

# Ombruk av gatestein

KARTLEGGING, PRØVING, LCA OG KOSTNADSANALYSER



SINTEF Fag

Selamawit Mamo Fufa, Thale Plesser og Tuva Grytli

# **Ombruk av gatestein**

Kartlegging, prøving, LCA og kostnadsanalyser

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 79

Selamawit Mamo Fufa, Thale Plesser og Tuva Grytli

**Ombruk av gatestein**

**Kartlegging, prøving, LCA og kostnadsanalyser**

Emneord: Dokumentasjon, gatestein, kartlegging, LCA, kostnadsanalyser, ombruk, prøving

ISSN 1894-2466

ISBN 978-82-536-1710-7 (pdf)

Prosjektnummer: 102023807-25

Omslag: *Gatestein ved Paulus kirke, Oslo*. Foto: SINTEF Community

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2021

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Community

Børrestuveien 3

Postboks 124 Blindern

0314 OSLO

Tlf.: 40 00 51 00

[www.sintef.no/community](http://www.sintef.no/community)

[www.sintefbok.no](http://www.sintefbok.no)

## Forord

Denne rapporten gir en oversikt over arbeidet som er utført i internprosjektet *Prøving av ombruksbyggevarer – Testing reused Building Products* fra september 2020 til mai 2021. Prosjektet er finansiert av SINTEF og Norges Forskningsråd.

Arbeidet er utført av Selamawit Mamo Fufa og Thale Plesser fra SINTEF Community og Tuva Grytli fra SINTEF Industri. Magnus Kron og Kristin Fjellheim fra SINTEF Community har kvalitetssikret prosjektrapporten. I tillegg har rapporten blitt korrekturlest av Reidar Gjersvik og Katrin Knoth.

Oslo, 31.05.2021

Maria Kollberg Thomassen  
Forskningsleder  
SINTEF Community

Selamawit Mamo Fufa  
Prosjektleder  
SINTEF Community

## **Abstract**

This report is the main deliverable from an internal project *Prøving av ombruksbyggevarer – Testing reused Building Products in SINTEF*. The work presented in this report was carried out in collaboration with the on-going research project *REBUS – Reuse of Building materials from a USer perspective*. The purpose of the report is mapping and evaluation of the technical, environmental, and economic performance of reclaimed natural stone paving setts through actual laboratory testing, life cycle assessments and cost analysis. In addition, the report provides recommendations for further development of testing, documentation and environmental and economic analysis of reusable building materials.

## **Sammendrag**

Denne rapporten er hovedleveranse fra SINTEF-prosjektet *Prøving av ombruksbyggevarer – Testing reused Building Products*. Arbeidet som presenteres i denne rapporten, ble utført i samarbeid med forskningsprosjektet *REBUS – Reuse of Building materials from a USer perspective*. Hensikten med rapporten er å evaluere den tekniske, miljømessige og økonomiske ytelsen til ombruksgatesteingjennom faktisk kartlegging, laboratorieprøving, livs- syklusvurderinger og kostnadsanalyse. I tillegg gir rapporten veiledning for videre utvikling av prøving, dokumentasjon og miljø- og kostnadsanalyse av gjenbrukbare byggematerialer.

# Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT / SAMMENDRAG</b> .....	<b>4</b>
<b>1 INTRODUKSJON</b> .....	<b>7</b>
1.1 BAKGRUNN.....	7
1.2 MÅL OG OMFANG.....	7
1.3 OM RAPPORTEN .....	8
<b>2 KARTLEGGING OG VALG AV BYGGEVARER</b> .....	<b>9</b>
2.1 DOKUMENTASJON AV BYGGEVARER – REGELVERK .....	9
2.2 REGELVERK OG OMBRUKSBYGGEVARER .....	9
2.3 REDOKUMENTASJON AV OMBRUKSBYGGEVARER .....	10
2.4 PRODUKSJONSKONTROLL FOR OMBRUKSBYGGEVARER .....	11
2.4.1 <i>Prøvings- og kontrollregimer</i> .....	11
2.4.2 <i>Prøvings- og kontrollregime for ombruk av konstruksjonsstål</i> .....	12
2.4.3 <i>Prøvings- og kontrollregime for ombruksteglstein</i> .....	13
2.5 GJENNOMGANG AV BYGGEVARER MED HENSYN PÅ POTENSIALE FOR REDOKUMENTASJON ..	15
<b>3 PRØVING AV GATESTEIN</b> .....	<b>16</b>
3.1 UTTAK AV PRØVER .....	16
3.2 PRØVEMETODER .....	19
3.2.1 <i>Harmonisert produktstandard</i> .....	19
3.2.2 <i>Registrering</i> .....	20
3.2.3 <i>Petrografisk beskrivelse</i> .....	20
3.2.4 <i>Dimensjoner</i> .....	20
3.2.5 <i>Vannabsorpsjon ved atmosfærisk trykk</i> .....	20
3.2.6 <i>Trykkfasthet</i> .....	21
3.2.7 <i>Densitet</i> .....	21
3.2.8 <i>Ruhet</i> .....	21
3.3 RESULTATER FRA PRØVING.....	22
3.4 VURDERING AV RESULTATENE FRA PRØVING AV GATESTEIN .....	22
3.4.1 <i>Vurderingskriterier</i> .....	22
3.4.2 <i>Åkebergveien</i> .....	23
3.4.3 <i>Kirkeveien</i> .....	23
3.4.4 <i>Kina 1 og Kina 2</i> .....	23
<b>4 LIVSSYKLUSVURDERING (LCA)</b> .....	<b>24</b>
4.1 BAKGRUNN.....	24
4.2 MÅL OG OMFANG.....	25
4.3 REGNSKAP OG DATAKVALITET .....	27
4.3.1 <i>Produksjonsfasen (A1–A3)</i> .....	28
4.3.2 <i>Transport til byggeplass (A4)</i> .....	30
4.3.3 <i>Installasjon (A5)</i> .....	31
4.4 SCENARIOER OG ANTAKELSER.....	31
4.5 RESULTATER OG DISKUSJON .....	32
4.5.1 <i>Totalt klimagassutslipp</i> .....	32
4.5.2 <i>Resultater fra scenarioanalyse</i> .....	33
4.5.3 <i>Drøfting av funn fra LCA</i> .....	34
<b>5 KOSTNADSANALYSE</b> .....	<b>36</b>
5.1 BAKGRUNN.....	36
5.2 MÅL OG OMFANG.....	36
5.3 REGNSKAP OG DATAKVALITET .....	36
5.3.1 <i>Datainnsamling</i> .....	36
5.3.2 <i>Regnskap</i> .....	37
5.3.3 <i>Datakvalitet og usikkerhet</i> .....	38
5.4 SCENARIOER OG ANTAKELSER.....	39

5.5	RESULTATER OG DISKUSJON.....	41
5.5.1	<i>Totalkostnader</i> .....	41
5.5.2	<i>Resultater fra scenarioanalyse</i> .....	42
5.6	DRØFTING AV FUNN FRA LCA-ANALYSEN VERSUS KOSTNADSANALYSEN.....	44
<b>6</b>	<b>OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER.....</b>	<b>48</b>
6.1	PRODUKTDOKUMENTASJON AV OMBRUKSBYGGEVARER.....	48
6.2	MILJØ- OG KOSTNADSANALYSE.....	48
	<b>REFERANSER.....</b>	<b>50</b>

# 1 Introduksjon

## 1.1 Bakgrunn

Ombruk av materialer er et kjent konsept og ansett som gunstig for å ta vare på ressurser og øke forsyningen av sekundærmaterialer i norsk bygge- og anleggsnæring. Bakgrunnen er den store materialflyten fra bygging og riving: Den står for 25 % av innenlandsk avfall i Norge, med en avfallsgjenvinningsgrad på bare 46 % (Statistics Norway, 2021). Gjenbruk av byggematerialer kan derfor spille en viktig rolle i å redusere miljøfotavtrykket for bygninger. Høiby og Sand (2018) har estimert at ombruk av byggematerialer for private bedrifter i nordiske land kan gi rundt 20 % reduksjon i ressursbruk, en reduksjon på 900 000 tonn klimagassutslipp og 1,7 % årlig vekst. Materialombruk er imidlertid sjelden anvendt på grunn av ulike barrierer: sektorvise (for eksempel manglende standardisering, tekniske utfordringer, manglende samarbeid), finansielle (for eksempel høye investeringskostnader), regulatoriske (manglende konsistent regelverk, manglende insentiver) og kulturelle (manglende kunnskap og samarbeid i verdikjeden, lineær tankegang og arbeidsmåte) (Hart et al., 2019).

Aktører i norsk industri peker på manglende reguleringer og krav om prøving og dokumentasjon som den største hindringen for ombruk, noe som også fører til høye kostnader og manglende vilje. Det fins egne reguleringer for testing og dokumentasjon av nye byggevarer, mens det ikke fins liknende vurderingssystemer for ombrukbare byggevarer. Det mangler pålitelig, standardisert og oppdatert informasjon om materialkomposisjon og holdbarhet/varighet, kvalitet, helse og sikkerhet og alternative bruksområder som kan bygge troverdighet og redusere usikkerheten for materialombruk. Hart et al. (2019) understreker behovet for teknisk innovasjon og økonomiske og regulatoriske insentiver for å endre atferd og holdning hos interessenter og for å etablere nye sirkulære forretningsmodeller som styrker samarbeid i verdikjeden. Nußholz et al. (2020) peker også på potensialet til forretningsmodeller for å gjøre ombruk konkurransedyktig på pris, skape verdi for aktørene i verdikjeden og sørge for en betydelig reduksjon i miljøfotavtrykk.

Pågående nasjonale initiativer som de nye kriteriene for sirkulære bygg (for eksempel FutureBuilt (2020)), krav (for eksempel Direktoratet for byggkvalitet (2021)) og *Byggevarerforordningen* (Byggeindustrien, 2020) viser den økende interessen for ombruk av byggevarer. Kristian Augusts gate (KA13), Kristian Augusts gate 23 (KA23), Nansenløkka og Ruseløkka er noen eksempler fra FutureBuilt-prosjekter der ombruk av byggevarer har vært vurdert. Forskningsprosjektet *REBUS – Reuse of Building materials from User perspective* (REBUS, 2020), er forventet å ta opp flere av de tidligere nevnte utfordringene og støtte pågående aktiviteter ved å fylle forskningsgapet og utvikle en kunnskapsplattform som vil styrke forståelsen av hovedaspektene innen ombruk blant ulike aktører i verdikjeden. Faktisk prøving av produkter er ikke del av REBUS-prosjektet. Behovet for bedre å forstå ytelsen til produkter i ombruk har ledet fram til prosjektet "Prøving av ombruksbyggevarer".

Denne rapporten er hovedleveranse fra SINTEFs interne prosjekt *Prøving av ombruksbyggevarer / Testing reused Building Products* som ble gjennomført fra september 2020 til mai 2021. Målet med prosjektet er å oppnå praktisk kunnskap om teknisk, miljømessig og økonomisk ytelse for ombrukte byggevarer. I tillegg skal prosjektet gi veiledning til videre utvikling av prøving, kvalitetskontroll og dokumentasjon av ombrukbare byggevarer.

## 1.2 Mål og omfang

Denne rapporten gir en oversikt over funnene i prosjektet *Prøving av ombruksbyggevarer*.

Hovedaktiviteter i prosjektet er delt i fire trinn:

- 1) **Kartlegging og utvalg av produkter:** Kartlegging og identifisering av mulige ombrukbare produkter for prøving. Oppgaven ble utført i samarbeid med REBUS-prosjektet. Belegningsstein ble valgt ut i dette prosjektet.



- 2) **Utvalg av relevante laboratorietestmetoder:** Evaluering av teknisk ytelse for ombrukt belegningsstein.
- 3) **Innsamling av prøver, produkttesting og evaluering** basert på utvalgte testmetoder.
- 4) **Utføre livssyklusvurdering (LCA) og kostnadsberegning** av det testede produkt for å evaluere miljømessig og økonomisk ytelse av ombrukt belegningsstein mot nyprodusert belegningsstein.

Arbeidet presentert i denne rapporten ble utført i tett samarbeid med REBUS-prosjektet, og resultatet forventes også brukt i framtidig prosjektarbeid.

### **1.3 Om rapporten**

**Kapittel 1** gir en kort innledning til prosjektet og dets mål og omfang.

**Kapittel 2** presenterer arbeidet med kartlegging, identifisering og utvalg av mulige ombruksprodukter som ble vurdert i prosjektet for prøving. Arbeidet ble gjennomført i samarbeid med REBUS-prosjektet.

**Kapittel 3** oppsummerer arbeidet med innsamling av prøver, utvalg av testmetoder, produktprøving og evaluering for belegningsstein.

**Kapittel 4 og 5** presenterer LCA og kostnadsanalyse av det testede produkt for å evaluere miljøprestasjon og økonomisk ytelse av ombruksprodukter.

**Kapittel 6** oppsummer hovedfunnene fra alle prosjektaktiviteter og avslutter rapporten med en konklusjon og anbefalinger for videre arbeid.

## 2 Kartlegging og valg av byggevarer

### 2.1 Dokumentasjon av byggevarer – regelverk

Byggevarer skal ha dokumentasjon for relevante egenskaper før de bygges inn i et byggverk. Kravet til dokumentasjon er beskrevet i byggt teknisk forskrift (TEK17) (2017), kapittel 3:

- Byggevarenes egenskaper skal være slik at ferdig byggverk tilfredsstillers TEK17.
- Egenskapene må kunne dokumenteres.

Dokumentasjon av byggevarer skal utføres i henhold til byggevareforskriften (Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK), 2013). Del II i byggevareforskriften tar inn EUs byggevareforordning (Byggevareforordningen, 2011) i norsk forskrift. Byggevarene skal ha egenskaper som gjør at byggverket oppfyller byggevareforordningens syv grunnleggende krav:

1. Mekanisk motstandsevne og stabilitet
2. Brannsikkerhet
3. Hygiene, helse og miljø
4. Sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk
5. Vern mot støy
6. Energiøkonomisering og varmeisolering
7. Bærekraftig bruk av naturressurser

Byggevareforskriften og byggt teknisk forskrift må leses sammen. Kravene i byggt teknisk forskrift legger premissene for hvilke egenskaper som må dokumenteres for hver enkelt byggevare i en gitt konstruksjon. Byggevareforskriften "leverer" byggevarer med kvalitetssikret dokumentasjon av egenskaper – formidlet på et enhetlig format.

De harmoniserte produktstandardene til byggevarene beskriver hvilke egenskaper, kalt vesentlige egenskaper, som må dokumenteres for at byggevaren skal kunne bidra til at byggverket oppfyller de grunnleggende kravene. Byggevarer med en harmonisert produktstandard skal CE-merkes i henhold til standarden, og det skal lages en ytelseserklæring. Ytelseserklæringen inneholder en oversikt over byggevarens vesentlige egenskaper og hvilke standarder som er brukt for å påvise egenskapene. Standardene som brukes, både de harmoniserte standardene og tilhørende prøvingsstandarder, er utviklet i regi av den europeiske standardorganisasjonen CEN i samarbeid med nasjonale standardorganisasjoner, for eksempel Standard Norge.

Ikke alle byggevarer har en harmonisert produktstandard. På frivillig basis kan produsenten eller leverandøren da utarbeide en europeisk teknisk bedømmelse (ETA). I så fall skal byggevaren CE-merkes, og det skal utarbeides en ytelseserklæring etter samme mal som for byggevarer med en harmonisert produktstandard. Men det er altså ikke pålagt å utarbeide en ETA for byggevarer uten harmoniserte standarder. Del III i byggevareforskriften beskriver dokumentasjonskrav til byggevarer som ikke er dokumentert i henhold til Byggevareforordningen, altså den situasjonen som oppstår når harmonisert produktstandard mangler og produsenten har valgt bort ETA. Kort oppsummert skal byggevaren dokumenteres på samme nivå som om den hadde hatt en harmonisert standard eller en ETA. Disse byggevarene verken kan eller skal CE-merkes, og det kan heller ikke utarbeides en ytelseserklæring, men Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) har utarbeidet forslag til maler for formidling av egenskaper og merking (Direktoratet for byggkvalitet, 2015).

### 2.2 Regelverk og ombruksbyggevarer

Det råder en god del usikkerhet rundt krav til dokumentasjon av ombruksbyggevarer. DiBK har derfor utarbeidet en veileder som skal hjelpe aktører som ønsker å selge ombruksprodukter med å finne ut av om byggevareforskriften gjelder for produktet eller ikke, og om produktet må dokumenteres på nytt (Direktoratet for byggkvalitet, udatert). Sentrale spørsmål når man skal avgjøre krav til dokumentasjon, er:

- Når ble byggevaren omsatt første gang (byggevarens alder)?
- Er det mulig å få tak på opprinnelig dokumentasjon (utstedt da byggevaren ble produsert)?
- Er vesentlige egenskaper som er relevante for bruksområdet, endret?
- Kommer byggevaren fra et norsk eller et utenlandsk bygg?

Hovedtrekkene i regelverket er som følger:

- Hvis vesentlige egenskaper er uendret og det er mulig å få tak i den opprinnelige dokumentasjonen, så kan byggevaren omsettes uten at den dokumenteres på nytt. Forutsetningen er at produktet omsettes med opprinnelig produkt navn og dokumentasjon.
- Byggevaren må dokumenteres på nytt dersom:
  - o vesentlige egenskaper er endret
  - o det ikke er mulig å finne opprinnelig dokumentasjon,
  - o den kommer fra et land utenfor EU/EØS

Selv om en byggevare oppfyller kravene til omsetning, er det ikke sikkert at den kan brukes i et gitt byggverk eller at den i det hele tatt er brukbar i noe byggverk. Dette gjelder uansett byggevarens alder og forhistorie. Det er opp til tiltakshaver og ansvarlige foretak å sørge for at man velger byggevarer som faktisk har de egenskapene som trengs for at byggverket skal være i henhold til byggeteknisk forskrift.

### 2.3 Redokumentasjon av ombruksbyggevarer

Ombruksbyggevarer kan ikke CE-merkes etter harmoniserte produktstandarder. Harmoniserte produktstandarder er laget for nye byggevarer. Egenskapene som dokumenteres gjennom en harmonisert produktstandard, er valgt slik at de er relevante for byggevarens normale bruksområder i et byggverk. Det er derfor nærliggende å hente elementer fra den harmoniserte produktstandard og det eksisterende systemet for produktdokumentasjon der det er mulig, når man skal sette opp retningslinje for dokumentasjon av en ombruksbyggevare.

