



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2016 30 stp
Institutt for matematiske realfag og teknologi

Bærekraftige aspekter ved ombruk av teglstein

Environmental aspects related to reuse of clay
bricks

Anita Spjøtvold
Sivilingeniør – Byggeteknikk og arkitektur

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på mitt femårige masterstudie innen byggeteknikk og arkitektur. Oppgaven ble utarbeidet våren 2016 ved institutt for matematiske realfag og teknologi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Motivasjonen bak denne oppgaven ligger i en interesse for bærekraftig byggeteknikk og løsninger som minimerer CO₂-avtrykk på jorda. Klodens ressurser blir ikke ivaretatt på en bærekraftig måte i dagens samfunn, som igjen skaper en belastning på samfunnet knyttet til både produksjon og avhending av materialer. Denne hensynsløse materialforbruken eksisterer også i den norske byggebransjen. Ombruk av materialer er derfor et viktig steg i riktig retning for bidra til å hindre ytterligere klimagassutslipp. Oppgaven har vært spennende og utfordrende gjennom hele prosessen, og gitt meg innblikk i problematikken knyttet til ombruk som ofte har falt i skyggen av de grønne idealene.

Jeg ønsker å takke min hovedveileder, professor Tormod Aurlien, for å ha satt meg i kontakt med bransjen, og bidratt med veiledende spørsmål. En stor takk rettes også til min biveileder Tove Narvestad, teknisk sjef ved Wienerberger Norge, for viktige innspill og gode samtaler.

I tillegg ønsker jeg å takke alle som har stilt opp til samtaler og intervjuer, disse har i stor grad bidratt til å lede oppgaven i den retningen den har tatt. Til slutt vil jeg også rette en stor takk til Sofie Jensen som har støttet og motivert meg gjennom prosessen i tillegg til å lese korrektur.

NMBU Ås, mai 2016

Anita Spjøtvold

Sammendrag

Teglsteinens høye økonomiske og miljømessige produksjonskostnader, samt en lang teknisk levetid, gjør den til et ypperlig materiale for ombruk. Avfallet generert fra en revet teglkonstruksjon blir i dag materialgjenvunnet i form av knusing, som er langt fra en optimal avfallshåndtering. Denne oppgaven søker å belyse de miljømessige fordeler, restriksjoner, i hvilken grad dette påvirker byggebransjen og hvordan det kan tilrettelegges for ombruk av teglstein.

Gjennom et CO₂-regnskap kom det frem at import var mindre miljøvennlig enn ombruk innad i Norge. Følgende bør teglstein transporteres minst mulig da dette var en avgjørende faktor for utslippenes størrelse. Likevel blir ikke ombruk av tegl særlig praktisert i den norske byggebransjen. Hovedårsakene til dette er restriksjoner knyttet til regelverk, murmørtel og mangel på kunnskap. Dagens regelverk har blant annet ikke inkorporert et nytt krav om bærekraftig bruk av naturressurser. I tillegg er det problematisk å dokumentere steinens egenskaper og utføre tester i henhold til standarder. En effektiv ombruksprosess forutsetter at teglkonstruksjonen er murt opp med kalkbasert murmørtel. Deretter kan teglsteinen rives selektivt og renses ved bruk av enkle verktøy.

Opprettelse av kunnskapssentre i form av gjenbrukssentraler rundt om i landet vil kunne bistå prosjekterende med materialer og nødvendig kunnskap for å sikre forsvarlig bruk. Andre tiltak for å øke ombruk kan være: kommuner som fremmer ombruk gjennom saksbehandlinger; økt bruk av miljørettede ledelsessystemer og miljøklassifiseringer; og krav til demonteringsveiledning sammen med FDV-dokumentasjonen. Foruten dette må også dagens teglkonstruksjoner designes for tilrettelegging av ombruk i fremtiden slik at teglsteinen oppnår en miljøforsvarlig levetid. Dette vil være en del av et skifte i byggeskikken mot et bærekraftig samfunn.

Nøkkelord: eurokode, ombruk, teglstein, miljøfordeler, CO₂-regnskap

Abstract

The high economical and environmental cost of production of clay bricks, combined with a long technical lifetime, results in a material well suited for reuse. The generated waste from a demolition today is mainly crushed, which is far from the optimal handling of waste. This thesis aims to highlight the environmental advantages, restrictions and how this affects the construction industry and how it can be adapted to accommodate for the reuse of bricks.

Through a CO₂ accounting it was clear that import was not as environmental friendly as the reuse of bricks within the borders of Norway. Following the bricks should be transported as little as possible as it was an essential factor for the amount of emissions. Despite of how well suited the clay bricks are for reuse, its not common practice in the Norwegian building industry. The main causes to this were restrictions related to regulations, mortars and lack of knowledge. Today's regulation has not incorporated a requirement about sustainable utilization of natural resources. It is also problematic to document the brick's properties and performing tests according to the standards. To perform an effective process of reuse the original brick should be constructed with lime-based mortar. This means that the brick construction can be disassembled and cleaned by using simple tools.

Setting up centres of knowledge that handles materials for reuse around the country. These can assist design teams with materials and necessary knowledge to ensure legitimate use of the materials. Other measures to increase the reuse of bricks may also be: local authorities promote reuse through the approval of building applications; increased use of environmental management system and sustainability assessments; and require dismantling guidance together with the O&M manual. Apart from these measures, the clay constructions erected today needs to be designed in a way that facilitates reuse of the bricks in the future. This accommodates an environmentally justifiable lifetime as a part of a new era in the construction industry and may contribute towards a sustainable society.

Keywords: euro code, reuse, clay bricks, environmental advantages, carbon accounting

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
ABSTRACT	III
1 INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Mål med oppgave.....	1
1.3 Problemstilling og oppgaveavgrensninger	2
1.4 Oppgavens struktur og metode	2
1.5 Begrepsforklaringer.....	3
2 TEORI	7
2.1 Teglstein og mørtel	7
2.1.1 Teglstein	7
2.1.2 Mørtel	8
2.1.3 Historie	9
2.2 Hvorfor ombruk av teglstein?	10
2.2.1 Miljømessig krevende	10
2.2.2 Sosiale og kulturelle tilknytninger.....	13
2.2.3 Økonomiske aspekter.....	14
2.2.4 Oppsummering	14
2.3 Ombruk og tilrettelegging.....	15
2.3.1 Generelt om ombruk i praksis.....	15
2.3.2 Materialgjenvinning	17
2.3.3 Oppsøke gamle materialer	17
2.3.4 Selektiv riving	18
2.3.5 Design for gjenbruk	19
2.3.6 Oppsummering	20
2.4 Regelverk og ombruk.....	21
2.4.1 Eurokoder og EU-reglement.....	21
2.4.2 CE-merking og ytelsesdeklarasjon.....	25
2.4.3 Endrede egenskaper ved ombruk	26
2.4.4 Miljøsertifiseringer	27
2.4.5 Oppsummering	27
3 METODE	28
3.1 Litteraturstudie.....	28
3.2 CO ₂ -regnskap.....	29
3.2.1 LCA Calculator	29
3.2.2 Importere tegl fra utlandet.....	29

3.2.3 Ombruk av tegl i Norge	30
3.3 Intervju.....	31
3.3.1 Tematisering.....	31
3.3.2 Planlegging	31
3.3.3 Utført intervju	32
3.3.4 Transkribering.....	32
3.3.5 Analysering	32
4 RESULTATER	33
<hr/>	
4.1 Resultat fra CO ₂ -regnskap	33
4.1.1 Import fra Danmark, Nederland og Belgia.....	33
4.1.2 Ombruk av teglstein i Norge	34
4.2 Resultat fra prosjektintervjuer	35
4.2.1 Gjenbrukshus i Trondheim (2003).....	36
4.2.2 Rehabilitering av Torggata 13, Youngsgate 7 og Youngsgate 9 (2017).....	38
4.2.3 Plusshuset i Larvik (2014)	40
5 DISKUSJON	43
<hr/>	
5.1 Ombruk er mer CO ₂ -effektivt.....	43
5.2 Hvorfor blir ikke ombruk praktisert?	45
5.3 Tilrettelegging for ombruk	47
5.3.1 Gjenbrukssentral	47
5.3.2 Myndigheter og insentiver i bransjen	48
5.3.3 Maksimalt utnyttelse av teglstein.....	49
5.4 Validitet og reliabilitet	50
5.4.1 Litteraturstudie.....	50
5.4.2 CO ₂ -regnskap	50
5.4.3 Kvalitativt intervju.....	51
6 KONKLUSJON	54
7 VIDERE ARBEID	55
8 REFERANSER	56
VEDLEGG A	I
VEDLEGG B	III
<hr/>	

