 >7 ton måste slammet behandlas med rötning eller teknologi med lägre energianvändning.
Om projektet omfattar anaerob rötning	Samma två kriterier som ovan.	
	- Rötresterna från processen ska användas som gödningsmedel eller för jordförbättring . - Andelen livsmedels- och fodergrödor som används som insatsråvara, mätt i vikt som ett årligt genomsnitt är ≤ 10 % av insatsråvaran. - Det finns en övervaknings- och beredskapsplan för minimering av metanläckage vid anläggningen	

* Beräkningen av nettoenergianvändning kan beakta energiproduktion i systemet såsom produktion av biogas och vatten- sol-, värme- och vindenergi.

** Nettoenergianvändningen efter investeringen minskar med minst 20 procent jämfört med före investeringen, där energianvändning före investeringen mäts som ett genomsnitt under tre år.