Ved redokumentasjon av ombruksteglsteinen fra den danske bedriften Gamle Mursten valgte man å legge seg nær det eksisterende dokumentasjonssystemet for nyproduksjon av teglstein, men med nødvendige justeringer for å ivareta forskjellene mellom ombruk og nyproduksjon. Gamle Mursten henter teglstein fra riveprosjekter som deretter sorteres, renses, redokumenteres og selges til nye byggeprosjekter. Produksjonen er organisert etter samme overordnede prinsipp som produksjonen av nye byggevarer, se figur 2.1. I produksjonen til Gamle Mursten er råvaren brukt teglstein med mørtelrester. Produksjonsprosessen består i å sortere, gruppere og rense teglsteinen. Det er etablert en produksjonskontroll som sikrer en enhetlig kvalitet på de leverte teglsteinstypene. Gamle Mursten har påtatt seg en produsentrolle. Fordelen med denne modellen er at kunder som ønsker ombrukstegl, kan kjøpe ombrukstegl på samme måte som ny teglstein, med den nødvendige produktdokumentasjonen som gjør det mulig å vurdere at varen egner seg til de aktuelle byggeprosjektet.



Figur 2.1. Skjematisk framstilling av produksjonsprosessen til Gamle Mursten

Ettersom man ikke kan bruke den harmoniserte standarden for teglstein direkte, ble det utarbeidet et europeisk bedømmelsesdokument (EAD) der mye av innholdet er hentet direkte fra den harmoniserte produktstandarden for teglstein, EN 771-1, mens deler av innholdet er en noe modifisert utgave av innholdet i den harmoniserte produktstandarden (EOTA, 2020; Standard Norge, 2015):

- Fra den harmoniserte produktstandarden valgte man de egenskapene med tilhørende prøvingsmetoder som var relevante for tiltenkte bruksområder: brann, dimensjoner, densitet, trykkfasthet, initiell vannabsorpsjon, heftfasthet, holdbarhet, volum og prosent tomrom, nettovolum, frostmotstand og minuttugsug.
- Retningslinjene for produksjonskontrollen (FPC) er basert på anbefalingene i den harmoniserte produktstandarden, men kontrollfrekvensen og minimum antall prøver per kontroll er mye høyere for ombruksteglstein enn for ny teglstein.
- System for vurdering og verifikasjon er 2+ (kategori I teglstein).

Med utgangspunkt i EAD-en for ombruksteglstein er det utarbeidet en europeisk teknisk bedømmelse (ETA) for ombruksteglsteinen med tilhørende CE-merking og ytelseserklæringer (EOTA, 2017; Gamle Mursten, udatert).

Redokumentasjon av ombruksbyggevarer i henhold til retningslinjer som tar utgangspunkt i den harmoniserte produktstandarden, men med større eller mindre modifikasjoner, er også mulig for andre byggevarer enn ombruksteglstein, men er i liten grad prøvd ut. Ett unntak er ombruk av lastbærende stål med utgangspunkt i nasjonale utgaver av EN 1090-1 (Standard Norge, 2011a). Retningslinjer for ombruk av lastbærende stål er beskrevet i Norge, Sverige og Storbritannia (Husson & Lagerqvist, 2018; SCI Steel Knowledge, 2019; Widenoja et al., 2018). Ombruk av konstruksjonsstål er beskrevet mer detaljert kapittel 3.4.2.

## **2.4 Produksjonskontroll for ombruksbyggevarer**

### **2.4.1 Prøvings- og kontrollregimer**

Harmoniserte produktstandarder forutsetter produkter av samme type som er framstilt gjennom en nøye kontrollert produksjonsprosess på samme produksjonssted. Organisering av produksjonen og produksjonskontrollen gjør at man oppnår sluttprodukter med enhetlige egenskaper, der egenskapene varierer innenfor definerte toleransegrenser. Produksjonskontrollen sikrer at byggevarer produsert med måneder eller års mellomrom kan ha de samme egenskapene og for alle praktiske formål være identiske produkter. En god produksjonskontroll gjør at man kan plukke ut et begrenset antall enheter fra produksjonen av et produkt, prøve disse og så anta med god sikkerhet at alle enhetene produsert på samme måte minst tilfredsstillende de samme egenskapsnivåene.

Prøvingen som beskrives i harmoniserte produktstandarder, er i stor grad destruktiv, det vil si at prøveobjektet ødelegges under prøvingen. Samtidig har man ofte en mer begrenset tilgang på objekter enn det som er tilfelle ved nyproduksjon. utfordringen blir derfor å utforme testsystemet slik man minimerer destruktiv testing, men samtidig oppnår tilstrekkelig karakterisering av vesentlige egenskaper. Problemet løses ved at man grupperer ombruksbyggevarerne i grupper med tilstrekkelig like enheter, slik at en kontroll av noen få enheter blir representativt for alle enhetene i gruppen.

For ombruksbyggevarer er gruppering av produkter i grupper med tilstrekkelig like enheter mye vanskeligere enn for nye produkter. I tillegg skal gruppen omfatte nok enheter av byggevareren til at man kan ta ut noen enheter til destruktiv prøving, alternativt må man kunne gjennomføre prøvingen ikke-destruktivt. For enkelte produkter, for eksempel vinduer, kan man sjekke serienummer og dato trykt i vindusrammen og gruppere på grunnlag av dette. For andre produkter kan man ved hjelp av enkle ikke-destruktive tester gruppere produktene. Test- og kontrollregimene for lastbærende ombruksstål er eksempler på gruppering basert på enkle ikke-destruktive tester, se kapittel 2.4.2.

Hvis ombruksbyggevarer er umerket, er produsert på en måte som gir mye større variasjon i ferdig produkt enn det som er akseptabelt i dag, kommer fra bygg med en lang og komplisert forhistorie med ombygging og oppgradering i flere omganger eller er demontert på en slik måte at enheter med ulike egenskaper og bruksområder i konstruksjonen blandes sammen i demonteringsprosessen, så kan det være vanskelig å etablere ensartede grupper for videre prøving. Ombruksteglstein og gatestein er eksempler på byggevarer der denne typen problemer med stor sannsynlighet oppstår. Løsningen kan da være å slå sammen alle enhetene i en løpende produksjon og så sette minste- og/eller makskrav til produksjonen under ett. Prøve- og kontrollregimet for ombruksteglstein, beskrevet i kapittel 2.4.3, er et eksempel på kontroll av enheter med varierende opphav der alle enhetene blir slått sammen i en løpende produksjon.

#### 2.4.2 Prøvings- og kontrollregime for ombruk av konstruksjonsstål

Det fins flere retningslinjer for ombruk av konstruksjonsstål, blant annet SCI Steel Knowledge (2019) og Widenoja et al. (2018). Retningslinjene beskriver hvordan man kan karakterisere stålet i hovedsak ved ikke-destruktiv prøving. Med utgangspunkt i den ikke-destruktive prøvingen blir andre materialegenskaper, som man ellers måtte bestemme ved destruktiv prøving, estimert. Forutsetningen for å erstatte destruktiv prøving med ikke-destruktiv prøving er at man har etablert en pålitelig sammenheng mellom egenskaper som er bestemt ikke-destruktivt og egenskaper som ellers må bestemmes destruktivt. For konstruksjonsstål er det etablert sammenheng mellom stål kvalitet og en rekke egenskaper. Stålkvaliteten kan bestemmes ved ikke-destruktivt prøving, og dermed reduseres behovet for destruktiv prøving.

SCI Steel Knowledge (2019) beskriver følgende betingelser for gruppering av ombruksstål:

- Datainnsamling - før demontering:
  - Beskrivelse av eksisterende konstruksjon, inkludert stabilisering av bygningen
  - Konstruksjonens alder
  - En innledende beskrivelse av konstruksjonsstålet: typer og antall
  - En innledende vurdering av skader, åpenbare reparasjoner og betydelig korrosjon
  - Tegn på plastisitet
- Karakterisering av demontert konstruksjonsstål:
  - Dimensjoner
  - Skader
  - Ombruksstålet grupperes slik at alle enhetene i gruppen kommer fra samme konstruksjon, har samme form, størrelse og funksjon, og er av samme stålsort bestemt ved hardhetstest (ikke-destruktiv testing).
  - CEV settes til maks tillatt CEV for ståltypen, men kan også bestemmes ved prøving.
  - Det antas at stålet tilhører undergruppe JR. Undergruppe kan også bestemmes ved prøving.
- Protokollen beskriver flere begrensninger for ombruk, blant annet:
  - Ombruksstålet må være produsert etter 1970.
  - Må oppfylle kravene i EN 1090-2
  - Ombruksstålet kan brukes til konstruksjoner i konsekvensklasse 1 og 2 (tabell B1 i EN 1990).
  - Ombruksstålet anbefales ikke til konstruksjoner i konsekvensklasse 3 (tabell B1 i EN 1990).

Widenoja et al. (2018) beskriver også en metode for karakterisering av ombruksstål. Dersom opprinnelig materialsertifikat mangler, kan man bruke prosedyre A eller B:

- Prosedyre A:
  - Benyttes for bygg i utførelsesklasse EXC 1 (stål ikke spesifisert) eller utførelsesklasse EXC 2 og stål < S355

- Bestemmelse av stålqualiteten for alle komponentene ved spektrometerprøving og hardhetsprøving. Spektrometerprøving gir kjemisk innhold som kan sammenliknes med standardspesifikasjoner.
- Med utgangspunkt i hardheten kan man estimere strekkfasthet ved hjelp av konverteringstabell.
- Strekkfasthet, flytegrense, forlengelse og slagseighet antas å tilsvare standardkvaliteten i produktstandarden.
- Prosedyre B:
  - Benyttes for bygg i utførelsesklasse EXC 2 og stål  $\geq$  S355 eller utførelsesklasse EXC 3 og stål  $\geq$  S355
  - Bestemmelse av stålqualiteten for alle komponentene ved spektrometerprøving. Spektrometerprøving gir kjemisk innhold. Produktene inndeles i grupper slik at analyseverdien for karbon og mangan ligger innenfor 10 % spredning.
  - Bestemmelse av stålqualiteten for 10 % av enhetene innenfor hver gruppe. Hvis verdiene spriker mer enn 10 %, måles alle enhetene. Etter eventuell måling av alle enhetene, etableres det undergrupper med maks 10 % spredning i hardhetsmålingene.
  - For hver gruppe og undergruppe tas det ut et prøvestykke som testes med hensyn på strekkfasthet, flytegrense, forlengelse og slagseighet.

Dersom det opprinnelige materialsertifikat fortsatt fins, kan man benytte dette dersom det er full sporbarhet mellom ombruksstålet og sertifikatene (Widenoja et al., 2018). Alternativt må man bekrefte materialsertifikatene ved spektrometerprøving av enheter fra hver gruppe komponenter med samme kvalitet og geometri.

#### 2.4.3 Prøvings- og kontrollregime for ombruksteglstein

Køster (2017) beskriver årsaker til at det kan være vanskelig å gruppere ombruksteglstein fra danske bygninger. For teglstein produsert før 1960 gjorde produksjonsprosessen med brenning i ringovner at teglsteinene ble ujevnt brent. Godt brente steiner og mindre godt brente steiner ble sortert i hver sin fraksjon. De mindre godt brente steinene har, sammenliknet med de godt brente steinene, blant annet dårligere holdbarhet mot frost og lavere fasthet. De godt brente steinene ble brukt på de mest klimautsatte konstruksjonene, for eksempel ytre del av en hulmursvegg, mens de mindre godt brente steinene ble brukt i mindre utsatte konstruksjoner, for eksempel på innsiden av hulmursvegger. Man må ha en god kartleggingsprosess før demontering dersom man skal kunne skille teglsteinen i homogene fraksjoner. I etterkant av demontering er det svært vanskelig å skille steinen i homogene fraksjoner dersom de først er blandet.

I stedet for å prøve å opprette homogene teglsteinsfraksjoner har man valgt en metode der man bevisst blander teglsteinen fra mange kilder. I EAD for ombruksteglstein (EOTA, 2017) beskrives prosessen som følger:

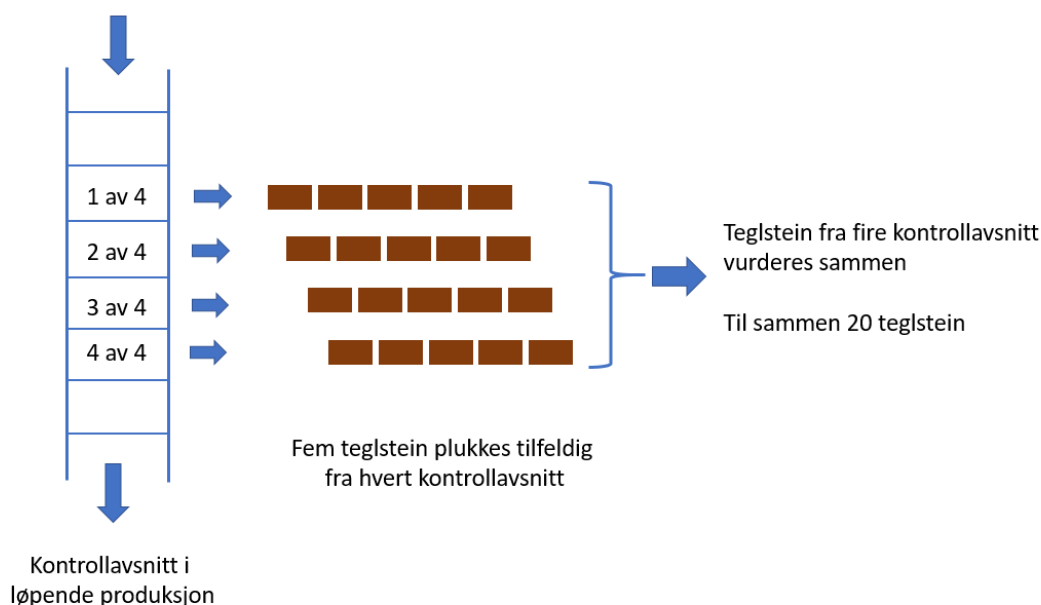
- Innkommende teglstein skal registreres med hensyn på type, opprinnelse, vekt og instruksjoner for rensing og sortering. EAD-en går ikke nærmere inn på hvordan instruksjonene for rensing og sortering skal utformes.
- Innkommende partier blandes kontinuerlig for å sikre uniform blanding av teglstein for kontinuerlig produksjonskontroll. Produksjonskontrollen består i prøving av trykkfasthet, tetthet, vannabsorpsjon, initiell vannabsorpsjon og andel porevolum ved koking i henhold til metoder beskrevet i EN 771-1 (Standard Norge, 2015).
- Både frekvensen på produksjonskontrollen og antall prøver i hver stikkprøve fra produksjonen er større for ombruksteglstein enn for ny teglstein. På denne måten kan man oppveie for den reduserte homogeniteten til ombruksteglsteinen.

Tankegangen bak blanding av innkommende partier med ombruksteglstein er beskrevet av Køster (2017). Dersom teglsteinen kommer fra mange kilder (flere ulike bygninger), kan man oppnå en tilnærmet normalfordeling av steinkvaliteter i den samlede mengden ved at alle

steinene blandes fullstendig. Forutsetningen er at de enkelte delfraksjonene er normalfordelt og at man har et stort antall delfraksjoner. Erfaringer fra undersøkelser av tidligere tiders teglproduksjon tilsier at produksjonen er normalfordelt. For en bedrift som mottar ombruks-teglstein, bearbeider disse og selger videre, kan produksjonskontrollen se slik ut:

- Man gjør en rullende kontroll, det vil si metode B i CEN/TR 16886 (Standard Norge, 2016). Antall kontrollavsnitt som inngår i den rullende kontrollen, settes til fire.
- Et kontrollavsnitt er en ukes produksjon, men maks 20 m<sup>3</sup> ferdig teglstein. Denne mengden tilsvarer den maksimale kontrollavsnittstørrelsen fastsatt i EN 771-1 (Standard Norge, 2015).
- Man tar ut én tilfeldig teglstein hver dag, to teglsteiner hvis ukeproduksjonen overskrider 20 m<sup>3</sup>.
- For beregning av trykkfasthet anvendes 50 % fraktil og 95 % konfidensnivå, ensidig med ukjent spredning. Beregningsmetoden er beskrevet i CEN/TR 16886 (Standard Norge, 2016).
- For beregning av densitet, minuttsug og vannabsorpsjon brukes tosidig statistisk toleranse, 50 % fraktil og 75 % konfidensnivå. Beregningsmetoden er beskrevet i CEN/TR 16886 (Standard Norge, 2016).
- Begrensning: Den maksimale spredningen i de fire kontrollavsnittene får ikke overskride det dobbelte av spredningen i hele produksjonen. Dersom grensen overskrides, må antallet stikkprøver økes.

En rullende kontroll (metode B i CEN/TR 16886) utføres ved at man tar et forhåndsbestemt antall prøver fra hvert kontrollavsnitt og utfører kontrollprøving av disse. I EAD'en er kontrollavsnittet produksjonene fra én uke, der det tas ut én eller to prøver hver dag. Til sammen blir dette fem prøver dersom produksjonsuken er på fem dager og ukeproduksjonen maks er 20 m<sup>3</sup>. Prøvingsresultatene fra siste kontrollavsnitt vurderes sammen med prøvingsresultatene fra et forhåndsbestemt antall foregående kontrollavsnitt. I EAD-en er antall kontrollavsnitt i den rullende kontrollen satt til fire. Produksjonskontrollen er illustrert i figur 2.2.



Figur 2.2. Rullerende produksjonskontroll etter CEN/TR 16886 og EAD for ombruks-teglstein (EOTA, 2017; Standard Norge, 2016). I hvert kontrollavsnitt tas det ut fem prøver. Kontrollavsnittene vurderes i grupper på fire.

## 2.5 Gjennomgang av byggevarer med hensyn på potensiale for redokumentasjon

I forbindelse med forskningsprosjektet REBUS er det gjort en gjennomgang av byggevarer med hensyn på potensiale for redokumentasjon ombruksbyggevaren. Kriteriene for valg av byggevarer var:

1. *Byggevaren har en harmonisert standard, en EAD eller en retningslinje for teknisk godkjenning.* Dette kriteriet ble valgt fordi harmoniserte standarder, EAD-er og tekniske godkjenninger for nye byggevarer er et godt utgangspunkt når man skal lage retningslinjer for den tilsvarende ombruksbyggevaren. Se kapittel 2.4.2 og 2.4.3.
2. *Det er mulig å få tak på fysiske eksemplarer av ombruksbyggevaren.* Dette kriteriet ble valgt fordi det er vanskelig å treffe riktig med en retningslinje for vurdering av en ombruksbyggevare med mindre man kan prøve retningslinjen i praksis.
3. *SINTEF Community har fagekspertise på byggevaren, for eksempel gjennom arbeid med produktdokumentasjon.* Dette kriteriet ble valgt fordi byggevarer er kompliserte produkter som hver for seg krever ekspertkunnskap ved utvikling, produksjon og dokumentasjon. Vurdering og dokumentasjon av ombruksbyggevarer er i dag et lite utviklet fagområde for de fleste byggevarer, men kunnskap om vurdering og dokumentasjon av den tilsvarende byggevaren når den er ny, kan være et godt utgangspunkt.