Figurliste

Figur 1-1: Metodene benyttet i denne oppgaven	2
Figur 1-2: De tre aspektene ved bærekraft	4
Figur 2-1: Avfallshierarkiet (basert på Miljødirektoratet 2013)	10
Figur 2-2: Genererte mengder avfall fra byggebransjen 2013 (kilde: SSB).....	11
Figur 2-3: Genererte mengder avfall av tegl m.m. (kilde: SSB)	12
Figur 2-4: Behandling av tegl m.m. (kilde: SSB).....	12
Figur 2-5: Teglstein til høyre er en hardbrent fasadestein og er tydelig mørkere nede i høyre hjørne (Foto: Anita Spjøtvold).....	16
Figur 4-1: Grafisk fremstilling av importtall	33
Figur 4-2: Prosentmessige CO2-utslipp for Danmark, Nederland og Belgia.....	34
Figur 4-3: Transport og utslipp fra ombruksteg og importert tegl.....	35
Figur 4-4: De to byggene i Trondheim, til høyre er Gjenbrukshuset (foto: HSØ Arkitektkontor)	36
Figur 4-5: Uteboden med gjenbrukstegl (foto: Kenneth Urdshals, Stavne Gård)	36
Figur 4-6: Den gamle teglmuren på Trondheim Mekaniske Værksted (foto: Rolf Edvard Petersen, HiST).....	37
Figur 4-7: Manuell rensing på strekkmetallbord (foto: Njål Pettersen, Miljøenheten)	38
Figur 4-8: Håndrensing ved hjelp av hammer (foto: Njål Pettersen, Miljøenheten)	38
Figur 4-9: Oppmuring av bergens hulmur (foto: Anita Spjøtvold).....	39
Figur 4-10: Revet teglstein som skal mures opp igjen (foto: Anita Spjøtvold)	39
Figur 4-11: Sementbasert puss på ene fasaden (foto: Anita Spjøtvold).....	39
Figur 4-12: Sementbasert puss på ene fasaden (foto: Anita Spjøtvold).....	40
Figur 4-13: Plusshuset i Larvik (kilde: http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/)	41
Figur 4-14: Muren fungerte som en termisk masse i bygningen (kilde: http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/)	41
Figur 4-15: Teglkonstruksjonen ble murt opp med murmørtel (kilde: http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/)	42
Figur A - 1: Grafisk fremstilling for CO2-utslipp fra teglverk.....	i

Tabelliste

Tabell 2-1: Standarder som omtaler resirkulert tilslag. (kilde: bks. 572111).....	17
Tabell 2-2: Toleranser for avvik mellom gjennomsnittsdimensjon og deklart dimensjon (kilde: NS-EN 771-1).....	23
Tabell 2-3: Største tillatt spredning på en prøve teglsteiner (kilde: NS-EN 771-1).....	23
Tabell 2-4: Mørtelklasser (kilde NS-EN 998-2:2010).....	24
Tabell 4-1: Importtall fra Wienerberger (kilde: Tove Narvestad).....	33
Tabell 4-2: CO2-utslipp fra importtegl.	34
Tabell A - 1: Miljøpåvirkninger for teglstein fra ulike land, hentet ut fra EPD.....	i
Tabell A - 2: Utslipp fra ulike teglverk og land.	i
Tabell A - 3: Utslipp for ombrukstegl.	ii

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Se for deg en vilkårlig gammel industrialisert teglbygning, den bærer tydelige preg av å være utsatt for norsk klima over mange år. Vær og vind har medført at bygningen er i dårlig stand, og den kan ha mistet sin opprinnelige funksjon og slående arkitektur. Hvilket er mer sikkert er at bygningen bærer på all energien som gikk med til produksjonen, og en historie som er helt særegen for akkurat dette teglbygget.

Slik samfunnet er i dag krever det en kontinuerlig fornyelse av bygningsmassene vi omringer oss med. Særlig utsatt blir ofte de gamle nedslitte teglbygningene, som kan påstås å være en hindring i videre samfunnsutvikling. Når teglbygningen til slutt blir revet og steinen knuses, forsvinner all historie med steinen og energien fra produksjonen slippes ut i atmosfæren igjen. Denne fornyelsen av bygningsmasser er ekstremt krevende. Ikke bare er det kostbart å bygge nytt, men ofte betales den største prisen av vår egen klode. Bygg- og anleggsindustrien genererte opp mot 2,6 millioner tonn avfall i 2013, dette er tjue prosent av alt avfall i Norge (Statistisk Sentralbyrå 2015b). Hele syv prosent av Norges avfall er betong og tegl, og mesteparten av dette må gjennom en energikrevende bearbeidelsesprosess. Klimagassutslipp knyttet til bearbeidning og innkjøp av nye materialer er høye, og har stadig mer å si for et byggs totale energiforbruk ettersom det krever mindre energi i driftsfasen nå, sammenlignet med tidligere. For å oppnå en mer bærekraftig byggevirksomhet bør bearbeidelse av materialer minimeres for å unngå at energien som gikk med i produksjon slippes ut i atmosfæren igjen. Dette kan blant annet oppnås ved å bruke gammel teglstein om igjen.

1.2 Mål med oppgave

Oppgavens omfang og metode har endret seg gjennom arbeidsperioden. Innledningsvis var målet med oppgaven å utføre en analyse for å kartlegge miljøfordelene knyttet til ombruk av teglstein fra eldre bygningsmasse og dagens teglstein i fremtiden. Etter å ha lest litteratur om temaet og innhentet kunnskap fra bransjen, kom det frem noen restriksjoner knyttet til ombruk i form av regelverk og byggeskikk. Selve temaet ombruk av teglstein viste det seg å være utarbeidet en del litteratur på, blant annet en doktorgradsavhandling (Nordby 2009). På bakgrunn av dette har oppgavens formål blitt omdefinert for i større grad å undersøke disse restriksjonene og hvordan ulike prosjekter har valgt å utføre ombruksprosessen. For å kunne fremme mer ombruk av teglstein i den norske byggebransjen vil også prosjekterfaringer i kombinasjon med tilgjengelig litteratur benyttes for å diskutere hvordan rammeverk og byggeskikk kan tilrettelegges for ombruk. I tillegg beholdes målet om å kartlegge miljøfordeler i form av et CO₂-regnskap, hvor hensikten er å kartlegge om import av ny tegl er mer bærekraftig enn ombruk innad i Norge.

Oppgaven vil være nyttig for aktører i byggebransjen som håndterer teglstein og riving, dette omfavner særlig byggingeniører, arkitekter og murmestre. Disse kan styre prosjekter mot å vurdere bruk av gammel tegl, og legge til rette for ombruk i fremtiden.

1.3 Problemstilling og oppgaveavgrensninger

For å besvare oppgavens målsetning har problemstillingen blitt delt i tre:

- a) *Hvorfor bør ombruk av teglstein praktiseres?*
- b) *Hvilke restriksjoner eksisterer i lovverket som kan hindre ombruk?*
- c) *Hvordan kan det legges til rette for økt ombruk?*

Lokal ombruk involverer ikke all problematikken angående krav til dokumentasjon av egenskaper, det er derfor fokusert på ombruk annensteds i denne oppgaven. Dette betyr også at rehabiliteringsprosjekter ikke ilegges like stor tyngde som nybygg i diskusjon og konklusjonen.