Følgende byggevaregrupper er vurdert:

- Gatestein
- Fibersementplater
- Skillevegger i glass
- Vinduer
- Dører
- Ventilasjon: kanaler, styringssystem og automatikk, reguleringsspjeld og ventiler
- Gulvbelegg
- Murprodukter: betong, tegl og naturstein
- Sandwichelementer
- Glassrekkeverk
- Varmeisolasjon
- Sanitærutstyr: servanter, klosetter og bideter
- Vann- og avløpsledninger og tappearmaturer
- Gipsplater
- Betongelementer
- Tre: konstruksjonstrevirke, trekledning o.l.
- Konstruksjonsstål

Resultatene av vurderingene behandles i en framtidig rapport fra REBUS-prosjektet. Av de vurderte byggevaretypene ble gatestein valgt ut for prøving og vurdering.



### 3 Prøving av gatestein

#### 3.1 Uttak av prøver

Gatestein ble hentet fra Stubberud lager på Kjelsrud i Oslo. Oslo kommune bruker Stubberud lager til lagring av belegningsplater og gatestein fra prosjekter i Oslo. Stubberud lager er uten-dørs, og steinen er lagret under åpen himmel. Se figur 3.1 – figur 3.4..

Det ble tatt ut prøver av fire ulike typer gatestein. Se tabell 3.1 og figur 3.1–3.4.

Tabell 3.1. Gatestein tatt ut ved Stubberud lager

Prøve	Beskrivelse	Antall prøver tatt ut
Åkebergveien	<p>Grå smågatestein, ca. 10 cm x 10 cm x 10 cm. Estimert mengde er ca. 150 m<sup>2</sup>, dvs. ca. 13 500 stein.</p> <p>Gatestein som ble funnet under nyere veidekke i Åkebergveien i Oslo. Prøvene ble tatt opp høsten 2019. Gatesteinens alder er ukjent.</p> <p>Steinen lå løst i en stor haug iblandet jord og sand. Prøvene ble tatt ut på ulike steder fra toppsjiktet i steinhaugen. Se figur 3.1.</p>	29
Kirkeveien	<p>Rødlig smågatestein, ca. 10 cm x 10 cm x 10 cm. Estimert mengde er ca. 150 m<sup>2</sup>, dvs. ca. 13 500 stein.</p> <p>Gatestein som ble funnet under nyere veidekke i Kirkeveien ved Ullevål i Oslo. Prøvene ble tatt opp høsten/vinteren 2020. Gatesteinens alder er ukjent.</p> <p>Steinen lå i sekker. Det ble tatt prøver fra flere sekker. Fra hver sekk ble det tatt ut 1–3 prøver fra toppsjiktet i sekken. Se figur 3.2.</p>	29
Kina 1	<p>Grå storgatestein, ca. 10 cm x 15 cm x 8 cm.</p> <p>Overskuddsstein (ubrukt) fra steinleggingsprosjekt i Oslo. Det er ikke kjent hvor i Oslo steinen ble brukt. Steinen er importert fra Kina.</p> <p>Steinen var lagret i tre pallekasser. Det ble tatt ut stein fra toppsjiktet. Uttaket ble fordelt på kassene. Se figur .</p>	10
Kina 2	<p>Mørkegrå smågatestein, ca. 10 cm x 10 cm x 8 cm. To steiner er 10 cm x 10 cm x 10 cm.</p> <p>Overskuddsstein (ubrukt) fra steinleggingsprosjekt i Oslo – sannsynligvis fra et prosjekt i Torggata i ca. 2014. Steinen er importert fra Kina.</p> <p>Steinen var lagret i fire pallekasser. Det ble tatt ut stein fra toppsjiktet. Uttaket ble fordelt på kassene. Se Figur</p>	15



Figur 3.1. Smågatestein fra Åkebergveien, Oslo. Lager på Stubberud. Fotografert før uttak av gatestein



Figur 3.2. Smågatestein fra Kirkeveien, Oslo. Lager på Stubberud. Fotografert før uttak av gatestein



Figur 3.3. Storgatestein fra Kina (Kina 1). Lager på Stubberud. Fotografert før uttak av gatestein



Figur 3.4. Smågatestein fra Kina (Kina 2). Lager på Stubberud. Fotografert før uttak av gatestein

## 3.2 Prøvemethoder

### 3.2.1 Harmonisert produktstandard

Gatestein har tykkelse på minst 40 mm, en bredde som er mindre eller lik to ganger tykkelsen, og lengde som er mindre enn to ganger bredden. Gatestein skal dokumenteres i henhold til NS-EN 1342 (Standard Norge, 2012). Dette er en harmonisert produktstandard. Ny gatestein skal CE-merkes i henhold til NS-EN 1342. Følgende produkttegnenskaper er beskrevet i produktstandarden:

- Tilvirkningsmål og toleranseklasser
- Fryse-tine-motstand
- Bruddfasthet og trykkfasthet
- Slitestyrke
- Ruhet
- Sklimotstand
- Utseende (farge, åremønster og struktur)
- Vannabsorpsjon
- Bruttodensitet og åpen porøsitet
- Petrografisk beskrivelse
- Farlige stoffer

### 3.2.2 Registrering

Prøvene ble vasket i lunkent vann og nummerert. Se figur 3.5.



Figur 3.5. Prøver – vasket og nummerert

### 3.2.3 Petrografisk beskrivelse

Den petrografiske beskrivelsen av prøvene er basert på visuelle undersøkelser (makroskopisk).

### 3.2.4 Dimensjoner

Brede, lengde og høyde til steinene ble målt ved hjelp av skyvelære. Minste og høyeste målte verdi ble registrert.

### 3.2.5 Vannabsorpsjon ved atmosfærisk trykk

Prøving av vannabsorpsjon ble gjennomført i henhold til NS-EN 13755 (Standard Norge, 2008). Prøvene ble tørket til konstant vekt ved 70 °C og deretter senket i vann ved atmosfærisk trykk inntil prøvene var mettet med vann (konstant vekt). Prøvene var sylindformede med høyde og diameter  $50 \pm 5$  mm. Endeflatene var slipt plane. Ferdig preparerte prøvesylindre er vist i figur 3.6.

Vannabsorpsjonen er beregnet som masse vann i vannmettet prøve delt på masse tørr prøve uttrykt i prosent.

I henhold til NS-EN 13755 skal vannabsorpsjon måles for minst seks prøver. Ettersom man kan forvente større variasjon for ombrukssteiner, er antall prøver som inngår i prøvingen av

Kirkeveien og Åkebergveien økt til 20. Det ble i etterkant registrert at prøve 15 og 16 fra Åkebergveien sto litt tettere sammen i vannet enn det som er beskrevet i NS-EN 13755 (Standard Norge, 2008). Dette ser ikke ut til å ha påvirket prøveresultatene. Ellers ble prøvingen gjennomført som standarden beskriver.



Figur 3.6. Prøvesylindre brukt til prøving av vannabsorpsjon, trykkfasthet og densitet

### 3.2.6 Trykkfasthet

Etter vannabsorpsjonsmålingen ble det gjennomført densitetsmåling og trykkfasthetsprøving i henhold til NS-EN 1926 (Standard Norge, 2006). Prøvene ble tørket til konstant vekt ved 70 °C. Prøvene var sylindrerformede med høyde og diameter  $50 \pm 5$  mm. Endeflatene var slipt plane. Prøvene er vist i figur 3.6. Trykkfastheten ble målt ved hjelp av 3000 kN trykkpresse.

I henhold til NS-EN 1926 skal trykkfasthet måles for minst 10 prøver. Ettersom man kan forvente større variasjon for ombrukssteiner, er antall prøver som inngår i prøvingen av Kirkeveien og Åkebergveien økt til 20. Det var for øvrig ingen avvik fra standarden ved prøving. Nedre/minste forventede trykkfasthet tilsvarer 5 %-fraktilen i en logaritmisk normalfordeling med et konfidensnivå på 75 % og ble beregnet i henhold til NS-EN 1342 (Standard Norge, 2012).

### 3.2.7 Densitet

En forenklet densitetsmåling ble gjennomført ved veiing av prøve (prøve tørket til konstant vekt ved 70 °C) og måling av dimensjoner med skyvelære. Prøvene er vist i Figur 3.6.

### 3.2.8 Ruhet

Ruhet ble vurdert visuelt.

### 3.3 Resultater fra prøving

Resultatene fra prøvingen er sammenstilt i tabell 3.2. Resultatene av den petrografiske vurderingen er:

- Åkebergveien: Fin- til middelskornet granitt med stor likhet til Iddefjordsgranitten.
- Kirkeveien: Prøve 6, 9 og 25 er rødlig Grorudsyenitt, også kalt nordmarkitt, muligens hentet fra steinbruddet Bånnkall i Oslo. Prøve 4 og 19 er en mørkere, mer grålig syenittvariant.
- Kina 1: Trolig dioritt.
- Kina 2: Basalt eller diabas.

For en mer detaljert behandling av prøving og prøveresultater, se Kron et al. (2021).

Tabell 3.2. Sammenstilling av resultater for prøveseriene

Parameter	Enhet	Åkebergveien	Kirkeveien	Kina 1	Kina 2
Antall prøver – uttak	–	29	29	10	15
Lengde (minste – største)	mm	99–105	93–103	191–202	96–105
Bredde (minste – største)	mm	100–106	96–102	137–146	95–101
Tykkelse (minste – største)	mm	97–101	84–90	66–79	49–59
Vannabsorpsjon <sup>1),2),3)</sup>	%	0,19 ± 0,03	0,39 ± 0,09	0,16 ± 0,02	0,05 ± 0,03
Densitet <sup>1),2),3)</sup>	kg/m <sup>3</sup>	2 623 ± 11	2 577 ± 6	2 684 ± 9	2 995 ± 11
Trykkfasthet, gjennomsnitt <sup>1),2),3)</sup>	MPa	254 ± 24	229 ± 20	240 ± 16	397 ± 84
Trykkfasthet, nedre forventede verdi, E <sub>L</sub>	MPa	210	190	204	218
Ruhet	mm	< 1	< 1	> 1	> 1
Petrografisk beskrivelse, kort oppsummering	–	Granitt	Syenitt	Dioritt (?)	Basalt eller diabas

<sup>1)</sup> Gjennomsnitt oppgitt med standardavvik.

<sup>2)</sup> Ombruksstein: Prøving av vannabsorpsjon, densitet og trykkfasthet ble utført på 20 steiner. Ny stein: Måling av vannabsorpsjon, densitet og trykkfasthet ble utført på 10 gatesteiner.

<sup>3)</sup> Kina 1: Gjennomsnittet er beregnet for 8 av de 10 prøvene. En prøve utgikk fordi prøven ikke oppfylte prøvingsstandardens krav (den var for lav). En prøve utgikk fordi prøveresultatet var svært lavt, sannsynligvis på grunn av problem oppstått under prøving. Kina 2: Gjennomsnittet er beregnet for 5 av de 10 prøvene. Fire prøver utgikk fordi prøvene ikke oppfylte prøvingsstandardens krav (de var for lave). En prøve utgikk fordi prøveresultatet var svært lavt, muligens på grunn av problem oppstått under prøving. Åkebergveien: Gjennomsnitt beregnet for 18 av de 20 prøvene. To prøver utgikk fordi prøveresultatet var svært lavt, muligens på grunn av problem oppstått under prøving. Kirkeveien: Prøving og beregning utført for alle 20 steiner. Se Kron et al. (2021) for nærmere diskusjon av prøvingsresultatene og beregningene.

### 3.4 Vurdering av resultatene fra prøving av gatestein

#### 3.4.1 Vurderingskriterier

Anbefalte krav for gatestein er oppgitt i tabell 3.3.

Tabell 3.3. Anbefalte krav for gatestein

Parameter	Krav
Vannabsorpsjon	Maks 0,4 vektprosent i gjennomsnitt for granitt, gneis, basalt o.l. Lav vannabsorpsjon indikerer ofte høy frostmotstand, men for enkelte typer kalkstein, sandstein og skifer kan det oppstå frostskafer selv om vannabsorpsjonen er lav (Alnæs, 2018a; 2018b; Norsk Bergindustri, 2013)
Trykkfasthet	Minste/nedre forventet trykkfasthet er 150 MPa for veier med høy kjøretøybelastning, det vil si trafikkgruppe C/D i henhold til Håndbok N200 (Alnæs, 2018b; Statens vegvesen, 2018)
Ruhet	Overflateruhet på mer enn 1 mm gir en skliskker overflate (Alnæs, 2018b).

### **3.4.2 Akebergveien**

Steinene er intakte og viser ingen tegn til forringing av trykkfasthet eller vannabsorpsjon. Gjennomsnittlig vannabsorpsjon er lavere enn anbefalt maksimumsgrense, se tabell 3.3. Minste/nedre forventede trykkfasthet er høyere enn anbefalte minstekrav for veier med høy kjøretøybelastning. Bruksflaten til steinene er tydelig slitt sammenliknet med de andre overflatene, men har likevel beholdt en del ruhet. Sklisikkerhet i et gatesteinsdekke er ikke bare styrt av ruheten til hver enkelt stein, men også av ruhet i det samlede dekket, med stein satt i et mønster med mellomliggende fuger av sand eller betong. Sklisikkerheten anses som brukbar. Steinene egner seg godt for ombruk.

### **3.4.3 Kirkeveien**

Steinene er intakte og viser ingen tegn til forringing av trykkfasthet eller vannabsorpsjon. Gjennomsnittlig vannabsorpsjon er lavere enn anbefalt maksimumsgrense, se tabell 3.3. Minste/nedre forventede trykkfasthet er høyere enn anbefalt minstekrav for veier med høy kjøretøybelastning. Bruksflaten til alle prøvene bærer preg av at steinene har vært utsatt for overflate-slitasje over et tidsrom på mange år, noe som har gitt en bruksflate med liten grad av ruhet på enkelte av steinene, mens andre har en bruksflate med større grad av ruhet. Sklisikkerhet i et gatesteinsdekke er ikke bare styrt av ruheten til hver enkelt stein, men også av ruhet i det samlede dekket, med stein satt i et mønster med mellomliggende fuger av sand eller betong. Sklisikkerheten anses som brukbar. Steinene egner seg godt for ombruk.

### **3.4.4 Kina 1 og Kina 2**

Gjennomsnittlig vannabsorpsjon er lavere enn anbefalt maksimumsgrense, se tabell 3.3. Minste/nedre forventede trykkfasthet er høyere enn anbefalt minstekrav for veier med høy kjøretøybelastning. Både Kina 1 og Kina 2 har gode bruksegenskaper som gatestein.



## 4 Livssyklusvurdering (LCA)

### 4.1 Bakgrunn

Livssyklusvurdering er en velbrukt metode for å evaluere miljøprestasjonen for et produkt eller system. Det har vært framskritt i utviklingen og i harmonisering av LCA-standarder for bygninger (for eksempel ISO 21931: *LCA prinsipper og rammeverk for vurdering av miljøprestasjonen av anleggsarbeider*, EN 15897 og den norske standarden NS 3720 for vurdering av miljøprestasjonen av bygninger), merking og sertifiseringsordninger for å kommunisere LCA-resultater (for eksempel EPD-er og klassifiseringssystemer for grønne bygninger som BREEAM) og internasjonale forskningsaktiviteter (som International Energy Agency's in Buildings and Communities Programme (IEA EBC) Annex 57, Annex 72) for å vurdere og kommunisere livssyklusrelaterte innvirkninger av bygninger.

Selv om det ikke fins spesifikke lovkrav for LCA for bygninger i den nasjonale lovgivningen, har den norske byggenæringen vært ledende i å fremme LCA i et tiår (DTI, 2021). Statsbygg, kommuner, FutureBuilt og forskningscentre (for eksempel FME ZEB, FME ZEN) har vært hoveddrivere bak bruken av LCA for bygninger i forskjellige prosjekter. Statsbygg var hoveddriveren for utstrakt bruk av EPD-er i byggenæringen (Schlanbusch et al., 2016). I dag bruker produsenter EPD-er for å identifisere "hot spots" i produksjonsprosessen og forbedrer miljøprestasjonen til egne produkter og produksjonsprosesser. I tillegg benytter produsentene EPD-er for å kommunisere miljøprestasjonen av sine produkter. Forskere bruker EPD-er som produktspesifikke datakilder ved gjennomføring av LCA. FutureBuilt, FME ZEB og FME ZEN er andre drivere for praktisering av LCA i forskjellige prosjektfaser i pilotprosjekter ved å bruke standardmetoder og transparente rapporteringsformater

Når det gjelder LCA for ombruk av byggevarer, framstår Kristian Augusts gate 13 (KA13) – en åtte-etasjes kontorbygning fra 1950-tallet – som et godt eksempel der man bruker LCA og teknisk og økonomisk analyse for å få et helhetlig syn og for å formidle kunnskap fra Norges første ombruksprosjekt (Entra AS, 2021). Studien kunne vise til en betydelig reduksjon i miljøpåvirkningen, opptil 98 %, ved ombruk av eksisterende bygningsstrukturer og materialer motatt fra andre prosjekter inkludert stål, hulldekker, vinduer, kjølebafler, himlingsplater og fasadeplater. Studien demonstrerte derimot også høyere kostnader for noen produkter, noe som skyldes faktorer som mangel på sekundære materialer, dokumentasjon, kunnskap og samarbeid i verdikjeden.

Nußholz et al. (2020) hevder at miljøgevinst forutsetter at det evalueres nøyaktig hvor stort potensialet for miljøbesparelser av ombruksprodukter er, fordi uunngåelige prosesser (for eksempel transport og bruk av sement) kan utgjøre betydelig bidrag til den totale miljøpåvirkningen. Forfatterne understreker at ikke all materialombruk nødvendigvis forbedrer hovedprosessene som bidrar til miljøpåvirkningen. Bruk av sement i betong utgjør for eksempel 91 % av den totale GWP-påvirkningen, og det er ikke mulig å redusere tallet ved å bruke sekundæraggater.

Gjennomføring av LCA for ombruksprodukter kan også være utfordrende når det gjelder metodevalg (De Wolf et al., 2020; Malabi Eberhardt et al., 2020). De Wolf et al. (2020) har evaluert LCA-metoder i Europa og understreker at eksisterende LCA-metoder ikke er tilpasset evaluering av påvirkning fra ombruk i bygninger. De viser hvordan fordeler og ulemper fra ombruk er tatt hensyn til og tolket ved å bruke forskjellige metoder, antakelser og likninger for å definere systemgrenser og allokering av miljøpåvirkningene. Videre understreker de at det er viktig å vurdere miljøpåvirkningen i sammenheng med bygging og vedlikehold av langvarige lagringsanlegg, samt deres påvirkninger tilknyttet bruk, arealbruksendringer og bruksverdier.

Det fins noen få livssyklusinventar og LCA-studier som ser på ny stein (Bianco & Blengini, 2016; Mendoza et al., 2014; Mosaferi et al., 2014), men ingen LCA-studier på sekundær stein på tidspunktet da denne rapporten ble utarbeidet.

## 4.2 Mål og omfang

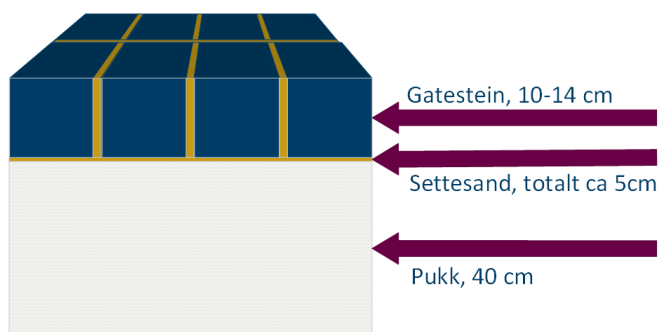
Målet med LCA-studien er å vurdere miljøprestasjonen til gjenbrukt granitt naturstein (videre referert til som brukt stein) som gangveidekke og hvorvidt brukt stein kan bidra til å redusere miljøavtrykket sammenliknet med å bruke ny naturstein.

Den funksjonelle enheten eller referanseenheden som er brukt, er 1 m<sup>2</sup> gangvei lokalisert i Oslo (figur 4.1). Studien evaluerer hvordan miljøavtrykket av gangvei kan påvirkes ved å bruke ny versus brukt gatestein.



Figur 4.1. Gatestein i Telthusbakken, Oslo.

Gangveiene inkluderer alle lag som trengs for fottrafikk og lett motorisert trafikk (figur 4.2). Typiske dimensjoner brukt i gangveisystemer er basert på informasjon fra eksperter på området.



Figur 4.2. Tverrsnitt av gate med gatestein

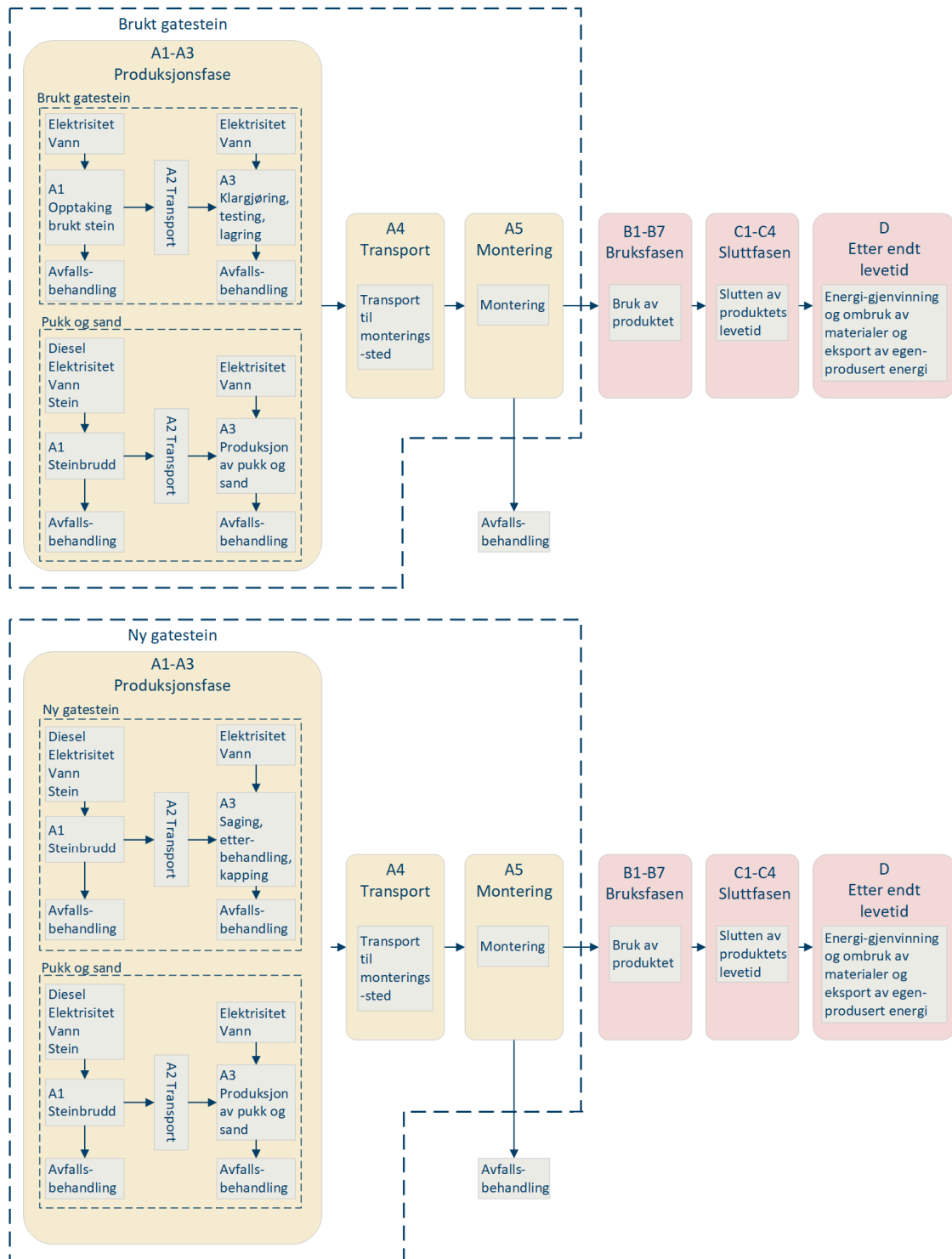
Gangveidesignet består av smågatestein og storgatestein med dybde på henholdsvis 10 og 14 cm. Typiske dimensjoner for bruk i gangvei er 10 cm x 10 cm x 10 cm for smågatestein og 14 cm x 20 cm x 14 cm for storgatestein. Granittsteinen legges på et lag drenerende masse som består av rundt 40 cm komprimert pukk, med ca. 5 cm settesand/fugesand under og mellom steinene. Mengden pukk er basert på en gjennomsnittsverdi mellom ren gangvei (30 cm) og lett motortrafikk (50 cm). For 1 m<sup>2</sup> legges ca. 80–90 smågatestein eller ca. 32 storgatestein.

Livsløpsfasene inkludert i studien er produksjonsfasen (A1-A3) og konstruksjons-/installasjonsfasen (A4-A5), i henhold til livsløpsmodulprinsippet (Standard Norge, 2011b). Bruksfasen (modul B1-B7), sluttfasen (modul C1-C4) og fordeler og belastninger utenom systemgrensene (modul D) er ikke inkludert i analysen.

For brukt gatestein ble allokering av materialer og prosesser modellert i henhold til allokeringsmetoden *Allocation of recycled content*, også kalt *cut-off* eller *100:0 approach* (Gervaso & Dimova, 2018). Det betyr at den brukte steinen anses som utslippsfri i produksjonsfasen (A1-A3), og tar ikke med det første livsløpet (der den brukte steinen kommer fra sluttfasen). Dermed har det første livsløpet (ny stein) ingen utslipp fra avfallsbehandling, og det andre livsløpet (brukt stein) ingen miljøbelastninger fra materialproduksjonsfasen (A1-A3), da dette allerede er tatt hensyn til i det første livsløpet. Utslipp knyttet til opptak, klargjøring, testing, transport og mellomlagring er vurdert for brukt stein i fase A1-A3.

Systemgrensene for livsløpsfasene og hovedprosessene for brukt og ny gatestein er vist i figur 4.3.

LCA-metoden som er brukt for å vurdere miljøavtrykket relatert til produktsystemet, er *attribitional LCA*, altså en dokumenterende LCA. GWP-verdi (global warming potential) målt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>eq) er effektkategorien brukt i studien.



Figur 4.3. Systemgrenser for livssyklusstadier i henhold til NS-EN 15978 (Standard Norge, 2011b)

### 4.3 Regnskap og datakvalitet

Beregningene for 1 m<sup>2</sup> gangveisystem er basert på dimensjonene på små- og storgatestein. Mengder av stein, grus og sand som trengs for 1 m<sup>2</sup> gangvei, er oppsummert i tabell 4.1.

Dimensjoner for de to gangveisystemene antas å være like. Mengde sand og grus brukt for smågatestein og storgatestein antas også å være lik.

Tabell 4.1. Materialtyper og mengder brukt for to alternative gangveier

Materialtyper og mengder		Enhet	1 m <sup>2</sup> gangvei med ny stein		1 m <sup>2</sup> gangvei med brukt stein	
			Små-gatestein	Stor-gatestein	Smågatestein	Storgatestein
Gatestein	Dybde	cm	10	14	10	14
	Dimensjon	cm	10x10x10	14x20x14	10x10x10	14x20x14
	Tetthet	kg/m <sup>3</sup>	2 560	2 560	2 560	2 560
	Antall stein/m <sup>2</sup>	stk.	85	32	85	32
	Total vekt (for 1 m <sup>2</sup> gangvei)	kg/m <sup>2</sup>	283	321	283	321
Sand	Størrelse	mm	0–8	0–8	0–8	0–8
	Dybde	cm	5	5	5	5
	Tetthet	kg/m <sup>3</sup>	1 500	1 500	1 500	1 500
	Total vekt (for 1 m <sup>2</sup> gangvei)	kg/m <sup>2</sup>	75	75	75	75
Pukk	Størrelse	mm	16–32	16–32	16–32	16–32
	Dybde	cm	40	40	40	40
	Tetthet	kg/m <sup>3</sup>	1 500	1 500	1 500	1 500
	Total vekt (for 1 m <sup>2</sup> gangvei)	kg/m <sup>2</sup>	600	600	600	600

Bakgrunnsdata er hentet fra EPD-er (Environmental Product Declaration) for produktspesifikke data og Ecoinvent for generelle data. Data for produksjonsfasen (A1–A3) for granittsteinen er basert på gjennomsnittsdata fra EPD-er for granittstein fra norske, svenske og finske EPD-er. Disse EPD-ene er utarbeidet i henhold til den standardiserte metoden beskrevet i NS-EN 15804 (Standard Norge, 2019).

#### 4.3.1 Produksjonsfasen (A1–A3)

##### Ny gatestein

Produksjon av *ny naturstein* består av tre trinn: 1) utvinning i steinbrudd, 2) prosessering av råsteinen i et prosesseringsanlegg, og 3) transport.

*Granittutvinning (A1)* inkluderer boring og sprenging (for utvinning av store granittblokker) eller kapping (ved hjelp av diamantmonowire-maskiner til primærblokker og kommersielle blokker), granittprosessering (saging, etterbehandling og sekundærkapping eller -forming) og etterbehandling (Mendoza et al., 2014).

*Transport (A2)* av naturstein fra steinbrudd varierer både mellom ulike bedrifter og innad i bedrifter. Produktet kan 1) transporteres innenfor samme område der steinbrudd og prosesseringsanlegg er lokalisert på samme sted, 2) transporteres fra steinbrudd til prosesserings-

anlegg innenfor samme bedrift, men med ulik lokasjon (ulik by, land eller kontinent), 3) transporteres som blokker eller plater fra steinbrudd til ekstern kunde lokalisert et annet sted, for prosessering og salg av ferdig produkt, 4) transporteres som blokker eller plater fra steinbrudd til leverandørers varelager, 5) transporteres som blokker eller plater fra leverandørers varelager til prosesseringsanlegg, 6) transporteres fra prosesseringsanlegg til leverandørers varelager. På grunn av høye arbeidskraftkostnader i Norge eksporteres ofte steinblokker fra norske steinbrudd til andre land for prosessering, og ferdige steinprodukter importeres. Ifølge LITOS (u.å.) har Kina vært det største markedet med rundt 50 % av steinblokkeeksporten. Den nest viktigste destinasjonen for videre prosessering er Italia, og så India. Transportmidlene varierer mellom vei, jernbane og skip i ulike klasser. På grunn av den naturlig høye tettheten til stein er det best å begrense transporten så mye som mulig.

*Vann (A1, A3)* brukes i alle trinn i steinbrudd og prosesseringsanlegg for utvinningsprosessen (til avkjøling av maskineri, friksjonsreduksjon mellom stein og sag, støvkontroll), kapping (for knivblader, kappetråder og rengjøring), og etterbehandling av steinprodukter (til avkjøling for forming og sprenging av stein samt skylling av sluttproduktet).

*Avfall (A1, A3)* genereres fra steinbrudd og prosesseringsanlegg, som steinrester, petroleumprodukter og slam. Steinrester kan brukes som fyllmasse og konstruksjonsaggregat/tilslag.

*For ny stein* har gjennomsnittstall for A1–A3 fra representative EPD-er blitt brukt. Vi finner et svært begrenset antall EPD-er for stein, og EPD-ene stammer fra Kina og Finland. Siden produksjonen er en energiintensiv prosess, har utslippsfaktorene brukt for elektrisitet og energisystemet en signifikant effekt.

#### Brukt gatestein

For brukt gatestein unngås forbruk av energi, vann og materialer, avfall og transport for utvinning og prosessering. Opptak, klargjøring, testing, transport og mellomlagring er prosessene som vurderes for brukt stein.

For *opptak av gjenbrukbar stein (A1)* brukes antakelsene fra slutfase-scenariene (C1) i EPD-er for ny stein. Opptak av stein fra gangveier antas å gjøres manuelt, og her er energiforbruket antatt null. 90 % av gjenbruksproduktet antas bevart, og tapet på 10 % under opptaksprosessen antas å erstattes av nye steiner.

*Transportdistansen (A2)* til og fra mellomlagring og testfasiliteter samt mengde av stein som brukes til testing, antas basert på informasjonen som ble gitt ved prøvetesting i kapittel 3.1 (se tabell 4.2).

Tabell 4.2. Bakgrunnsdata for A2

Materialtyper og Transportdistanse	Enhet	Transportdistanse	Transportmiddel
Åkebergveien (Åkebergveien i Oslo til Kjelsrud)	km	8,4	Ecoinvent-prosessen for transport "Transport, freight, lorry 7–16 metric ton, EURO6 {GLO}  market for   Alloc Rec, U"
Kirkeveien (Kirkeveien ved Ullevål til Kjelsrud)	km	9,5	
Kina 1 (Gjennomsnitt)	km	9,7	
Kina 2 (Torggata til Kjelsrud)	km	9,9	
A2_Gjennomsnitt Transportdistanse	km	9,38	
A2_Gjennomsnitt Transportdistanse til testing (Kjelsrud til Børrestuveien 3)	km	11,9	

For klargjøring og testing (A3) er bruken av vann og elektrisitet antatt å være null. Antall steiner som brukes til testing, antas å bli erstattet av nye steiner på grunn av den destruktive testmetoden. Grove estimater vist i tabell 4.3 er brukt for ekstramaterialer det er behov for å erstatte med nye produkter grunnet destruktiv testing.

Tabell 4.3. Bakgrunnsdata for A3

Prøvematerialer estimert i denne studien	Enhet	Smågatestein	Storgatestein
Antall steiner bruker for testing	Stk.	10	10
Total vekt	kg/m <sup>2</sup>	0,026	3,211

Mellomlagring (A3) for brukt stein skjer under åpen himmel, uten behov for oppvarming.

#### Grus og sand (A1–A3)

Data for produksjon av grus og sand er tatt fra gjennomsnitt av norske EPD-er. Som nevnt over, antas samme mengde materialer brukt i begge gangveisystemer.

#### **4.3.2 Transport til byggeplass (A4)**

##### Ny gatestein

Byggeplassen antas å være i Oslo. Siden transport er rapportert fra produksjonssted til byggeplass i Oslo i norske EPD-er, er transportdistansen i EPD-ene brukt. For andre EPD-er fra Finland er transportdistansen fra produksjonssted til byggeplass beregnet ved hjelp av Google Maps, og utslippsfaktorene fra transport er beregnet med data fra Ecoinvent. Transportmiddel er antatt å være EURO klasse 6, 16–32 tonn kjøretøy. Dermed er Ecoinvent-prosessen for transport "Transport, freight, lorry 16–32 metric ton, EURO6 {GLO}| market for | Alloc Rec, U" brukt.

##### Brukt gatestein

Transportdistansen for gjenbruksprodukter avhenger av typen gjenbruk. I denne studien er den brukte steinen antatt anskaffet lokalt i Oslo, innenfor 5 km radius. Transportmiddel er antatt å

være EURO klasse 6, 7–16 tonn kjøretøy. Dermed er Ecoinvent-prosessen for transport "Transport, freight, lorry 7–16 metric ton, EURO6 {GLO} | market for | Alloc Rec, U" brukt.

#### 4.3.3 Installasjon (A5)

Installasjonsprosessen for begge gangveisystemer antas å være den samme. Grunnarbeider og utgraving er ikke tatt med i analysen. Gatesteinen antas lagt manuelt på en base av grus. Elektrisitetsforbruk, annen energibruk, materialtap og avfall antas å være null.

#### Datakvalitet

Innenfor de ovenfornevnte omfang og begrensninger av studien anses datakvaliteten å være representativ i henhold til temporale (< 10 år for generiske data, < 5 for EPD-data), geografiske (basert på EU- og/eller norske gjennomsnitt) og teknologiske (oppdaterte og representative teknologier tilgjengelig i Europa) krav. Sensitivitetsanalysen antas å evaluere usikkerheten i bakgrunnsdata og antakelsene gjort i studien.

#### Usikkerhet i data

Denne studien ble utført basert på begrensede EPD-er og noen antakelser om transportdistanse og gjenbruksrate. Videre arbeid må foretas for å forbedre resultatene. Allokeringmetoden er en annen faktor, da *cut-off*-tilnærmingen ble brukt i studien. Sammenliknende vurderinger bør tas i betraktning i framtidige studier. Omfanget av studien er også begrenset til A1–A5-fasene, og man bør vurdere å inkludere hele livsløpet.