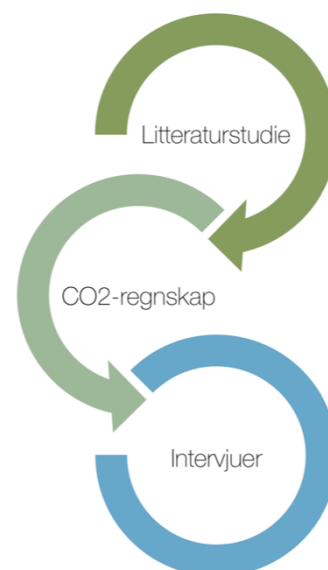
I denne oppgaven er det fokusert på de miljømessige og tekniske aspektene ved ombruk av teglstein. De sosiale og økonomiske sidene av problemstillingen blir nevnt i teoridelen, men vil ikke utdypes ytterligere.

Tilrettelegging vil kun omfatte tiltak som kan iverksettes i Norge. Internasjonalt er det mange ulike tiltak som kan legge til rette for ombruk, særlig gjennom EU og deres standardiseringsordninger. Denne oppgaven vil derimot begrense seg til det norske markedet og byggebransjen.

1.4 Oppgavens struktur og metode

I den innledende teoridelen i kapittel 2, framlegges et litteraturstudie. Her beskrives de relevante materialene, teglstein og mørtel, som senere betraktes i gjeldene regelverk. Etterfølgende presenteres det hvorfor ombruk av teglstein bør bli en større del av byggeskikken, samt kort om hvordan teglavfall behandles i dag. I tillegg er det lagt ved en generell beskrivelse av ombruk av teglstein, samt noen retningslinjer for hvordan planlegging av et bygg kan fremme ombruk i ettertid.

Oppgavens problemstillinger besvares best ved å benytte to ulike metoder i tillegg til litteraturstudie, disse presenteres i kapittel 3. Første metode er å kalkulere et CO₂-regnskap for innkjøp av ny teglstein fra utlandet, opp mot ombruk av teglstein innad i Norge.



Figur 1-1: Metodene benyttet i denne oppgaven

Data for beregningene blir hentet fra Wienerberger, database for beregning av livsløpsregnskap og ulike rapporter. Det ble også benyttet en kvalitativ forskningsmetoden for å få innsikt i hvordan ombruk av teglstein fungerte i praksis i bransjen. Flere bedrifter og personer ble kontaktet for å kartlegge relevante prosjekter og intervjuobjekter. Ved å benytte flere metoder ble det oppnådd en mer kompleks forståelse av temaet, som videre har bidratt til en mer nyansert konklusjon.

I kapittel 4 blir resultatene fra foregående metoder lagt frem. Det er benyttet tabeller og grafer for å gi en lettforståelig sammenligning av CO₂-regnskapet for de ulike scenariene. Deretter vil resultatene fra intervjuene presenteres individuelt.

For å besvare problemstillingen samler diskusjonen i kapittel 5 den innledende teorien og resultatene. De tre problemstillingene behandles individuelt før de blir oppsummert med en konklusjon i kapittel 6. I tillegg diskuteres metodenes reliabilitet og validitet.

Deler av CO₂-regnskapet og intervjuguiden lagt ved som henholdsvis Vedlegg A og Vedlegg B i slutten av oppgaven.

1.5 Begrepsforklaringer

Avfall forstås som kasserte løseobjekter eller stoffer. Som avfall regnes også overflødige løseobjekter og stoffer fra tjenesteyting, produksjon og renseanlegg mv. (Skarpaas 1999).

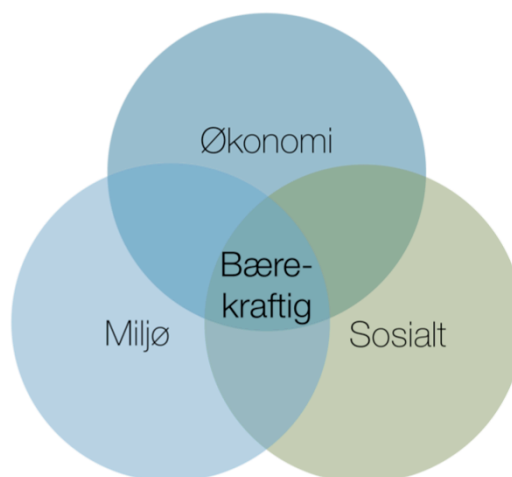
Byggeskikk slik det defineres av Husbanken er en kvalitet ved de bygde omgivelser der hensyn til fysisk og sosialt livsmiljø, energi- og ressursbruk, universell utforming og estetikk inngår i den stedlige helhet. Byggeskikk eller arkitektonisk kvalitet kan karakteriseres ut fra tre typer kvaliteter; teknisk kvalitet (bl.a. miljø og energi), brukskvalitet (bl.a. universell utforming) og estetisk kvalitet. God byggeskikk betyr at gode løsninger er oppnådd ved av disse tre perspektivene.

Bærekraft, eller **bærekraftig utvikling**, er definert og tolket av mange (Lafferty & Langhelle 1995). Ofte siteres Brundtlandsrapporten fra 1987: «Utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov». Fra et ingeniørperspektiv har bærekraft blitt definert som design av menneskelige og industrielle systemer som sørger for at menneskehetens bruk av naturressurser og -sykluser ikke fører til verken redusert livskvalitet på grunn av tap i fremtidige økonomiske muligheter eller uønskede i form av sosiale forhold, menneskers helse og omgivelsene (Mihelcic 2003). En bærekraftig utvikling deles ofte i tre områder; økonomisk; miljø; og sosiale forhold (FN-sambandet 2016).

Det økonomiske aspektet handler om å skape et økonomisk system som ivaretar samfunnets verdier (Franchetti & Apul 2013). FN-sambandet (2016) skriver at økonomisk bærekraft vil bidra til å redusere gapet mellom fattige og rike ved at det praktiseres en jevnere fordeling av verdens ressurser.

Miljøet, ifølge Franchetti og Apul (2013), står for komponenten som setter fokuset på å leve i harmoni med naturen og eliminere alle aspekter som kan skade den. Dette inkluderer blant annet klimaet og klimagassutslippene (FN-sambandet 2016).

De sosiale forholdene omfatter den observerte befolkningsveksten i dagens samfunn som skaper et økt press på naturressursene (FN-sambandet 2016). Sosiale forhold kan også omfatte en rettferdig og fordelaktig forretningspraksis overfor arbeidere, fellesskapet og området hvor forretninger driver sine virksomheter (Franchetti & Apul 2013).



Figur 1-2: De tre aspektene ved bærekraft

Deponering defineres av Rognlien (2002) som endelig plassering av avfall på fyllplass. Dette vil omfatte avfall som av ulike grunner ikke er egnet til ombruk, materialgjenvinning eller energiutnyttelse. I tillegg eksisterer det en del avfall som er forbudt å deponere i Norge, for en fullstendig oversikt se § 9-4 a (Lovdata 1981).

Design for gjenbruk må implementeres allerede i prosjekteringsfasen ved å ta hensyn til at bygningens komponenter skal kunne demonteres og gjenbrukes i fremtiden, såkalte reversible forbindelser (Nordby 2009). Dette betyr at komponentene bør følge standardiserte former og benytte materialer som er enkle å separere. Erfaringer viser at enklere demontering- og gjenbruksprosesser øker sannsynligheten for at gjenbruk blir gjennomført (Thormark 2001). Denne tankegangen er også fordelaktig med hensyn til vedlikehold, utskiftninger og endringer (Rognlien 2002).

I Direktoratet for byggkvalitet (2011a) § 9-5 punkt tre, behandles prosjektering for ombruk spesifikt: «Det skal velges produkter til byggverk som er egnet for ombruk og materialgjenvinning». Videre i veiledningen står det: «Prosjektering for ombruk vil bidra til at en bygning kan demonteres slik at materialer og produkter kan brukes om igjen.» TEK 10 oppfordrer altså til at prosjekter skal designes med tanke på fremtidig gjenbruk.

Drivhusgasser er gasser atmosfæren absorberer og som fører til infrarød stråling (Franchetti & Apul 2013). Denne prosessen er en grunnleggende årsak til de forsterkede drivhuseffektene som øker temperaturen på jordoverflata, primært på grunn av økt konsentrasjon av vanndamp, CO₂, CH₄, N₂O og ozon.

Energiutnyttelse er utnyttelse av energien i avfallet gjennom forbrenning, pyrolyse o.l. (Rognlien 2002). Begrepet må ikke forveksles med forbrenning da det ikke nødvendigvis inkluderer utnyttelse av overskuddsvarmen produsert, men heller kategoriseres på samme linje som deponering i henhold til klimapåvirkning. Miljøverndepartementet (2013) skriver i sin avfallsstrategi at grunnen til at energien fra avfallsforbrenning ikke utnyttes fullt ut, i hovedsak skyldes lavere behov for energi i form av vannbåren varme fra avfallsforbrenningsanleggene i sommerhalvåret sammenlignet med vinterhalvåret.

EPD er en objektiv miljødeklarasjon som oppsummerer miljøprofilen til en komponent, et ferdig produkt eller en tjeneste gjennom hele sin livssyklus (EPD Norge). At et produkt har en utarbeidet EPD (Environmental Product Declaration) betyr ikke at produktet er miljøvennlig, derimot danner det en plattform gjennom standardiserte metoder som gjør det mulig å sammenligne produkter på tvers av regioner eller land.

Gjenbruk er nyttiggjøring av materialer og andre restprodukter ved ombruk eller materialgjenvinning (Rognlien 2002). Dette betyr at gjenbruk er produkter som gjennom varierende mengde bearbeiding resulterer i lignende eller nytt produkt.

Definisjonen fra det Store norske leksikon (2012) har valgt bort samlebegrepet Rognlien benytter og avgrenser definisjonen av gjenbruk til å gjelde kun ombruk. På den andre siden har SINTEF Byggforsk (Wærp 2012) utvidet samlebegrepet for å inkludere energiutnyttelse i tillegg til ombruk og materialgjenvinning. I denne oppgaven vil definisjonen fra Rognlien brukes ettersom denne samsvarer med definisjoner benyttet av bransjens egne teoretikere.

LCA står for *Life Cycle Assessment* (livsløpsanalyse). Dette er et komparativ studie som blir utført for å analysere og vurdere miljøpåvirkninger forårsaket av det aktuelle produktet. Analysen er av formen vugge-til-grav-prinsippet, hvor produktet blir undersøkt fra anskaffelse til råmateriale, gjennom produksjon, bruk, sluttbehandling, gjenvinning og endelig avhending (Norsk Standard).

Materialgjenvinning defineres som utnyttelse av avfall slik at materialet beholdes helt eller delvis. Ved direkte materialgjenvinning brukes avfallet som råstoff til tilsvarende produkter. Ved indirekte materialgjenvinning omdannes avfallet til andre typer produkt (Rognlien 2002).

SINTEF Byggforsk (Wærp 2012) bruker også resirkulering for å beskrive materialgjenvinning, som betyr å bringe inn i et kretsløp igjen. Samtidig omtaler Rognlien (2002) resirkulering som gjenbruk. Det er derfor valgt å unnlate å omtale resirkulering i denne oppgaven, til fordel for bruk av mer spesifikke begreper.

Ombruk defineres av Holthe og Rolstad (2005) og Rognlien (2002) som ny utnyttelse av et produkt i sin opprinnelige form. Dette betyr at det nye produktet, gjennom ingen eller

minimal bearbeiding, har samme funksjon og form som det opprinnelige produktet. Ombruk i et hverdagslig perspektiv vil blant annet innebære å kjøpe brukt eller reparere eiendeler fremfor å kjøpe nytt.

Det skilles mellom to ulike former ombruk: lokal ombruk og ombruk annetsteds. Lokalt ombruk innebærer ombruk av bygningselementer på prosjekttomten. Dette kan være elementer som har oppstått ved oppgradering av gjeldende bygning, eller fra foreliggende rivearbeid. Denne typen ombruk er ofte fordelaktig ettersom det reduserer transport av materialer, og medfører høy sikkerhet angående tilgjengelig mengde materiale til prosjektet. Ombruk annetsteds er derimot bygningskomponenter fra andre tomter og bygninger som fraktes til et nytt prosjekt. Et slikt tiltak kan kreve mer planlegging og transport, og blir derfor ofte brukt til større bygningskomponenter, eksempelvis vinduer, dører og bærende konstruksjoner. (Sørnes et al. 2014).

Selektiv riving defineres av Skarpaas (1999) som en rivemetode der materialer/bygningsdeler demonteres og avfall sorteres med henblikk på størst mulig ombruk og gjenvinning og minst mulig deponering. I praksis er dette ofte gjennomført som en omvendt byggeprosess. For at selektiv riving skal fungere best mulig bør det tas hensyn til fremtidig riving i planleggingsprosessen. Dette kan også inngå som en del av design for gjenbruk.

Å legge til rette for selektiv riving vil også være en fordel for bygninger hvor det ikke er anledning til å rive på ordinær måte. Dette kan oppstå hvis sårbare bygninger eller områder ligger i en slik nærhet av den gjeldende bygningen at en ordinær riving utgjør en fare for omgivelsene. Demonteringsprosessen av aktuelle bygningen forenkles ved hvis det har blitt tilrettelagt for selektiv riving.

2 Teori

For å forstå ombruksprosessen av teglstein må det først knyttes nærmere kjennskap til materialene tegl og mørtel. Det gjøres så rede for hvorfor ombruk av teglstein bør praktiseres på bakgrunn av data fra Statistisk Sentralbyrå (SSB) og målsetninger fra regjeringen. Påfølgende presenteres noen praktiske tilnærminger rundt hvordan selve ombruksprosessen kan utøves og ulike metoder som forenkler ombruk av teglstein. For at ombruk skal kunne praktiseres må prosjekterende forholde seg til relevant regelverk, da spesielt standarder. Alle faser av byggeprosjekter blir påvirket av regelverket, og fokuset i denne oppgaven ligger i hovedsak på de tekniske i prosjekteringsfasen.

2.1 Teglstein og mørtel

De to essensielle materialkomponentene i en murkonstruksjon er teglstein og mørtel som bindes sammen. Kombinert gir materialene ingeniører og arkitekter et hav av muligheter for å tilpasse de små byggeklossene til ulike former og funksjoner. Ved å variere dimensjoner, fargespill og tilsetningsstoffer i teglstein kan man oppnå store variasjoner i uttrykket. I tillegg eksisterer det ulike typer mørtler som sammen med teglsteinen gir murkonstruksjonen sine egenskaper. I dette kapittelet presenteres de to materialene før de settes inn i et historisk perspektiv som forklarer bruken av teglstein i den norske byggeskikken. Det historiske aspektene er viktig for å forstå hvordan dagens gamle tegl kan benyttes om igjen.

2.1.1 Teglstein

Teglstein produseres ved at tørket leire blir brent slik at leirmassen endrer karakter og blir et solid materiale. Steinens egenskaper (farge, overflatetekstur, porestørrelser) er i hovedsak avhengig av tre faktorer: råstoff, forming og brenning.

Forholdet mellom kalk og jern i leiren er avgjørende for fargen, hvor tre ganger så my kalk som jern gir gul tegl. Den norske teglsteinen er ofte rød da det er lite kalk i leiren (Neubert & Forseth 1997). Det er også mulig å frambringe ulike farger ved å tilsette oksider, alene eller i kombinasjon med kalk/dolomitt, i leirmassen før brenning (SINTEF Byggforsk 2010).