### 4.4 Scenarier og antakelser

LCA-resultatene avhenger av bakgrunnsdataene og antakelser foretatt i studien. Kildene til ny og brukt gatestein er en av faktorene som påvirker både produksjonen og transportrelaterte utslipp. I tillegg har datakilder og bakgrunnsantakelsene signifikant effekt på klimagassutslippresultatene.

Sensitivitetsanalyse er utført for å evaluere effekten av ulike scenarier og parametere, basert på følgende baseline (basert på scenarioene med resultater presentert under kapittel 4.5.2), "best case"- og "worst case"-scenarier. tabell 4.4 oppsummerer hovedscenarioene i studien.

Tabell 4.4. Scenarioanalyse

Parametere	Worst case	Baseline	Best case
S1: Avstand fra lager til byggeplass (A4)	Importert fra Kina	Gjennomsnitt av avstand for stein importert fra Kina og Finland	Importert fra Finland
S2: Gjenbruksrate (A1)	70 % gjenbruksrate / 30 % tap av brukt stein	90 % gjenbruksrate / 10 % tap av brukt stein	100 % gjenbruk av brukt stein
S3: Avstand fra opptak til mellomlagring (A2) og avstand fra produksjon til byggeplass (A4)	Brukt stein importert fra utlandet (Tyskland)	Lokal stein fra andre prosjekter lokalisert innenfor en radius på 9 km	Lokal stein fra andre prosjekter lokalisert innenfor en radius på 1 km

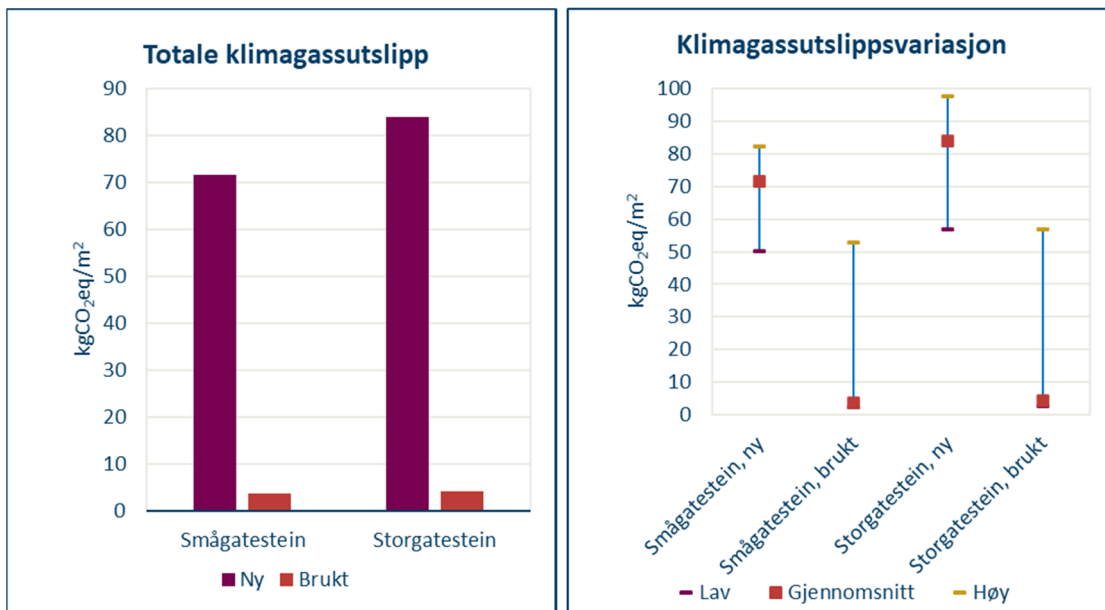


## 4.5 Resultater og diskusjon

### 4.5.1 Totalt klimagassutslipp

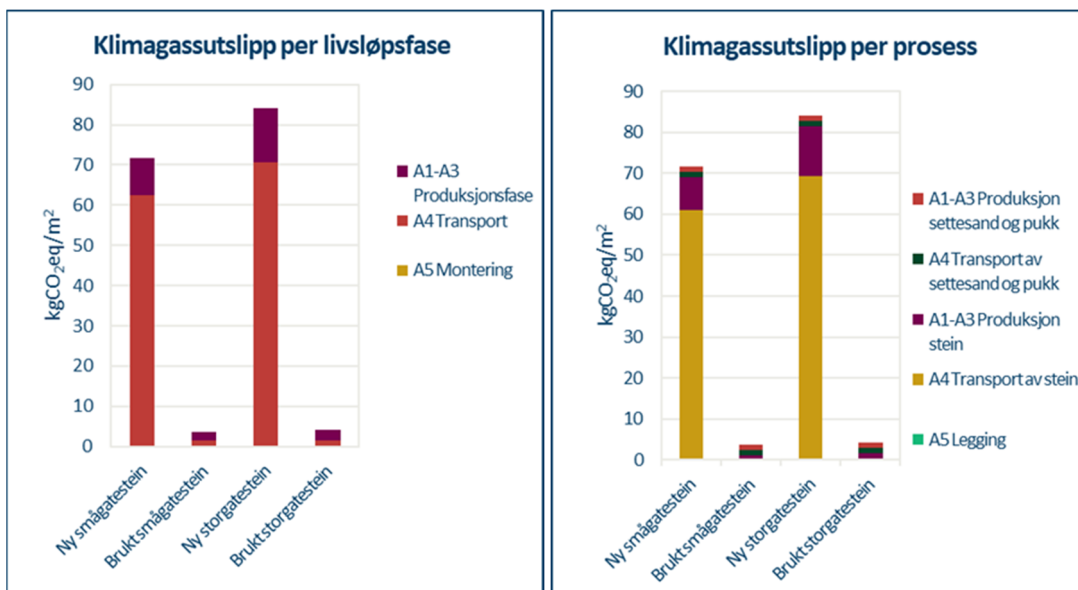
Figur 4.4 viser totale klimagassutslipp for de to gangveisystemene. Gangveien med brukt stein viser signifikant lavere klimagassutslipp enn gangveien med ny stein. For gangvei med ny stein er utslippene større for smågatestein enn for storgatestein. Det kan komme av at det trengs mer behandling (A3 – saging, etterbehandling og kapping), og dermed energi, per m<sup>2</sup> smågatestein enn per m<sup>2</sup> storgatestein, da det trengs mer enn dobbelt så mange stein for å dekke 1 m<sup>2</sup> gangvei med smågatestein enn med storgatestein.

Det er også stor variasjon i klimagassutslippene for både ny og brukt smågatestein og storgatestein. Denne variasjonen stammer fra scenarioene, se kapittel 4.5.2 for mer detaljer.



Figur 4.4. Totale klimagassutslipp (venstre), absolutt variasjon (venstre)

Resultatene i **Error! Reference source not found.** viser klimagassutslipp per livsløpsfase og per prosess. For brukt stein kommer de største klimagassutslippene fra produksjonsfasen (A1–A3) og transportfasen (A4).



Figur 4.5. Totale klimagassutslipp per livsløpfasen (venstre) og per prosess (høyre)

Bakgrunnsdata for ny gatestein var gjennomsnitt av EPD-er for stein produsert i Kina og Finland. Produksjonsfasen for brukt stein er antatt utslippsfri, bortsett fra kompensasjon for 10 % materialtap som er kompensert med ny stein. Elektrisitetsforbruk, annen energibruk, materialtap og avfall fra installasjonsprosessen antas å være null.

Dermed fører gjenbruk av gatestein til at man kan unngå energiforbruk, vann og materialbruk som behøves for utvinning, transport og prosessering. I tillegg fører lokal materialbruk av brukt gatestein til lavere transportutslipp.

Resultatene framhever også viktigheten av tiltak for utslippsreduksjon ved produksjon av ny stein. For eksempel er utslippsfaktoren for energibruk i den kinesiske produksjonsprosessen 1,15 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh, mens for stein produsert i Finland er den 0,24 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh. Denne høyere utslippsfaktoren for energibruk fører til høyere utslipp i produksjonsfasen. I tillegg fører den lengre transportdistansen av tung stein fra Kina til Norge til signifikant høyere klimagassutslipp. Nasjonal produksjon av ferdige steinprodukter, framfor å eksportere steinblokker for videre prosessering utenlands, kan føre til signifikante utslippsreduksjoner for ny gatestein. Det vil også kunne redusere utslippsnivået fra brukt gatestein da materialtap erstattes med ny stein.

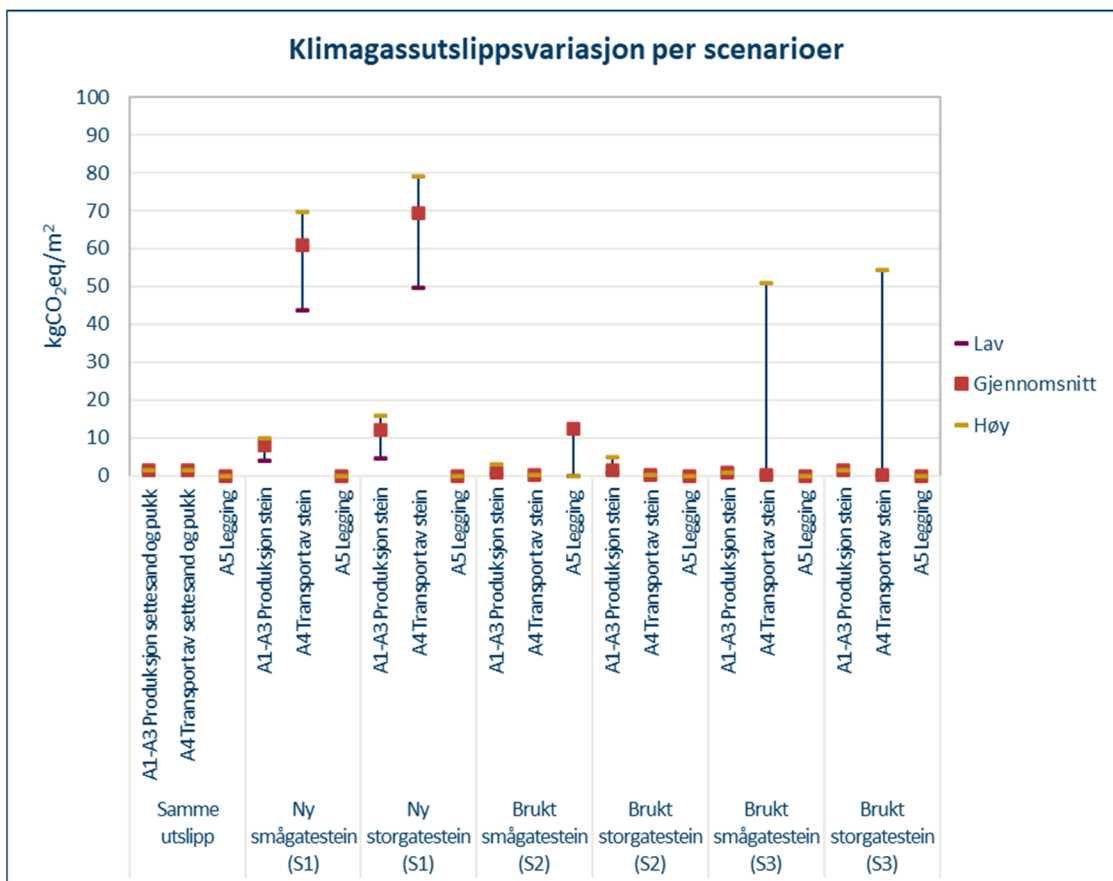
Utslippene fra produksjon og transport av sand og pukk er de samme for begge gangveisystemer, og utslippene er også svært lave.

Vi ser dermed at i et miljøperspektiv vil gjenbruk av gatestein kunne bidra til signifikant reduksjon av klimagassutslipp. Med en lokal forsyningskjede er også utslippene fra transport betydelig lavere enn for ny stein.

#### **4.5.2 Resultater fra scenarionalyse**

Transportutslippene står for de største variasjonene i scenarionalyse, se figur 4.6.

Transport er særlig viktig for ny gatestein importert langveisfra (Scenario 1, S1). For eksempel genereres 61,05 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> i A4 dersom man bruker smågatestein fra Kina og Finland (med en gjennomsnittlig transportdistanse på 376 km med lastebil og 13 528 km med skip). Dette reduseres til 43,77 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> med gatestein kun fra Finland (929 km med lastebil og 206 km med skip) og øker til 69,69 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> med gatestein kun fra Kina (99 km med lastebil og 20 189 km med skip).



Figur 4.6. Klimagassutslippsresultater fra scenarioanalyse

For ny stein (Scenario 1, S1) varierer også utslippene i produksjonsfasen (A1–A3) fra 10 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> for smågatestein importert fra Kina til 3,82 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> for smågatestein importert fra Finland. Det er stor usikkerhet i klimagassutslippene for ny stein, både storgatestein og smågatestein.

Klimagassutslippene fra transport av brukt gatestein kan også bli svært høye dersom de importeres fra utlandet (Scenario 3, S3). 50,84 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> genereres i A4 ved å importere brukt smågatestein fra Tyskland sammenliknet med å skaffe produktene lokalt innenfor 5 km (0,27 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>) og 1 km (0,01 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>) avstand.

Klimagassutslippene fra produksjonsfasen (A1–A3) for brukt gatestein avhenger av gjenbruksraten, altså prosentandelen gjenbruk av totalt tilgjengelig brukt produkt (Scenario 2, S2). For eksempel genereres, 0,58 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup> i A1–A3 med en gjenbruksrate for brukt smågatestein på 100 %, sammenliknet med 90 % (0,80 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>) og 70 % (2,86 kg CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>).

#### 4.5.3 Drøfting av funn fra LCA

Denne studien viser signifikant potensial for utslippsreduksjon ved gjenbruk av gatestein sammenliknet med bruk av ny gatestein for gangvei. Stein er et naturlig produkt og dermed ansett som miljøvennlig, og de kvantitative funnene fra denne LCA-studien bekrefter dette. Ved å øke livsløpet til gatesteinen gjennom gjenbruk ser vi tydeligere de faktiske utslippene og reduksjonspotensialene forbundet med produksjon og transport (når gjenbruk skjer lokalt). Det viser at fra et klimagassperspektiv, har gjenbruk et stort potensial. Dette stemmer også med LCA-studier utført for andre byggematerialer. For eksempel viser resultater fra Norges første sirkulære bygg en utslippsreduksjon på opp til 98 % fra gjenbruk av seks produkter (stål,

hulldekker, vinduer, kjølebafler, himlingsplater og fasadeplater) sammenliknet med nye produkter (Entra AS, 2021).

Med økte energieffektivitetstiltak og bruk av fornybare energiresurser blir bundet energi (embodied energy) for produksjon, konstruksjon, vedlikehold, reparasjon og oppussing svært store (Kjendseth Wiik et al., 2020; Moncaster et al., 2019; Röck et al., 2020). Noen av tiltakene som kan redusere klimagassutslipp, er effektive materialvalg, arealeffektivisering, prioritering av gjenbruk og resirkulerte materialer, samt valg av materialer og produkter med lang levetid og lite bundet karbon, som er lokalt tilgjengelige. Dermed spiller gjenbruk en viktig rolle i utslippsreduksjon og for å oppnå nasjonale klimamål og målene i Europas grønne giv (European Green Deal).

Studien viser også betydningen av bakgrunnsdata og antakelsene som ligger bak resultatene, og gir følgende punkter for videre arbeid:

- **Bakgrunnsdata:** EPD-er er en god kilde til bakgrunnsdata når man utfører en LCA. IBU viste viktigheten av å bruke produktspesifikke EPD-er for å forbedre LCA-studier (Ibu, 2019). Det fantes imidlertid ingen EPD for brukt gatestein på tidspunktet da denne studien ble utført. Det var også svært få EPD-er for ny gatestein. Dermed ble LCA-studien av brukt gatestein basert på bakgrunnsdata fra EPD-er for ny gatestein og noen antakelser. For å få gode bakgrunnsdata, for å støtte sammenliknende studier og for å foreta informerte valg om hvorvidt man skal gjenbruke produkter eller kjøpe nye trengs det videre arbeid for å utvikle EPD-er for brukte produkter.
- **Omfang og systemgrense:** Denne studien omfatter produksjonsfasen (A1–A3) og konstruksjons- og installasjonsfasen (A4–A5), og bruker effektkategorien GWP (global warming potential). En LCA-studie fra vugge til grav vil bidra til å kunne se hele bildet. LCA-resultater for vinduer anslår et klimagassreduksjonspotensial på 56 tonn CO<sub>2</sub>eq/m<sup>2</sup>, som er 77 % lavere enn referanseproduktet med nye materialer (Nußholz et al., 2020). På grunn av det høye innholdet av treverk, oppnår imidlertid de brukte produktene dårligere resultater innen effektkategoriene forsuring og arealbruk. Videre arbeid kan undersøke viktigheten av andre effektkategorier for å sikre at miljøeffektene ikke flyttes fra én kategori til en annen.
- **Metodiske valg:** Denne LCA-studien er en *attributional LCA*, altså en dokumenterende LCA, med allokeringmetoden *cut-off*. Studier har vist viktigheten av valg av allokeringmetode for LCA-resultatene. Videre arbeid kan inkludere å utføre sammenliknende vurderinger og evaluere hvilke allokeringstilnærminger som er best.
- **Prioritering og oppskalering:** Produkter har ulike gjenbrukspotensialer og flere faktorer påvirker gjenbrukspotensialet deres. For eksempel lagres stein vanligvis utendørs, og det antas null energiforbruk under lagring. Energiforbruk for lagring er imidlertid en av de viktigste faktorene som er identifisert for andre typer produkter. Det er viktig å utføre fulle livsløpsvurderinger, identifisere problemområder og vurdere tiltak for utslippsreduksjon for ulike gjenbruksprodukter. En utvidelse av omfanget fra produktnivå til industrinivå ved å evaluere indirekte effekter og involvere ulike aktører i verdikjeden, er essensielt. Dette vil gjøre det mulig å finne ut om miljøfordeler på produktnivå kan endres på grunn av endringer på industrinivå.

## 5 Kostnadsanalyse

### 5.1 Bakgrunn

Livssyklus-kostnadsanalyse (LCC) er en metode for å analysere de totale kostnadene for et produkt over hele livsløpet. Metoden er beskrevet i NS 3454:2013 *Livssyklus-kostnader for byggverk*. Denne rapporten ser kun på anskaffelseskostnadene knyttet til produksjons- og monteringsfasen for produktet samt transport. Det gjør vi for å sammenlikne brukt og ny gatestein, og bruksfasen med drift og vedlikehold antas lik for de to. Restkostnader og restverdi ved endt levetid (for det steinlagte området) er også antatt lik da vi ikke har informasjon som tilsier noe annet.