Teglstein som uttrykk som ofte forbindes med murstein, men er også brukt som takstein, fliser, klinker, ildfast stein, m.m. (Neubert & Forseth 1997). I denne oppgaven begrenses teglstein til å gjelde murstein av tegl brukt i bygg- og anleggsbransjen, slik at videre vil murstein kun referere til teglstein om ikke annet er oppgitt. Forming av teglsteinen deles opp i tre ulike typer: ekstrudert, bløtstrøken og håndbanket tegl. Den ekstruderte teglsteinen er den mest presise formen, håndbanket har betydelige uregelmessigheter, og bløtstrøken vil ligge et sted mellom disse to (Neubert & Forseth 1997). Vi kan også skille mellom eksempelvis hulltegl og massivtegl, på grunn av ulike produksjonsmetoder er ekstrudert tegl vanligvis hulltegl og bløtstrøken og håndbanket er massive tegl. Moderne murstein er normalt

ekstrudert hulltegl ettersom disse er både billigere å produsere, transportere, og har bedre tekniske egenskaper. Det finnes mange flere varianter av teglstein på markedet, men det vil ikke diskuteres ytterligere her.

Det er først og fremst brenningen av leirmassen som utgjør størsteparten av energibruken ettersom ovnene oppnår 1000-1100° C. Under brenning oppstår teglets karakteristiske farge, fasthet og bestandighet. Hvordan teglmassen blir brent, og ved hvilke temperaturer, bestemmer hvor i et bygg den er egnet i forhold til bestandighet mot vær og vind. En fasadestein vil eksempelvis kreve høyere brenntemperatur enn en bakstein. Det er også krav til at fasadestein har høy frostbestandighet, som i seg selv krever temperaturer fra 1000-1300°C, avhengig av type leire. Ved denne temperaturen vil overflaten i leirmassen begynne å smelte, også kalt sintring, som skaper en brennhinne på overflaten som normalt sett gjør steinen mer frostbestandig (Neubert & Forseth 1997).

2.1.2 Mørtel

Mørtel er en blanding av bindemidler, tilslagsmaterialer og vann, som brukes til muring av teglstein. Egenskapene til mørtelen avhenger av sammensetning av råstoff og blandemetode. I Norge i dag benyttes det hovedsakelig tre typer mørtel: kalkmørtel, sementmørtel og ulike kombinasjoner av disse (Thue 2009). Det er også utviklet moderne systemer som muliggjør tørrmuring, systemer uavhengig av mørtel for å konstruere for eksempel en vegg. Et slikt system kan lettere demonteres og skape teglstein til ombruk. Denne oppgavens omfang begrenses til teglkonstruksjoner murt med mørtel.

Kalkmørtel fremstilles av kalkstein som blir brent og lesket, og videre herdes ved karbonatisering. Det er disse prosessene gir kalkmørtelen sine karakteristiske egenskaper (Waldum & Kjeldsen 2006). Etter herding vil mørtelen ha en viss plastisitet og kan ta opp bevegelser uten å sprekke, samtidig som den er diffusjonsåpen (Neubert & Forseth 1997). Denne type mørtel finnes hovedsakelig i eldre bygninger og ved utbedring av pussede overflater (Thue 2009). Til sammenligning med teglsteinen og andre mørteltyper kan kalkmørtelen anses som en svak mørteltype, som fører til at sprekker i konstruksjonen oppstår i kalkfugene. En av ulempene knyttet til bruk av kalkmørtel er at den er mer ømfintlig på herdetemperaturer og -tid, hvilket betyr at slikt arbeid i størst mulig grad bør foregå under sommerhalvåret. Når mørtelen er svakere enn selve teglsteinen er den også enklere å fjerne fra teglsteinens overflate i ettertid, hvilket gir den høyere gjenbrukbarhet. Dette vil bli drøftet videre i kapittel 2.3.5, design for ombruk.

Hydraulisk kalkmørtel er en type kalkmørtel som fremstilles ved bruk av leireholdig kalkstein, hvilket fører til at herding skjer gjennom hydratisering i tillegg til karbonatisering. Mengden hydraulisk aktive bestanddeler avgjør hvor stor evne mørtelen har til å herde uten tilgang på luft. Denne er sterkere enn den opprinnelige kalkmørtelen samtidig som den har en høy plastisitet som gjør den lett å arbeide med.

Sementmørtel fikk sitt inntog på 1920-tallet, og er en type mørtel som kun herder gjennom hydratisering. Byggebransjen begynte å blande inn små mengder sement i mørtelen, men i perioden fram mot 1955 var fortsatt kalkmørtel dominerende (Nordby 2009). I dag er sementmørtel den dominerende typen mørtel brukt på nybygg på grunn av dens styrkeegenskaper og hurtige herding (Neubert & Forseth 1997). I motsetning til kalkmørtelen

er den ikke særlig plastisk etter herdeprosessen. På grunn av dette innføres ofte kalk som bindemiddel i sementmørtel for å gi en smidigere mørtel å arbeide med (Thue 2009). En slik mørtel kalles i dag KC-mørtel, mørtel bestående av kalk (K) og sement (C). Styrkeegenskapene avhenger blant annet av sementinnholdet, slik at KC35/65 hvor 65 % bindemiddelmengden er sement vil være sterkere enn KC50/50.

Teglsteinen kan behandles etter oppmuring for å endre egenskaper, gjerne i form av slemming. Dagens slemming er ofte en pigmentert puss i ulike farger og kan redusere fuktinntrengingen noe slik at den gir noe bedre beskyttelse mot slagregn (Boysen 1995). Her forutsettes det at slemmingen utføres på adekvat måte med flere påførte lag. Tynne overflatebehandlinger med slemming øker som regel klimapåkjenningen på murverket. Selve slemmingen vil uttørkingshastigheten reduseres noe. Det benyttes gjerne en egen slemmemørtel bestående av en blanding kalk- og sementmørtel, for eksempel KC50/50.

2.1.3 Historie

Bruk av tegl spores tilbake til år 5000 fvt. (Neubert & Forseth 1997). De første områdene som tok i bruk denne byggeskikken hadde naturlig tilgang på leire og brukte solen til å tørke leiren til tegl (også kalt adobe). Denne teknikken er fortsatt brukt i noen afrikanske land (Boysen 1995). På grunn av sin tidkrevende produksjonsprosess og svake mørtler, var ombruk og gjenvinning av teglstein tidligere praktisert i alle kulturer hvor tegl ble benyttet som byggemateriale. Når sementmørtelen etter hvert tok over for kalkmørtelen har disse prinsippene for ombruk og gjenbruk forsvunnet, på denne måten praktiserer den moderne byggeindustrien mindre ombruk av materialer (Nordby 2009). Det eksisterer fremdeles tilfeller hvor prosjekterende foretrekker kalkmørtel fremfor sementmørtel, da særlig på eldre bygninger hvor det opprinnelig har vært brukt kalkmørtel (Thue 2009).

I Norge ble teglstein først tatt i bruk for fullt på 1200-tallet med opprettelser av teglverk på Eidsberg, Tønsberg, Oslo og Trondheim (teglverk.no 2014). Før 1200-tallet var det kun ved spesielle anledninger hvor det eksisterte personer med tilstrekkelig økonomi for import av teglstein. Etter middelalderen og nedgangstider (trolig grunnet svartedauden som kom i 1349) fikk teglproduksjon en opptur mot 1800-tallet. Produksjonen ble flyttet fra byggeplass og gårder til større teglverk i byene. Etter hvert kom et krav om bruk av mur i byene som skapte et stort behov for teglstein, som sammen med industrialiseringen resulterte i en større og mer effektivisert produksjon. Interessen for teglstein avtok så i takt med den økte bruken av lettbetongklinker i etterkrigstiden (Neubert & Forseth 1997). I dag er alle norske nedlagt, sist var Bratsberg teglverk i 2014 (teglverk.no 2014).