Siden kun produksjons- og monteringsfasen er vurdert, er ikke økonomiske parametere som diskonteringsrate og inflasjon inkludert, da kostnader ikke er vurdert over tid.

### 5.2 Mål og omfang

Målet med kostnadsanalysen er å sammenlikne kostnader ved 1 m<sup>2</sup> brukt gatestein og 1 m<sup>2</sup> ny gatestein, lagt i grus/sand, i Oslo. Kun anskaffelses- og konstruksjonsfasen er inkludert, det vil si innkjøp, transport og legging av stein. Både oppstrømskostnader (planlegging, tomteanskaffelse etc.) og nedstrømskostnader (drift og vedlikehold, utskiftingskostnader og restkostnader ved endt levetid) er ekskludert fra analysen da disse kostnadene antas å være de samme for ny og brukt gatestein.

Systemgrensene er samkjørt med LCA-grensene, og systemet er illustrert i figur 4.3. Alle kostnader i produksjonsfasen A1–A3 antas integrert i innkjøpsprisen for steinen.

Avfall fra steinlegging er ikke tatt med i analysen. Det kan tenkes at det vil være mer avfall med brukt stein enn med ny stein, men det har vi ikke hatt anledning til å gå nærmere inn på.

### 5.3 Regnskap og datakvalitet

#### 5.3.1 Datainnsamling

Gatestein i granitt fins i to størrelser: smågatestein (ca. 9–11 cm, kvadratisk) og storgatestein (ca. 14 cm x 20 cm, rektangulær). For ny stein fins storgatestein i ulike tykkelser (10 og 14 cm, der 14 cm er det vanligste), mens smågatestein er mer konform. For brukt stein fins storgatestein i flere ulike størrelser, noe som medfører merarbeid i leggingen, mens smågatestein igjen er mer konform. Smågatestein er generelt billigere per kvadratmeter enn storgatestein.

Innsamling av data ble gjort på følgende måter:

1. Google-søk for kjøp av stein
  - a. Priser fra tre ulike steinbutikker for ny stein
  - b. Pris fra én steinbutikk for brukt stein (kun storgatestein)
  - c. Priser fra fire ulike finn.no-annonser, tre for smågatestein, én for storgatestein
  - d. Transportpriser fra to av steinbutikkene
2. Telefonintervju med lokal steinlegger i Trondheim, Trondheim Tørrmur. Liten aktør, jobber mye på små prosjekter og får tak i brukt stein på privatmarkedet (heretter kalt Trondheim Tørrmur)
3. E-postkontakt med:
  - a. Entreprenør for Torvet-prosjektet i Trondheim (heretter kalt Søbstad)
  - b. Heimdal Granitt og Betong AS (heretter kalt HGB)
  - c. Landskapsentreprenørene AS (heretter kalt Landskapsentreprenørene)
  - d. Bymiljøetaten, Oslo kommune (heretter kalt Bymiljøetaten Oslo)

4. Google-søk for gruspriser
  - a. Priser fra fem ulike grusleverandører (pukk, 16–64 mm)
  - b. Transportpriser fra tre av grusleverandørene
  - c. Priser fra tre ulike leverandører for settesand (0–8 mm)
  - d. Transportpriser fra to av sandleverandørene
5. Google-søk for priser for legging av stein ga svært sprikende resultater, og er vanskelig å anvende på grunn av ulikheter i hva som er inkludert i prisen. Priser på legging er derfor basert på kontakt med kilder (Trondheim Tørrmur, Søbstad, By-miljøetaten Oslo).

De navngitte kildene er aktører som jobber i ulike deler av verdikjeden og er av ulike størrelser, og det generelle bildet er at erfaringene spriker mye.

### 5.3.2 Regnskap

Tabell 5.1 oppsummerer resultatene fra datainnsamlingen. Her er de ulike kostnadselementene beskrevet, med antakelsene som ligger bak.

Tabell 5.1. Resultater fra datainnsamling

<b>Samme kostnader for smågatestein og storgatestein</b>			
	<b>Ny stein</b>	<b>Brukt stein</b>	<b>Antakelser</b>
Innkjøp grus	kr 101	kr 101	Gjennomsnitt av priser fra fem grusleverandører (fra internett), basert på 40 cm drenerende masse under steinen (gjennomsnitt av bilvei og ikke-bilvei). Drenerende masse er pukk i ulike fraksjoner mellom 16 og 64 mm.
Innkjøp settesand	kr 23	kr 23	Gjennomsnitt av priser fra tre sandleverandører (fra internett), basert på 5 cm settesand (størrelse 0–8 mm) til underlag og fuging
Transport av grus og sand	kr 121	kr 121	Grus: Gjennomsnitt av estimerte fraktpriser fra tre grusleverandører (snittpris inkludert transport minus snittpris ekskludert transport)  Sand: Gjennomsnitt av estimerte fraktpriser fra to sandleverandører (snittpris inkludert transport minus snittpris ekskludert transport)
<b>Smågatestein</b>			
	<b>Ny stein</b>	<b>Brukt stein</b>	<b>Antakelser</b>
Innkjøp stein	kr 420	kr 1 016	Gjennomsnitt av prisestimer fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Transport av stein	kr 175	kr 175	Stein: Gjennomsnitt av fraktpriser fra to steinbutikker (fra internett), frakt til 0010 Oslo
Legging	kr 975	kr 975	Timepris på 650 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time

Samme kostnader for smågatestein og storgatestein			
Storgatestein			
	Ny stein	Brukt stein	Antakelser
Innkjøp stein	kr 588	kr 1 125	Gjennomsnitt av prisestimer fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Transport av stein	kr 347	kr 451	Stein: Gjennomsnitt av fraktpriser fra to steinbutikker (fra internett), frakt til 0010 Oslo. Antar 30 % høyere fraktpris for brukt storgatestein
Legging	kr 975	kr 1 495	Timepris på 650 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time  For brukt stein antas økt tidsbruk til steinlegging som et gjennomsnitt av dobbel tidsbruk, 50 % mer og 10 % mer tidsbruk

### 5.3.3 Datakvalitet og usikkerhet

I analysene har vi der det har vært mulig brukt priser og kostnader fra de navngitte kildene heller enn resultater fra internettsøk. Det er fordi kildene antas å ha oversikt over markedet som helhet og det generelle kostnadsnivået, noe noen få utvalgte butikker på internett ikke reflekterer i samme grad. For kostnader kildene ikke opplyste om, har vi brukt gjennomsnittspriser fra internettsøk. Se tabell 5.1 for detaljerte kostnader med antakelser og kilder.

Det er utfordrende å få et entydig bilde av kostnadene da erfaringene til de ulike kildene varierer mye. Priser er svært avhengige av hvilke avtaler man kan oppnå med leverandører, og store aktører med store volumer oppnår signifikant lavere priser enn mindre aktører og mindre prosjekter. For å få et så representativt bilde som mulig har vi brukt gjennomsnittet av kostnadsestimatene, og variasjon, både totalt og per kostnadselement, framstilles og diskuteres.

Generelt er det høyere usikkerhet i kostnadsestimatene for brukt stein enn for ny stein. Dette gjelder for alle kostnadsenheter som er ulike for brukt og ny stein. Eksempler på dette er:

- Store variasjoner i pris på brukt stein, særlig i privatmarkedet. Det forventes også en større økning i pris på brukt stein enn på ny stein, på grunn av lite tilgang.
- Hvis stein anskaffes på privatmarkedet, kan transportkostnadene variere mye.
- Hvis den slitte siden skal legges opp, vil leggekostnadene kunne firedobles i forhold til hvis dette ikke er viktig.

Videre er det flere faktorer som bidrar til variasjon i kostnader, og som gjør det vanskelig å definere et generelt eksempel. Flere av disse variasjonene kan være de samme for ny og brukt stein og dermed ikke påvirke sammenlikningen mellom de to, men kun prisnivået. Eksempler på slike variasjoner er:

- Transportkostnader – hvorvidt full kapasitet utnyttes eller ikke. Man betaler per bil og ikke per tonn, så hvis man utnytter kun halve kapasiteten, vil prisen dobles.
- Transportdistanse, som kan påvirke transportkostnadene
  - Leggekostnadene varierer mest basert på hva som skal legges – store flater er raskere å legge, mens kanter, mønstre, vinkler o.l. tar mye lengre tid.
- Størrelse på aktør og prosjekt, da større aktører og mengder oppnår mye lavere priser enn mindre aktører og mengder

Som for kostnader for prøving av ny stein, antas kostnader for prøving av brukt gatestein å inngå i innkjøpsprisen. Det virker imidlertid usannsynlig at slik prøving skjer i utstrakt grad, og dagens pris på brukt gatestein reflekterer sannsynligvis ikke kostnader til prøving.

For å få et inntrykk av størrelsen på denne kostnaden har vi sett på kostnadene relatert til prøving av stein i dette prosjektet (heretter ombruksprøving). I ombruksprøving ble det utført prøving av ca. 20 gatesteiner per 150 m<sup>2</sup> (tilsvarende ca. 13 500 steiner). Kostnaden havner i størrelsesorden 190 kr/m<sup>2</sup>. Ved produksjon av CE-merket gatestein vil det mest sannsynlig gjennomføres prøving langt sjeldnere enn 10 prøver per 13 500 gatesteiner, og prisen for prøving av nye gatesteiner blir lavere fordelt på nye steiner i forhold til prøvingen som er gjennomført ved ombruksprøving. For brukt gatestein må man anta at det må gjøres prøving eller vurdering oftere enn ved prøving av ny gatestein. Dersom det er ganske små partier brukt stein, kan prøvekostnadene bli svært høye per m<sup>2</sup>. For ny stein vil de alltid kunne operere med store partier og dermed kunne redusere antallet stein som prøves per m<sup>2</sup>.

#### **5.4 Scenarier og antakelser**

Systemgrensene er samkjørt for LCA og kostnadsanalysen, men siden det er stor forskjell mellom hva som driver kostnader og hva som driver utslipp, er det ikke nødvendigvis relevant å se på akkurat de samme variasjonene i scenarier. For eksempel vil opprinnelsesland for steinen (for eksempel Kina vs. Finland) med medfølgende forskjell i transportdistanse og eventuelt transportmiddel påvirke utslippene. Denne forskjellen vil ikke komme fram i den økonomiske analysen, siden transportkostnaden fra opprinnelsesland til Norge er innbakt i innkjøpsprisen på steinen, og steinen fra Kina er billigere enn steinen fra Finland.<sup>1</sup>

Hovedscenariet er samkjørt for LCA og kostnadsanalysen: Forskjell mellom ny og brukt gatestein, og forskjell mellom smågatestein og storgatestein. Fra et kostnadsperspektiv ser vi at det er markant forskjell i innkjøpspris på smågatestein og storgatestein. Innkjøp av stein bidrar også til en stor del av den totale kostnaden (mellom 30 og 40 %). I tillegg er det forskjell på tidsbruk ved legging av de to, samt forskjell i transportkostnader.

Det største kostnadselementet er legging av steinen, som står for mellom 40 og 55 % av totalkostnaden, gitt antakelsene om tidsbruk. Dermed vil det være relevant å se på sensitivitet i forhold til tidsbruk for steinlegging.

Som for LCA, er ulike scenarier for kostnadselementer analysert for å få et bilde av variasjonen i resultatene og hva som bidrar mest til denne. Dette har resultert i et minimumsscenario og et maksimumsscenario, i tillegg til baselinescenariet beskrevet i tabell 5.1, se tabell 5.2.

---

<sup>1</sup> Vi har ikke funnet priser på gatestein fra Finland, men priser på stein fra Portugal og Sverige bekrefter dette bildet. Finland brukes som eksempel da miljøresultatene er fra Kina og Finland.



Tabell 5.2. Scenariobeskrivelser.

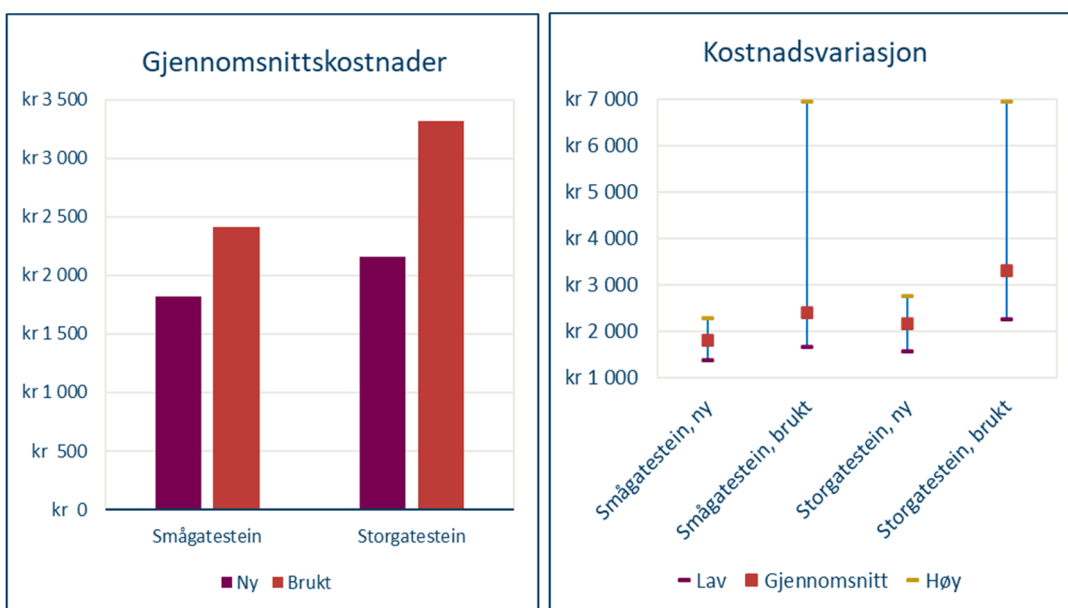
	Best case-scenario (lav)		Worst case-scenario (høy)	
Samme kostnader for smågatestein og storgatestein				
Kostnadselement	Verdi	Antakelse	Verdi	Antakelse
Innkjøp grus	kr 81	Laveste pris fra internettsøk	kr 128	Høyeste pris fra internettsøk
Innkjøp settesand	kr 4	Laveste pris fra internettsøk	kr 48	Høyeste pris fra internettsøk
Transport av grus og sand	kr 63	Laveste estimerte pris fra internettsøk (se tabell 5.1 for detaljer)	kr 189	Høyeste estimerte pris fra internettsøk (se tabell 5.1 for detaljer)
Smågatestein				
Ny stein: Innkjøp	kr 313	Laveste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1	kr 550	Høyeste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Ny stein: Transport	kr 94	Laveste pris fra internettsøk	kr 250	Høyeste pris fra internettsøk
Ny stein: Legging	kr 825	Timepris på 550 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time	kr 1125	Timepris på 750 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time
Brukt stein: Innkjøp	kr 595	Laveste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1	kr 1700	Høyeste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Brukt stein: Transport	kr 94	Laveste pris fra internettsøk	kr 375	Høyeste pris fra internettsøk, pluss 50 % høyere frakt pga. tidsbruk (privatmarkedet)
Brukt stein: Legging	kr 825	Samme som laveste pris på legging av ny stein	kr 4500	Fire ganger høyeste pris på legging av ny stein
Storgatestein				
Ny stein: Innkjøp	kr 313	Laveste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1	kr 850	Høyeste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Ny stein: Transport	kr 278	Laveste pris fra internettsøk	kr 417	Høyeste pris fra internettsøk
Ny stein: Legging	kr 825	Timepris på 550 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time	kr 1125	Timepris på 750 kr, antar at 5 m <sup>2</sup> stein legges per mann, per arbeidsdag på 7,5 time
Brukt stein: Innkjøp	kr 850	Laveste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1	kr 1275	Høyeste prisestimat fra navngitte kilder i kapittel 5.3.1
Brukt stein: Transport	kr 361	Laveste pris fra internettsøk. Kun 10 % høyere frakt pga. vekt	kr 813	Høyeste pris fra internettsøk, pluss 30 % høyere frakt pga. vekt, pluss 50 % høyere frakt pga. tidsbruk (privatmarkedet)
Brukt stein: Legging	kr 908	10 % høyere enn laveste pris på legging av ny stein	kr 4500	Fire ganger høyeste pris på legging av ny stein

## 5.5 Resultater og diskusjon

### 5.5.1 Totalkostnader

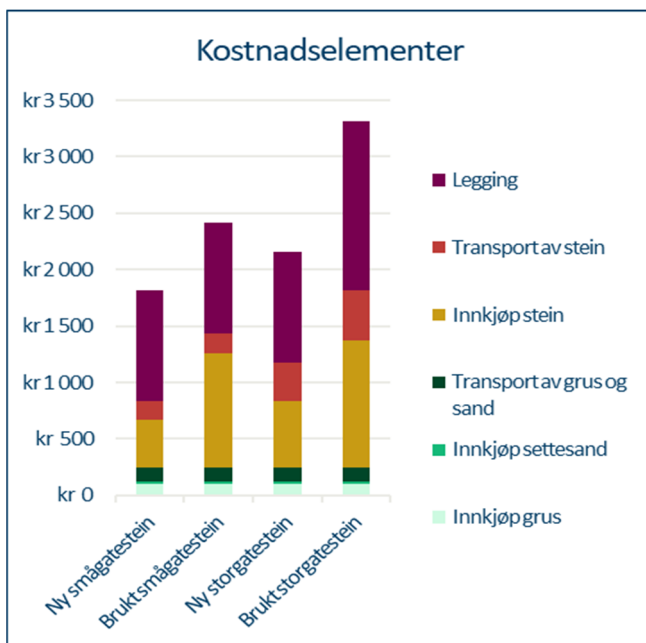
Hovedbildet når det gjelder kostnader er at smågatestein koster mindre enn storgatestein, og ny stein koster mindre enn brukt stein (figur 5.1). Ny smågatestein koster i underkant av 2 000 kr/m<sup>2</sup> ferdig lagt, mens brukt smågatestein ligger på litt under 2 500 kr/m<sup>2</sup>. For storgatestein er det større forskjell på ny og brukt, med en nypris litt over 2 000 kr/m<sup>2</sup>, mens brukt stein koster i underkant av 3 500 kr/m<sup>2</sup>.