Historisk sett har teglstein blitt brukt i massive bærekonstruksjoner. I dag er trenden at teglsteinen brukes som fasadekledning og at andre materialer, slik som betong og stål, utgjør den bærende konstruksjonen. Interiørmessig har også flere fått opp øynene for teglsteinens estetikk, slik at det ofte observeres innervegger delvis eller helt utført i teglstein (Eldegard 29.01.2016). Selv om teglstein brukes mindre som et bærende materiale har bransjen valgt å benytte stadig sterkere mørtler. Dette på tross av at det ikke alltid er nødvendigvis strukturelt sett. Valget av mørtel i Norge har gått i en annen retning en f.eks. den danske byggeskikken, hvor det ofte velges svakere mørtel slik at konstruksjonen blir mer elastisk og kan ta opp større deformasjoner.

2.2 Hvorfor ombruk av teglstein?

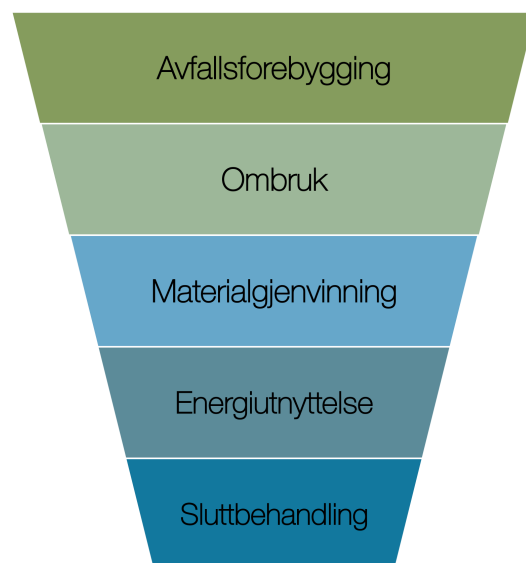
Ifølge Nordby (2009) er byggebransjen preget av kortsiktighet og en stadig økende omløpshastigheten for bygninger og bygningsdeler. Ombruk av bygningsmaterialer blir valgt bort fremfor nye materialer, hvor teglstein sjeldent får en forlenget levetid gjennom ombruk. Dette på tross av at teglstein som byggemateriale egner seg meget godt til ombruk både innendørs og utendørs. Videre vurderes ombruk teglstein opp mot de tre områdene innen bærekraft; miljø, sosialt og økonomi; for å gi et innblikk i hvilke fordeler og ulike insentiver som gir økt ombruk av teglstein.

2.2.1 Miljømessig krevende

Norge produserer enorme mengder avfall. I 2013 ble det produsert hele 11 204 000 tonn (Statistisk Sentralbyrå 2015b), dette tilsvarer vekten på 24 199 eksemplarer av Den internasjonale romstasjonen. En slik avfallsproduksjon skaper et kolossalt press på naturressursene, og dette presset fortsetter å øke i takt med avfallsproduksjonen. Reglement og målsetninger rundt forebygging og behandling av avfall er i dag med på å hindre at mengden avfall øker ytterligere. Gjennom EØS-avtalen må Norge forholde seg til EUs avfallsdirektiv, slik at de nasjonale miljømål befinner seg innenfor rammedirektivet fra EU (Miljøverndepartementet 2013). Norges avfallspolitikk er derfor i tråd med EUs avfallshierarki som fremmer forebygging av avfall, foran ombruk, materialgjenvinning og energiutnyttelse. Myndigheter ønsker i størst mulig grad å unngå deponi, med mindre de kan begrunnes i tekniske, økonomiske eller miljømessige hensyn.

Miljøverndepartementet la i 2013 fram en avfallsstrategi for hvordan Norge skal nå sine nasjonale mål for avfall og gjenvinning. Den Norske avfallspolitikken legger noen sentrale prinsipper til grunn for hvordan dette skal oppnås:

1. **Avfallshierarkiet.** Figur 2-1 gir en prioritert rekkefølge for avfallshåndtering, hvor forebygging er høyeste prioritet. Ombruk, sammen med materialgjenvinning, kan samles under begrepet gjenbruk og gir normalt større miljøfordeler enn energiutnyttelse.
2. **Føre var-prinsippet.** Hvis det eksisterer en vitenskapelig usikkerhet knyttet til risiko for alvorlig (eller irreversibel) skade på helse og miljø, skal ikke denne usikkerheten hindre at nødvendige tiltak iverksettes.

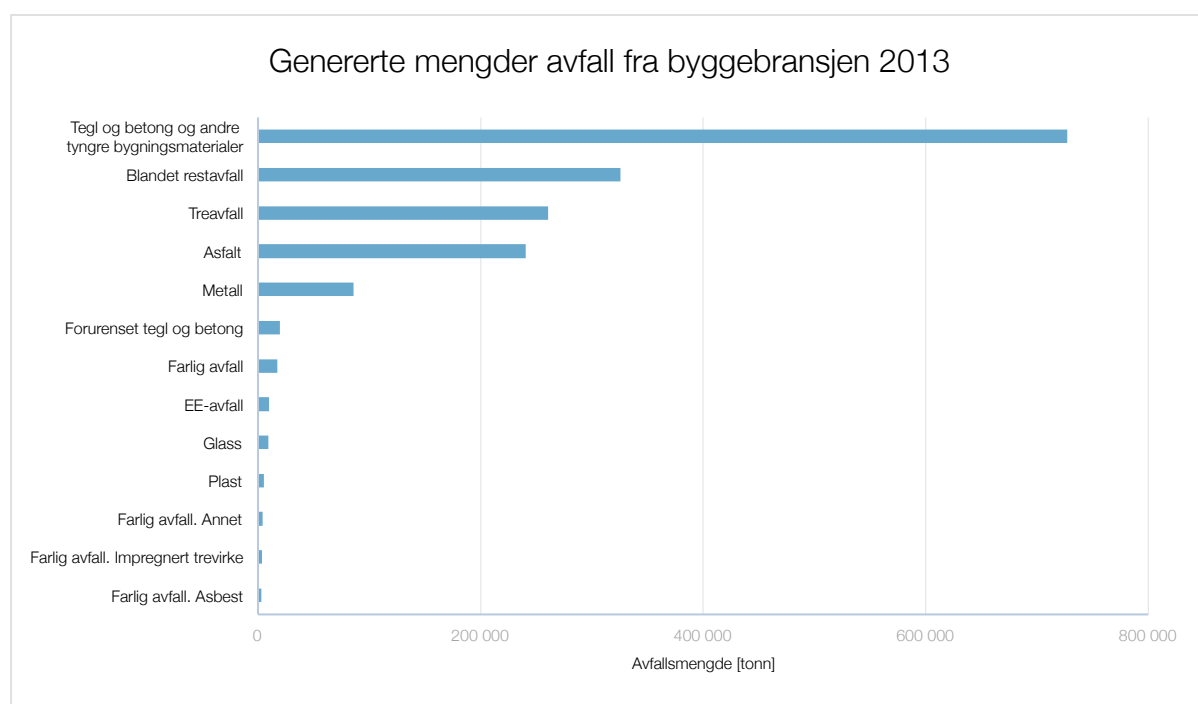


Figur 2-1: Avfallshierarkiet (basert på Miljødirektoratet 2013)

3. **Vugge til grav-prinsippet.** Et produkts totale miljøpåvirkning blir vurdert opp mot dens livssyklus. Dette betyr at miljøpåvirkningen fra utvinning og fremstilling av produktet, så vel som brukstid og sluttbehandling, blir brukt som vurderingsgrunnlag.

Bygge- og anleggsvirksomheten (BA) sto for 20 prosent av alt avfall generert i Norge i 2013 (Statistisk Sentralbyrå 2015b). Dette er den tredje største avfallsposten etter industri og private husholdninger, hvilket har ført til at håndtering av bygg- og anleggsavfall er en av de prioriterte områdene i den norske avfallspolitikken (Miljøverndepartementet 2013). Det må her skilles mellom byggavfall, som er avfall fra riving, rehabilitering og bygging av bygninger; og anleggsavfall som er avfall fra riving, rehabilitering og bygging av anlegg.

Målsetningen fra EU er at 70 prosent av BA-avfallet skal materialgjenvinnes innen 2020, og i 2013 anslo Miljøverndepartementet (2013) at den norske BA-industrien oppnådde en materialgjenvinningsgrad på rundt 50 prosent. I tillegg er det et krav fra Direktoratet for byggkvalitet (2011b) om at 60 prosent av avfallet skal sorteres. For å oppfylle kravene fra Byggteknisk forskrift (TEK) og EUs rammedirektiv, er det ytterligere behov for tiltak og virkemidler for å redusere feilhåndtering av avfall.

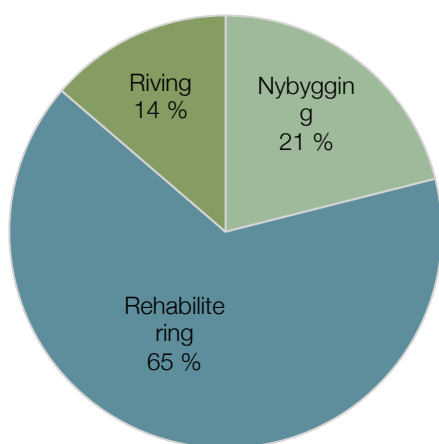


Figur 2-2: Genererte mengder avfall fra byggebransjen 2013 (kilde: SSB)

SSB publiserte i 2015 en statistikk over avfall generert fra byggeaktivitet året 2013 (Statistisk Sentralbyrå 2015a), merk at anleggsavfall ikke inngår i denne statistikken. Figur 2-2 gir en oversikt over de ulike avfallskategoriene med tilhørende genererte mengder i tonn for byggebransjen 2013. Teglstein inngår i kategorien «Tegl og betong og andre tyngre bygningsmaterialer», dette vil for enkelhets skyld refereres til som tegl m.m. videre i oppgaven. Det underligger ikke tilleggsdata på hvilke prosentandeler som er tilknyttet tegl og murstein mer spesifikt, men avfallet fra denne kategorien utgjør 40 prosent av det totale

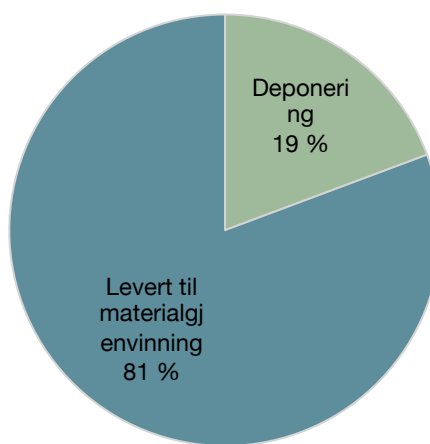
avfallet fra byggeaktivitet året 2013. Over halvparten av avfallet fra tegl m.m. genereres ved rehabiliteringsarbeider (Figur 2-3). Dette skiller seg fra den overordnede totale avfallsmengden i byggebransjen hvor avfall genereres forholdsvis jevnt mellom de tre postene nybygg, rehabilitering og riving.

Genererte mengder avfall av tegl m.m.



Figur 2-3: Genererte mengder avfall av tegl m.m. (kilde: SSB)

Behandling av tegl m.m



Figur 2-4: Behandling av tegl m.m. (kilde: SSB)

Hele 81 prosent av generert avfall av tegl m.m. leveres til materialgjenvinning (Figur 2-4), samtidig som deponi utgjør 19 prosent. Resterende små prosenter (under 0,1 prosent) går til annen behandling/uspesifisert og energiutnyttelse, disse er utelukket i Figur 2-4. Under materialgjenvinning er det ikke spesifisert hvilken type gjenvinning det er snakk om, men det antas hovedsakelig å være snakk om materialgjenvinning i form av knusing. Noe av grunn til at tegl m.m. blir materialgjenvunnet i større grad enn annet byggavfall, er at tegl m.m. er tunge materialer som gir en høy prosentvis materialgjenvinning i prosjekter ettersom dette oppgis i tonn. På grunn av minimumskravet om 60 prosent avfallssortering som skal gjenvinnes eller leveres til mottak (Direktoratet for byggkvalitet 2011b), vil blant annet teglstein være materialer som er mer lønnsomme for aktørene å gjenvinne enn de fleste andre materialkomponenter (Leland 2004).

Energikrevende prosess

Brenning gjør at produksjonen av teglstein er en energikrevende prosess med tilhørende høye CO₂-utslipp. Teglverkene har gjennom historien blitt effektivisert for å redusere energibruken og kostnadene til brenningsprosessen. Dagens skandinaviske teglverk bruker ca. 2 400 kJ pr. kg tegl, hvor 95 % av brenslet er naturgass (Bygg i Tegl). I et studie utført av Nordby (2009) var klimabelastningen fra en ½ steins forblendingsvegg på en isolert trekonstruksjon anslått til nesten 100 kg CO₂-ekvivalenter per m² veggflate. Dette er omtrent fem ganger mer enn belastningen fra en komplett yttervegg i trestenderverk.

Det siste norske teglverket ble, som tidligere nevnt, nedlagt i 2014 da produksjons-effektiviteten ikke var høy nok til at Wienerberger ønsket å fortsette driften på Bratsberg. For å tilby sine norske kunder teglstein, må derfor all stein importeres fra utlandet. Dette medfører at tunge materialer må fraktes over lange distanser. Transporten vil gi økte utslipp av klimagasser, i tillegg til de allerede høye miljøpåvirkningene fra produksjonsprosessen.

Materialers miljøbelastning må kunne forsvares i en tilsvarende lang holdbarhet, en såkalt «miljømessig forsvarlig levetid» (Nordby 2009). Ved å betrakte hele livssyklusen kan teglstein i stor grad forsvares gjennom lave vedlikeholdsbehov og teknisk lang levetid. Det tidligere teglverket Bratsberg opererte med en teknisk levetid på 150 år i sin EPD, som normalt er en lengre levetid enn hos andre fasadematerialer. Gjennom levetiden vil også teglsteinen ta opp CO₂ fra atmosfæren igjen tilsvarende emisjonene knyttet til brenning (Kalk- og Teglværksforeningen et al. 2000), slik at CO₂-regnskapet nærmer seg null. Da dette tar flere hundre år, vil ikke denne effekten vil tas hensyn til i CO₂-regnskapet som presenteres senere i oppgaven.

2.2.2 Sosiale og kulturelle tilknytninger

Grunnen til at arkitekter og privatpersoner ofte ønsker å bruke gammel teglstein, foruten økonomiske og miljømessige årsaker, er steinens rå og rustikke utseende. Den særegne patinaen og steinens form er attraktive egenskaper som flere ønsker å benytte seg av både innendørs og utendørs for å gi et spesifikt estetisk uttrykk. I tillegg kan det gi en personlig tilfredsstillelse å bevare miljøet ved å redusere klimagassutslipp (Franchetti & Apul 2013).

Samfunnsmessig vil ombruk av teglstein bidra til å skape flere arbeidsplasser ettersom ombruksprosessen krever kunnskap innenfor flere fagfelt. Ofte velger privatpersoner å utføre arbeidet selv da teglstein ikke krever avansert verktøy til bearbeidingsprosessen. Bearbeiding av teglstein har også blitt utført i større skala ved Gjenbrukshuset i Trondheim (se 4.2), som blant annet benyttet prosjektet til arbeidstrening. Hvis det i fremtiden legges mer til rette for ombruk av teglstein kan også gamle byggetradisjoner blomstre på ny, spesielt med tanke på den ømfintlige kalkmørtelen som krever annen erfaring enn nyere sementmørtler.