Det er også større variasjon i kostnadene for brukt stein enn for ny stein. Mens estimatene for ny gatestein varierer med rundt 1 000 kr/m<sup>2</sup> (smågatestein fra litt under 1 500 kr/m<sup>2</sup> til litt under 2 500 kr/m<sup>2</sup>, storgatestein fra ca. 1 500 kr/m<sup>2</sup> til mellom 2 500 og 3 000 kr/m<sup>2</sup>), varierer estimatene for brukt stein mellom ca. 4 500 kr/m<sup>2</sup> til mer enn 5 000 kr/m<sup>2</sup> (smågatestein fra litt over 1 500 kr/m<sup>2</sup> til ca. 7 000 kr/m<sup>2</sup>, storgatestein fra litt under 2 500 kr/m<sup>2</sup> til ca. 7 000 kr/m<sup>2</sup>).



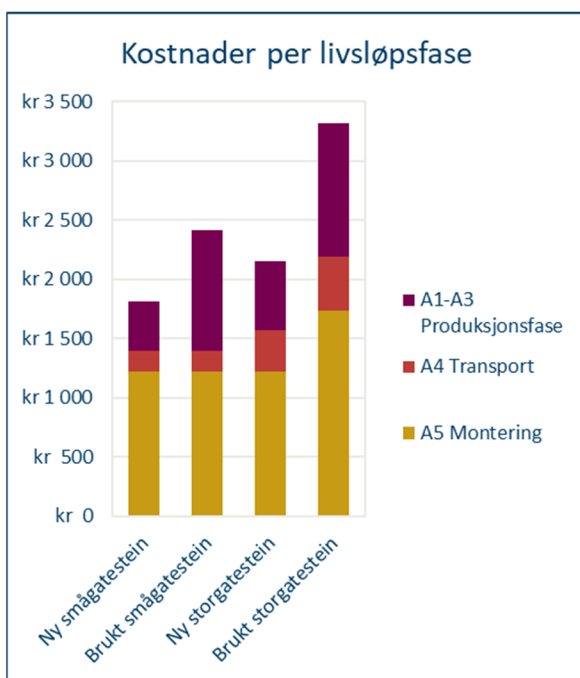
Figur 5.1. Gjennomsnittskostnader for 1 m<sup>2</sup> ny og brukt smågatestein og storgatestein, ferdig lagt til venstre, variasjon i kostnader til høyre

Hvis vi ser nærmere på hvordan kostnadene fordeler seg på de ulike kostnadselementene (figur 5.2), ser vi at det er innkjøp og legging av stein som utgjør de største andelene for alle fire steintyper. Innkjøp av stein utgjør en mindre andel av kostnadene for ny stein (rundt 25 prosent) enn for brukt stein (rundt 30–40 prosent), mens leggingen utgjør mellom 40 og 55 prosent av kostnadene for alle steintyper.



Figur 5.2. Gjennomsnittskostnader for 1 m<sup>2</sup> ny og brukt smågatestein og storgatestein ferdig lagt, brutt ned på kostnadselementer

Alternativt kan vi se på kostnadene fordelt på livsløpsfase (se figur 5.3), der vi ser at monteringsfasen A5 i alle tilfeller bidrar mest til kostnadene, og transportfasen A4 bidrar minst.



Figur 5.3. Gjennomsnittskostnader for 1 m<sup>2</sup> ny og brukt smågatestein og storgatestein ferdig lagt, brutt ned på livsløpsfase

### 5.5.2 Resultater fra scenarioanalyse

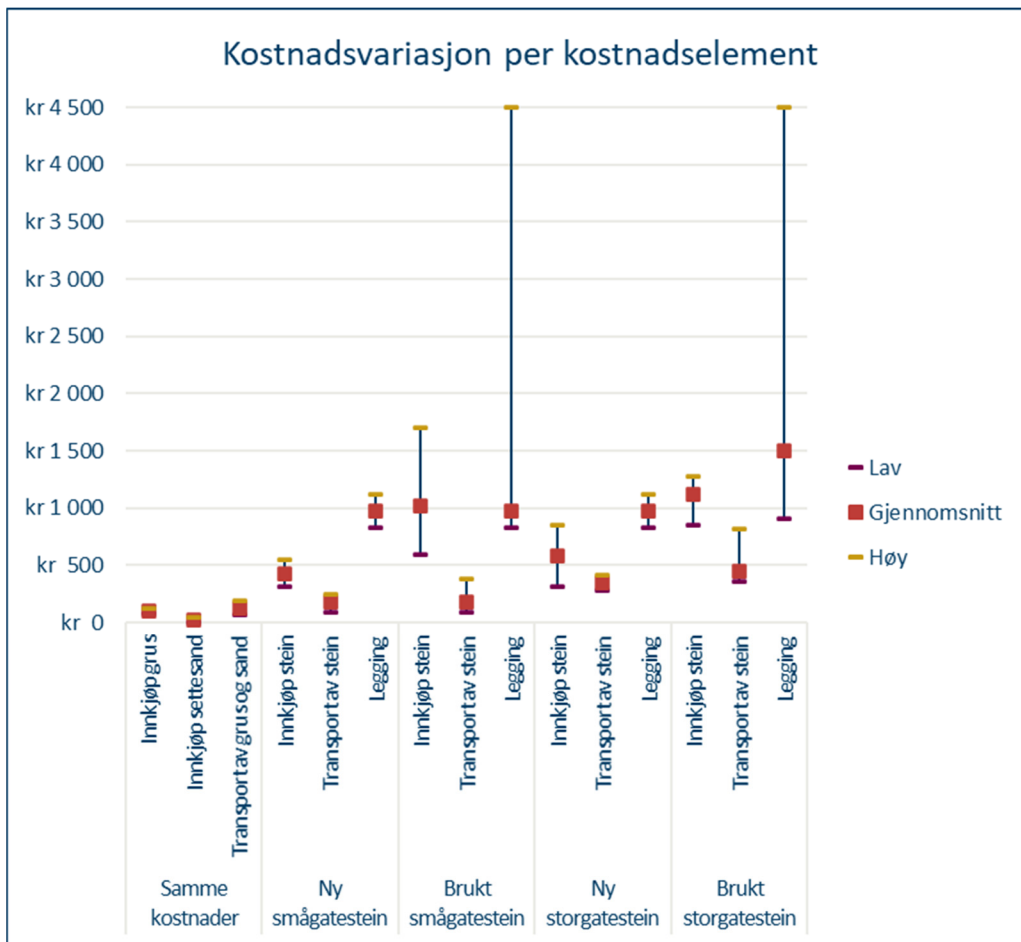
For bedre å forstå på hva som driver variasjon i kostnader, kan vi se på kostnadsvariasjonen for hvert kostnadselement. To scenarioer ble beskrevet i tabell 5.2, et "best case"-scenario (i figur 5.4 referert som *høy*) og et "worst case"-scenario (i figur 5.4 referert som *lav*). I figur 5.4 ser vi hvordan de største variasjonene i kostnader i stor grad er knyttet til de største kostnadselementene.

Den største variasjonen i kostnader, med god margin, er for legging av brukt gatestein. Denne variasjonen stammer fra svært sprikende informasjon fra de ulike kildene – fra ingen ekstra tidsbruk til fire ganger så mye tidsbruk. I gjennomsnittsprisen og det laveste estimatet for smågatestein er det ikke regnet inn ekstra tidsbruk. For storgatestein er tre ulike estimater for økt tidsbruk regnet inn i gjennomsnittsprisen, da flere kilder indikerte økt tidsbruk i hovedsak på grunn av større variasjon i størrelse på brukt storgatestein. I det laveste estimatet for brukt storgatestein er det regnet inn kun 10 % mer tidsbruk. Det som driver den store variasjonen, er estimatet på fire ganger tidsbruken ved legging dersom kunden ønsker at den slitte siden legges opp, som ble lagt inn som antakelse bak den høyeste leggeprisen for brukt stein i begge størrelser.

Det neste kostnadselementet med hensyn til variasjon er innkjøp av brukt smågatestein. Det kommer i all hovedsak av at vi fikk tak i prisestimer for privatmarkedet for smågatestein, men ikke for storgatestein, og det er større variasjon i privatmarkedet. Kilder opplyser at tilgangen på brukt gatestein har blitt dårligere med årene, og de forventer en høyere økning i pris på brukt enn på ny gatestein i framtiden. Usikker tilgang på stein vil også kunne øke variasjonen i pris og kunne bli en begrensning på muligheten for å legge brukt gatestein.

For innkjøp av ny storgatestein ser vi en større variasjon enn for innkjøp av ny smågatestein. Denne variasjonen stammer i all hovedsak fra ett svært lavt prisestimat, der alle andre prisestimer – både fra navngitte kilder og internettsøk – ligger minst 250 kr/m<sup>2</sup> høyere. Imidlertid ga også internettsøk høyere makspriser, og variasjonen for kostnad ved innkjøp av ny stein, både små og stor, ville vært høyere basert på internettsøk.

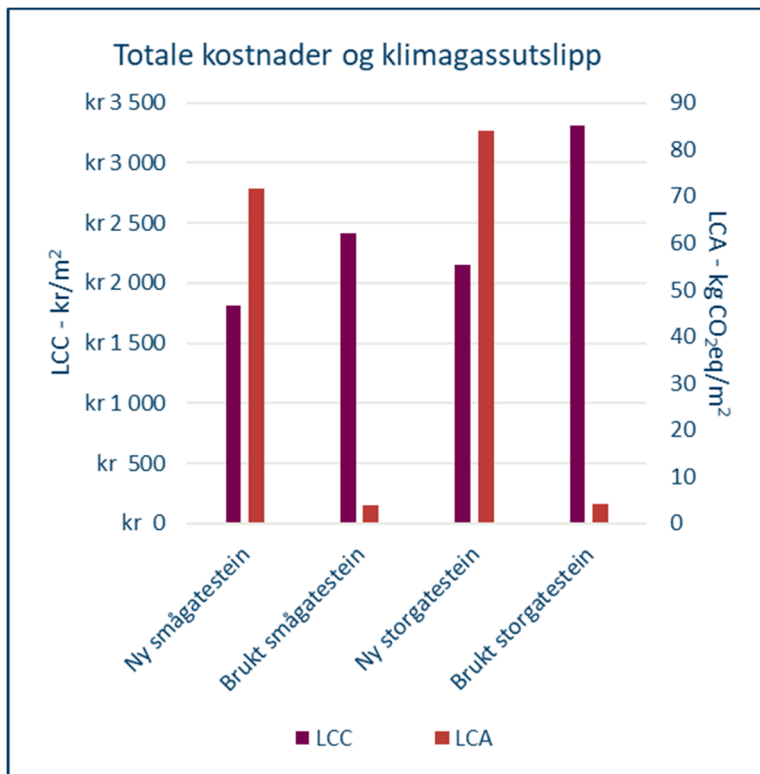
Det er større variasjon i kostnader til transport av brukt stein enn av ny stein. Det kommer av usikkerhet i transportkostnader på privatmarkedet, der transport kan koste rundt 50 % mer dersom steinen for eksempel er lagret dårlig og må leses om, eller det er flere små partier og mer fram og tilbake.



Figur 5.4. Variasjoner i kostnader per kostnadselement for 1 m<sup>2</sup> ny og brukt smågatestein og storgatestein ferdig lagt

## 5.6 Drøfting av funn fra LCA-analysen versus kostnadsanalysen

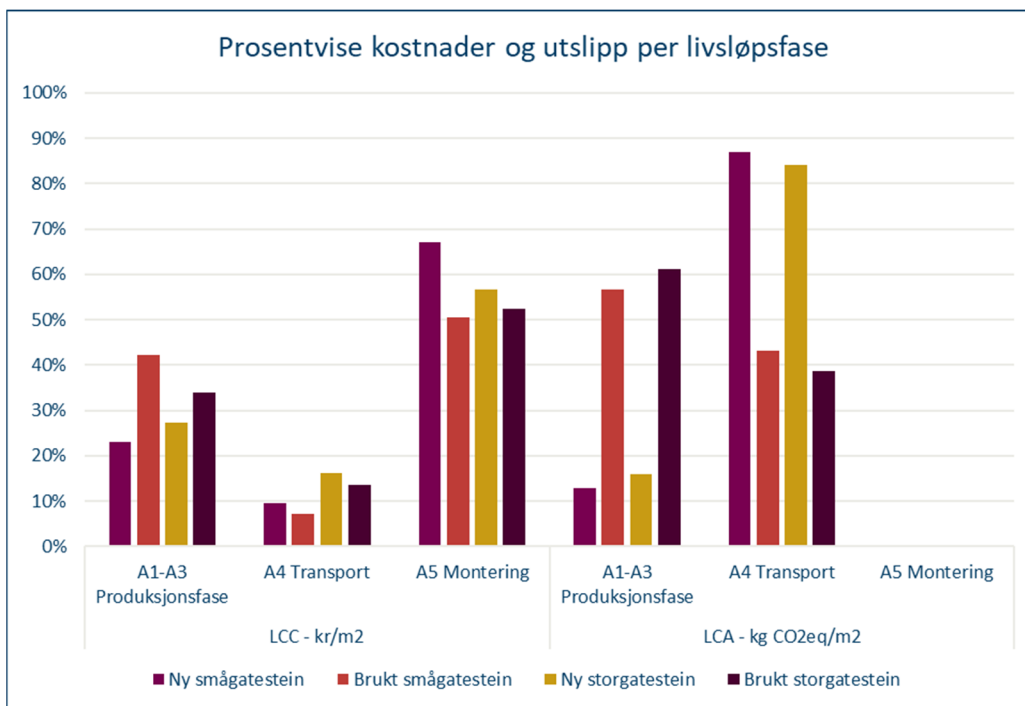
Resultatene fra LCA- og kostnadsanalysene presenteres i figur 5.5 – 5.7 for å gi et overblikk over klimagassutslipp versus kostnader. LCA-resultatene viser betydelig potensial for klimagassreduksjon ved gjenbruk av gatestein sammenliknet med ny gatestein. Kostnadene er imidlertid høyere for gjenbruksstein enn for ny stein.



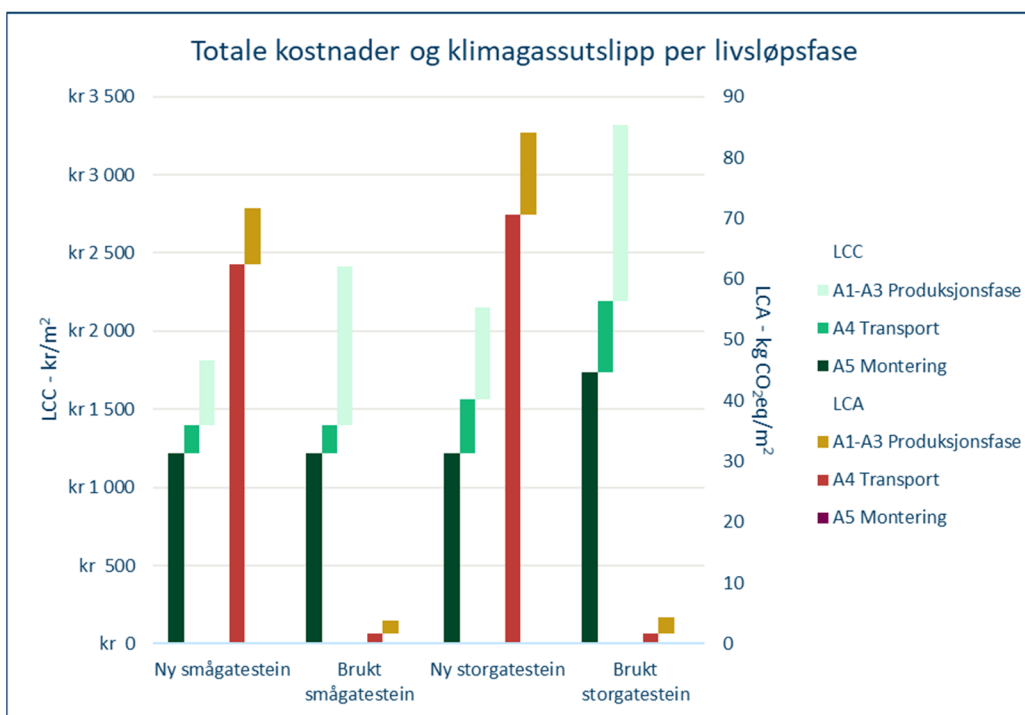
Figur 5.5. Totale kostnader og resultater for klimagassutslipp fra LCA- og kostnadsanalysene

Installasjonsprosessen (A5, 51–67 %) er den mest kostbare prosessen for både ny og brukt gatestein, etterfulgt av produksjonsprosessen (A1–A3, 23–42 %) og transport (A4, 7–16 %). For utslippsresultatene er transport (A4) den viktigste bidragsyteren for ny gatestein (84–87 %), mens produksjonsfasen (A3) er den viktigste bidragsyteren for brukt gatestein (57–61 %).

Installasjonskostnaden bidro 57–67 % til total kostnad for ny stein, og 51–52 % til total kostnad for brukt stein. Dette i motsetning til utslippsresultatene, der utslippene fra installasjon (A5) er null for både ny og brukt stein. Dette er i hovedsak på grunn av antakelsene om at installasjonen er manuelt arbeid, og utslipp forbundet med dette er ikke tatt med i vanlige LCA-utregninger.



Figur 5.6. Prosentvise kostnader og resultater for klimagassutslipp per livsløpsfase



Figur 5.7. Totale kostnader og klimagassutslipp per livsløpsmodul

Bakgrunnsdata og metodologiske valg er hovedfaktorene som påvirker resultatene fra både LCA- og kostnadsanalysene. Kostnadsdata er svært avhengige av hvilke kilder man har. Selv om miljøytelsen for gjenbrukte produkter er bedre enn for nye produkter, hindrer de høyere kostnadene gjenbruk av produkter. I framtiden kan også tilgang på brukt stein bli en utfordring. Resultatene fra en vurdering av gjenbrukspotensial for en gjenvunnet mur i St. Petersburg, Russland, viste lavere miljøavtrykk for gjenbruksmurstein enn for ny, men kostnadene for gjenbruksmurstein var 1,9 ganger høyere enn for ny murstein (Üçer Erduran et al., 2020).

Resultatene fra det norske pilotprosjektet KA13 er et annet eksempel, der kostnaden for gjenbruk av stål og takplater økte kostnadene, mens gjenbruk av vinduer gir kostnadsreduksjon (Entra AS, 2021).

I videre arbeid vil kryssløpsanalyse kunne hjelpe til med å øke omfanget av analysen ved å evaluere verdiskaping og miljøinnsparinger i verdikjeden. Vi foreslår også at det bør gjøres videre arbeid med utvikling av harmoniserte LCA-metoder som tydelig viser fordelene og belastningene fra gjenbruk, undersøkelse av den økonomiske effekten dette har på de finansielle strukturene til selskaper, og utvikle metoder for å vurdere sosiale konsekvenser med passende indikatorer.



## 6 Oppsummering og anbefalinger

### 6.1 Produktdokumentasjon av ombruksbyggevarer

Ombruksbyggevarer må ofte dokumenteres på nytt. Opprinnelig dokumentasjon på byggevarens egenskaper kan være vanskelig å finne. Dessuten vil aldring av byggevaren i bruksfasen og skader ved demontering kunne medføre at byggevarens egenskaper endres. Hvis egenskaper som er relevante for det nye bruksområdet er endret i tiden som har gått siden byggevaren var ny, er hovedregelen at byggevaren skal redokumenteres i henhold til byggevarerforskriften. Hvis byggevarens egenskaper er uendret, trenger man ikke utarbeide ny dokumentasjon, men det forutsetter at opprinnelig dokumentasjon fortsatt er å få tak i og at innholdet i den opprinnelige dokumentasjonen er relevant i forhold til krav i nåtidens byggevarerforskrifter og eventuelle nye bruksområder for byggevaren. I motsatt fall blir det vanskelig å dokumentere at byggevaren bidrar til at byggverket oppfyller kravene i byggteknisk forskrift.

Produktdokumentasjon av nye byggevarer gjøres med utgangspunkt i retningslinjer i form av harmoniserte standarder, europeiske bedømmelsesdokumenter (EAD) eller andre tekniske spesifikasjoner. Retningslinjer for ombruksbyggevarer er mangelfulle. Per i dag fins det retningslinjer for ombruk av konstruksjonsstål og teglstein. Disse retningslinjene er basert på kravene i de respektive harmoniserte produktstandardene, men inneholder også anvisninger som er spesifikke for ombruksbyggevarer. Ombruksspesifikke anvisninger er i hovedsak økt prøvingsomfang og/eller ikke-destruktiv prøving som erstatning for destruktiv prøving.

I dette arbeidet er det gjennomført prøving av ombruksgatestein. Prøvingen er gjort i henhold til den harmoniserte produktstandard, men ettersom man kan forvente en større variasjon i produkttegenskapene til ombruksgatestein enn i ny gatestein, er antallet gatesteiner som inngår i prøvingen økt i forhold til antallet som kreves ved prøving av ny gatestein. Resultatene av prøvingen viser at gatestein egner seg godt til ombruk. Bruksflaten til en ombruksgatestein er mer slitt enn bruksflaten til en ny gatestein, men de negative konsekvensene av dette er vurdert å være små. Trykkfasthet og vannabsorpsjon viste ingen tegn til forringelse sammenliknet med de verdiene man forventer for ny gatestein av samme mineralske sammensetning.

Ved utarbeidelse av retningslinjer for ombruksbyggevarer har vi følgende anbefalinger:

- Retningslinjen bør så langt som mulig baseres på harmoniserte standarder, europeiske bedømmelsesdokumenter (EAD) eller andre tekniske spesifikasjoner for nye byggevarer.
- Antallet prøver som kontrolleres og prøves, må være større enn for den tilsvarende nye byggevarer. Prøveantallet bør fastsettes i henhold til CEN/TR 16886.
- Dersom det er mulig, kan man erstatte destruktiv prøving med ikke-destruktiv prøving, men kun hvis det er dokumentert en pålitelig sammenheng mellom egenskaper som er bestemt ikke-destruktivt og egenskaper som er bestemt destruktivt.

### 6.2 Miljø- og kostnadsanalyse

Ombruk av byggevarer har et stort potensial for å bidra til å nå EUs Green Deal-mål om å redusere utslippene med 55 % innen 2030 og å være karbonnøytral innen 2050. Resultatene fra denne studien demonstrerer et betydelig potensial for å redusere miljøpåvirkningene ved ombruk av gatestein. Kostnadsanalysen viser imidlertid at ombruk av stein er mye mer kostbart enn å bruke ny stein. Høyere materialkostnader (hovedsakelig på grunn av begrenset tilgang til brukstein) og installeringskostnader (på grunn av høye arbeidskraftkostnader og høyere timeforbruk grunnet variasjoner i størrelse) for brukte stein kan begrense ulike aktører fra å bruke materialene. Liknende resultater ble også rapportert fra KA13-prosjektet i forbindelse med ombruk av ståldekker og himlingsplater. I dag er det billigere å kjøpe nye produkter og levere brukte materialer til deponi enn å ombruke eksisterende produkter. Det skyldes hovedsakelig lineære arbeidssystemer, mangel på dokumentasjon, fast etablerte markeder og mangel på kunnskap som gjør det kostbart å ombruke produkter.

Prioritering av materialer basert på deres ombrukspotensial og industrialisering eller oppskalering av ombruksmarkedet vil være til hjelp for å vise fordelene ved ombruk. Prosessen vil også gjøre det mulig å legge til rette for løsninger for nåværende utfordringer knyttet til logistikk, prøving og dokumentasjon. Etablerte digitale markedsplasser kan støtte prioriteringen av mulige ombruksprodukter.

Gjennomføring av helhetlige LCA- og LCC-studier krever gode kilder til bakgrunnsdata. Materialprodusenter og leverandører har brukt LCA til å evaluere sine produkter og kommunisere LCA-resultater i EPD-er. Den økonomiske analysen har også vært brukt til å evaluere lønnsomheten i et selskap. Produsentene og leverandørene er sentrale aktører når det gjelder å øke bruken av ombruksprodukter fordi de har full oversikt over sine produkter. Involvering av produsenter og leverandører kan legge til rette for ombruk av produkter ved å innlemme forskjellige tiltak som returordninger (for gamle produkter) og design for ombruk eller demontering av nye produkter.

Samling av beste praksis vil bidra til å dele kunnskap om tekniske, praktiske, miljømessige og økonomiske aspekter og til å fylle dagens kunnskapshull. Rapporten fra KA13-prosjektet er et godt eksempel, og resultater fra pågående pilotprosjekter kan også være en god kilde til kunnskap og bakgrunnsinformasjon i framtidige studier.

Ved utarbeidelse av LCA og LCC for ombruksbyggevarer har vi følgende anbefalinger:

- Livssyklusanalyse bør brukes som beslutningsstøtte for å vurdere den miljømessige og økonomiske prestasjonen av ombruksprodukter.
- Produsentene og leverandørene må involveres for å øke bruk av ombruksprodukter og for støtte ved å levere data til LCA- (for eksempel gjennom å utvikle EPD-er for ombruksprodukter) og LCC studier.
- Samarbeid og involvering av aktører i verdikjeden vil bidra til å legge til rette for løsninger for nåværende utfordringer knyttet til logistikk, prøving, dokumentasjon og data for LCA- og LCC-studier.
- Det er behov for subsidier og incentiver for å støtte pågående aktiviteter og legge til rette for ombruk av byggevarer i verdikjeden. Lærdommen fra utslippsfrie byggeplasser i Norge er gode eksempler der offentlige aktører bruker anskaffelsesprosesser støttet av incentiver og subsidier for å drive markedet. Etablering av liknende prosedyrer kan være en suksessfaktor for å fremme ombruksprodukter i markedet på kortere tid.

## Referanser

- Alnæs, L., 2018a. Naturstein. Egenskaper, produkter og bruksområder - Byggforskserien. Byggdetaljer 571.105. Oslo: SINTEF Community.
- Alnæs, L., 2018b. Naturstein. Dokumentasjon og kravspesifikasjon for ulike bruksområder - Byggforskserien - Byggdetaljer 571.106. Oslo: SINTEF Community.
- Bianco, I., Blengini, G., 2016. An analytical and flexible approach for the Life Cycle Assessment of stone products. SUM 2016 – 3rd Symposium on Urban Mining and Circular Economy, Bergamo (Italy), 23-25 May 2016.
- Byggeindustrien, 2020. Opprop: Vi vil ha grønne jobber og en sirkulær byggenæring. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/article/1439972/> (Hentet 5.27.21).
- Byggevarereforordningen, 2011. Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC Text with EEA relevance, OJ L.
- Byggteknisk forskrift (TEK17), 2017. Forskrift om tekniske krav til byggverk. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840?q=TEK17> (Hentet 18.5.21).
- De Wolf, C., Hoxha, E. & Fivet, C., 2020. Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. *Sustainable Cities and Society* 61, 102322. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322>
- Direktoratet for byggkvalitet, 2021. Innspillsmøte om veileder for ombruk av byggevarer. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/om-oss/Kalender-DiBK/innspillsmote-om-veileder-for-ombruk-av-byggevarer/> (Hentet 5.27.21).
- Direktoratet for byggkvalitet, 2015. Dokumentasjonskrav til byggevarer som ikke er CE-merket. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggevarer/finn-byggevarer-og-dokumentasjonskrav/krav-til-dokumentasjon/dokumentasjonskrav-til-ikke-ce-merkede-byggevarer/> (Hentet 5.10.21).
- Direktoratet for byggkvalitet, udatert. Skal du bruke gamle byggevarer på nytt?. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggevarer/veileder-for-ombruk-av-byggevarer/> (Hentet 5.25.21).
- DTI, 2021. Project on LCA and socioeconomics Task 2 - Analysis of other countries' approach to building LCA. Taastrup. Danish Technological Institute (DTI).
- Entra AS, 2021. Erfaringsrapport ombruk. Kristian Augusts gate 13. Oslo: Entra AS.
- EOTA, 2020. Re-cycled clay masonry units - nlnorm.cz. EAD 170005-00-0305. Tilgjengelig fra: <https://www.nlnorm.cz/en/ehn/6682> (Hentet 5.10.21).
- EOTA, 2017. GM Re-used bricks. European Technical Assessment ETA-17/0648 of 2018/09/06. EOTA. Tilgjengelig fra: <https://www.eota.eu> (Hentet 5.10.21).
- Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK), 2013. Forskrift om omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk. Lovdata. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2013-12-17-1579> (Hentet 5.18.21).
- Futurebuilt, 2020. FutureBuilt kriterier for sirkulære bygg. V 2.0 – 16.03.20. Oslo: FutureBuilt.
- Gamle Mursten, udatert. Gamle Mursten. Tilgjengelig fra: <http://gamlemursten.dk/> (Hentet 9.29.20).
- Gervaso, H. & Dimova, S., 2018. Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, EUR 29123 EN. Publications Office of the European Union. doi:10.2760/10016, JRC110082.
- Hart, J., Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D.D. & Pomponi, F., 2019. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*, 26th CIRP Conference on Life Cycle Engineering (LCE) Purdue University, West Lafayette, IN, USA May 7-9, 2019 80, p.619–624. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.015>
- Høibye, L., & Sand, H., 2018. Circular Economy in the Nordic Construction Sector. Nordic Council of Ministers. <https://doi.org/10.6027/TN2018-517>

- Husson, W., & Lagerqvist, O., 2018. Återbruk av stålkomponenter. Analys av möjligheter och hinder för en ökad återanvändning idag. *Nyheter om stålbyggnad*, 4, p. 27–29. Tilgjengelig fra: <https://www.sbuf.se/Projektsida?project=ea9e533d-895b-4cc8-8ab3-dc9d8fd92d51> (Hentet 5.19.21).
- Ibu, S., 2019. EPDs to optimise building life cycle assessment. Institut Bauen und Umwelt e.V. Tilgjengelig fra: <https://ibu-epd.com/mit-epds-die-gebaeude-oekobilanz-optimieren/> (Hentet 5.30.21).
- Kjendseth Wiik, M., Selvig, E., Fuglseth, M., Lausset, C., Resch, E., Andresen, I., Brattebø, H., & Hahn, U., 2020. GHG emission requirements and benchmark values for Norwegian buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 588, 1.01–1.05.
- Køster, A., 2017. Genbrug af byggesten. Dokumentation af væsentlige egenskaber. RK G1 2016. Aarhus: Teknologisk Institut. Tilgjengelig fra: <https://www.teknologisk.dk/> (Hentet 5.20.21).
- Kron, M., Bruun, A.G., Plessner, T.S., & Alnæs, L., 2021. Prøving av trykkfasthet og vannabsorpsjon på gatestein av brukt og ny naturstein. Rapport 2021:00375. Oslo: SINTEF Community rapport .
- LITOS, udatert. The stone industry in Norway. All about natural stone.Varieties, industry, design, news. Tilgjengelig fra: <https://www.litosonline.com/en/article/stone-industry-norway> (Hentet 5.28.21).
- Malabi Eberhardt, L.C., van Stijn, A., Nygaard Rasmussen, F., Birkved, M., & Birgisdottir, H., 2020. Development of a Life Cycle Assessment Allocation Approach for Circular Economy in the Built Environment. *Sustainability* 12 (22). <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- Mendoza, J.-M.F., Feced, M., Feijoo, G., Josa, A., Gabarrell, X., & Rieradevall, J., 2014. Life cycle inventory analysis of granite production from cradle to gate. *Int J Life Cycle Assess* 19, p. 153–165. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0637-6>
- Moncaster, A.M., Rasmussen, F.N., Malmqvist, T., Houlihan Wiberg, A., & Birgisdottir, H., 2019. Widening understanding of low embodied impact buildings: Results and recommendations from 80 multi-national quantitative and qualitative case studies. *Journal of Cleaner Production* 235, p. 378–393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.233>
- Mosaferi, M., Dianat, I., Khatibi, M.S., Mansour, S.N., Fahiminia, M., & Hashemi, A.A., 2014. Review of environmental aspects and waste management of stone cutting and fabrication industries. *J Mater Cycles Waste Manag* 16, p. 721–730. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0193-y>
- Norsk Bergindustri & Sveriges Stenindustriförbund, 2013. Steinhåndboka. Naturstein. Utemiljø. Oslo: Norsk Bergindustri. Tilgjengelig fra: <https://www.norskbergindustri.no/siteassets/publikasjoner/utemiljo.pdf>.
- Nußholz, J.L.K., Rasmussen, F.N., Whalen, K., & Plepys, A., 2020. Material reuse in buildings: Implications of a circular business model for sustainable value creation. *Journal of Cleaner Production* 245, 118546. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118546>
- REBUS, 2020. REBUS - Reuse of Building Materials – a User Perspective. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/projectweb/rebus/> (Hentet 5.27.21).
- Röck, M., Saade, M.R.M., Balouktsi, M., Rasmussen, F.N., Birgisdottir, H., Frischknecht, R., Habert, G., Lützkendorf, T., & Passer, A., 2020. Embodied GHG emissions of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Applied Energy* 258, 114107. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114107>
- Schlanbusch, R.D., Fufa, S.M., Häkkinen, T., Vares, S., Birgisdottir, H., & Ylmén, P., 2016. Experiences with LCA in the Nordic Building Industry – Challenges, Needs and Solutions. *Energy Procedia, Sustainable Built Environment Tallinn and Helsinki Conference SBE16* 96, p. 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.106>
- SCI Steel Knowledge, 2019. Protocol for reusing structural steel. Tilgjengelig fra: <https://www.steel-sci.com/assets/downloads/steel-reuse-protocol-v06.pdf>.

- Standard Norge, 2019. NS-EN 15804:2012+A2:2019. Bærekraftige byggverk - Miljødeklarasjoner - Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1105165> (Hentet 6.8.20).
- Standard Norge, 2016. CEN/TR 16886:2016. Guidance on the application of statistical methods for determining the properties of masonry products. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=876852> (Hentet 11.9.20).
- Standard Norge, 2015. NS-EN 771-1:2011+A1:2015. Krav til murprodukter - Del 1: Murprodukter av tegl. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=773929> (Hentet 5.10.21).
- Standard Norge, 2012. NS-EN 1342:2012. Gatestein av naturstein til utendørs belegg - Krav og prøvingsmetoder. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=867408> (Hentet 5.18.21).
- Standard Norge, 2011a. NS-EN 1090-1:2009+A1:2011. Utførelse av stålkonstruksjoner og aluminiumkonstruksjoner - Del 1: Krav til samsvarsvurdering av lastbærende komponenter. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=516207> (Hentet 5.18.21).
- Standard Norge, 2011b. NS-EN 15978:2011. Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøprestasjon - Beregningsmetode. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=600241>. (Hentet 5.18.21)
- Standard Norge, 2008. NS-EN 13755:2008. Prøvingsmetoder for naturstein - Bestemmelse av vannabsorpsjon ved atmosfærisk trykk. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=339320> (Hentet 5.18.21).
- Standard Norge, 2006. NS-EN 1926:2006. Prøvingsmetoder for naturstein - Bestemmelse av trykkfasthet. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=245272> (Hentet 5.18.21).
- Statens vegvesen, 2018. Vegbygging. Normal. Håndbok N200. Oslo: Statens vegvesen. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/\\_attachment/2364236/binary/1269980](https://www.vegvesen.no/_attachment/2364236/binary/1269980).
- Statistics Norway, 2021. Waste from building and construction. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/en/natur-og-miljo/statistikker/avfbygganl/aar/2021-02-25> (Hentet 5.8.21).
- Üçer Erduran, D., Elias-Ozkan, S.T., & Ulybin, A., 2020. Assessing potential environmental impact and construction cost of reclaimed masonry walls. *Int J Life Cycle Assess* 25, p. 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01662-2>
- Widenoja, E., Myhre, K., & Kilvær, L., 2018. Ombruk av stål og tilknyttede byggematerialer. DP118. Oslo: Norsk Stålforbund.

# OMBRUK AV GATESTEIN

## KARTLEGGING, PRØVING, LCA OG KOSTNADS- ANALYSER

Ombruk av materialer betraktes som gunstig for å ta vare på ressurser og øke forsyningen av sekundærmaterialer i norsk bygge- og anleggsnæring. Bakgrunnen er den store materialflyten fra bygging og riving: Den står for 25 % av innenlandsk avfall i Norge, med en avfallsgjenvinningsgrad på bare 46 %. Gjenbruk av byggematerialer kan derfor spille en viktig rolle i å redusere miljøfotavtrykket for bygninger.

Denne rapporten presenterer funnene fra SINTEF-prosjektet Prøving av ombruksbyggevarer (september 2020 – mai 2021). Målet med prosjektet var å oppnå praktisk kunnskap om teknisk, miljømessig og økonomisk ytelse for ombrukte byggevarer. Gatestein ble valgt ut for prøving og vurdering. I tillegg skulle prosjektet gi veiledning til videre utvikling av prøving, dokumentasjon, og miljø og kostnadsanalyse av byggevarer for ombruk.

Arbeidet ble utført i samarbeid med forskningsprosjektet *REBUS – Reuse of BUilding materials from a USer perspective*.