For å kunne trekke større og mer kulturelle linjer kan byer og steder betraktes gjennom flere akkumulert lag av historie, som et resultat av å bestå gjennom ulike tidsepoker og hendelser. Knytt disse lagene sammen og de former byens synlige konstruksjon som en palimpsest (Azimzadeh & Bjur 2007). Uttrykket palimpsest beskriver i utgangspunktet et papir som har blitt vasket og brukt om igjen hvor spor av den gamle teksten fortsatt er synlig, men har også blitt brukt til beskrive denne lagvise historien til byer og steder. Ifølge Azimzadeh og Bjur (2007) fås en mer komplett forståelse av omgivelsene ved å skifte fokuset fra å kun gjelde de fysiske egenskapene (f.eks. utseende) til å også inkludere immaterielle egenskaper (historiske verdier). Disse u håndterlige egenskapene underbygger hvordan omgivelsene påvirker menneskene og deres historiske og kulturelle verdier, som ofte er avgjørende i vurderingen om en konstruksjon skal rives. Byer er i konstant forandring, slik at flere lag kontinuerlig akkumuleres og forbindelser altereres. Ombruk åpner opp for at de immaterielle egenskapene i de ulike konstruksjonene består i kulturlandskapet samtidig som relasjonene mellom de historiske lagene skifter. Disse endringene som oppstår gir mennesker en følelse av eierskap, og kan forhøye og styrke dets kulturelle verdisyn på det aktuelle området.

2.2.3 Økonomiske aspekter

Tidligere har bruk av ombruksmaterialer i byggeprosjekter blitt ansett som kostbare, ofte kombinert med store usikkerheter knyttet til materialkvaliteten. I utgangspunktet er teglstein et kostbart byggemateriale ettersom pris pr. kvadratmeter er høyere i forhold til andre materialer. Denne ekstrakostnaden under prosjekteringsfasen kan ofte utlignes under driftsfasen, blant annet gjennom teglsteinens lave vedlikeholdsbehov og høye varmeisoleringssevne.

Teglstein er i prinsippet små individuelle byggeklosser som settes sammen i et system og danner en konstruksjonsdel, for eksempel en vegg. Å ta denne konstruksjonen fra hverandre innebærer å reversere metoden benyttet for å konstruere den, også kalt selektiv riving. Denne metoden å rive teglkonstruksjoner på bli nærmere beskrevet i kapittel 2.3.4, for nå holder det å betrakte metoden som tidkrevende. Etter rivningsprosessen må teglsteinen gjennom relativt lite bearbeiding (forutsatt at den er oppført med en svak mørtel), men arbeidet er ofte monotont og tar tid. Med sortering inkludert, krever teglsteinen mange arbeidstimer før den kan benyttes om igjen. Uttrykket tid er penger er høyst aktuelt i denne sammenhengen. Dette kan føre til at gammel teglstein ikke er lavere priset enn ny teglstein, som ofte kommer som en overraskelse på potensielle kjøpere.

Fokuset på bærekraftig arkitektur har økt de siste årene, og stadig flere bedrifter skor seg med uttrykk som grønt, miljøvennlig og bærekraftig. Dette kan ofte skyldes at en langsiktig satsning på bærekraftige løsninger har vist seg å øke omsetningen ved å tiltrekke seg miljøbevisste kunder (Franchetti & Apul 2013). Studier (Norwegian green building council) har også vist at ved å benytte miljøklassifiseringen BREEAM følger det flere økonomiske fordeler. En satsning på bærekraftige bygninger vil også kunne tiltrekke seg arbeidstakere fra nyere generasjoner, som i større grad viser interesse for bedrifter som lykkes økonomisk, samtidig som de ivaretar et miljømessig samfunnsansvar. På denne måten vil bedriften ansette personer med felles verdigrunnlag, gjerne meget dyktige på sitt felt, for å bidra til å drive innovasjon innen bærekraftige løsninger. Dette vil igjen gjøre bedriften mer attraktiv innen byggebransjen (Franchetti & Apul 2013). Den stigende interessen i bærekraftige løsninger gir grunn til å tro at flere bygninger prosjekteres med hensyn til videre generasjoner, blant annet gjennom ombruk av teglstein.

Det er ikke nødvendigvis noen økonomisk vinning å drive med ombruk innenfor dagens økonomiske og juridiske rammeverk (Nordby 2009), på tross av dette lykkes flere bedrifter i å øke den totale omsetningen ved hjelp av bærekraftige miljømål. Rammeverket er stadig i endring, forhåpentligvis vil det i fremtiden være bedre tilrettelagt for bærekraftige prinsipper. Slike endringen kan bidra til at flere bedrifter lykkes økonomisk. Nordby (2009) nevner blant annet at økte avgifter på avfallsdeponering og en skjerpet kontroll av avfallsstrømmene vil gi økte insentiver til å hindre at avfall oppstår.

2.2.4 Oppsummering

Det er tydelige miljømessige fordeler ved ombruk av teglstein: kraftig reduksjon i klimagassutslipp fra produksjonsprosessen og reduserte transportavstander for importert teglstein. Fra regjeringens side er det et klart ønske om å redusere miljøpåvirkninger, hvor

bygg- og anleggsavfall er en av flere satsningsområder satt i verk for å takle de stadig voksende avfallsmengdene. Avfallshierarkiet er et sentralt prinsipp fra den norske avfallspolitikken som beskriver hvordan avfall håndteres best mulig, hvor ombruk prioriteres til fordel for en mer energikrevende materialgjenvinning. Selv om ombruk av teglstein krever mindre bearbeiding enn materialgjenvinningen kan det bidra til å skape mange arbeidsplasser da ombruk foreløpig er manuelt arbeid. I tillegg gis en gammel teglstein merverdi i form av akkumulert historie og bidrar til et økt eierskap og en potensiell personlig tilfredsstillelse. Byggenæringen ser også denne verdien og er en del av en større trend for flere miljørettede prosjekter, med en bakgrunn i at dette er økonomisk levedyktig.

2.3 Ombruk og tilrettelegging

Ifølge Sørnes et al. (2014) handler tilrettelegging for ombruk om å gjøre endringer i byggebransjens verdikjede. Både små og store endringer i alt fra byggevareproduksjon, krav i byggeforskrift til avhendingsbetingelser eller demontering/riving kan gi ulike aktører de nødvendige insentivene for å bruke materialer eller komponenter på nytt. Teglstein har i dag en lav ombruksprosent, det er derfor et stort potensiale i å optimalisere en tilretteleggingspraksis for å øke det prosentmessige ombruk av tegl.

2.3.1 Generelt om ombruk i praksis

Ombruk, slik det har blitt definert tidligere, handler om å beholde funksjonen og formen til teglsteinen med ingen eller minimal bearbeiding. Teglstein er oftest brukt som en del av (eller hele) veggkonstruksjoner, og ifølge definisjonen vil også teglsteinen etter ombruk ha lik funksjon. For å benytte en litt mer åpen tolkning av ombruksbegrepet er det mulig å oppdage at teglstein kan benyttes ulikt fra sin opprinnelige funksjon. Fokuset flyttes over til minimal bearbeiding, og på denne måten skapes en overlapping mellom ombruk og materialgjenvinning. Følgende vil det være mulig å forsøke seg på små endringer i teglsteinens format og funksjon, og fortsatt kunne betegne prosessen som ombruk. Dette kan blant annet inkludere å benytte steinen til ulike dekorative innslag både innendørs og utendørs, eller å regulere størrelsen på steinen for å legge på gulv eller som en tynnere dekorasjonsvegg.

Det må på forhånd kartlegges om teglkonstruksjonen er aktuell for ombruk, som også er et krav i TEK § 9-7. Teglstein som inneholder miljøgifter vil ikke egne seg for ombruk, men om konsentrasjonen av miljøgiften er tilstrekkelig lav kan steinen fortsatt materialgjenvinnes. Slike tiltak hindrer unødig spredning av stoffer som naturen bruker lang tid på å bryte ned (Miljøstatus 2015). Fra ca. 1940 til 1980 var PCB hyppig tilsatt i elastiske fuger, og teglstein som har vært i kontakt med den aktuelle fugen vil påvirkes. Konsentrasjonen av PCB i mørtelen bestemmes ved prøvetaking, før en handlingsplan for det potensielle avfallet utarbeides.

I utgangspunktet anbefales det å benytte selektiv riving før teglsteinen benyttes om igjen, dette for å bevare steinen best mulig. Teglsteinen må deretter gjennom en sorterings- og renseprosess hvor uønskede materialer slik som treverk, plast og armering fjernes. Utsortert materiale blir materialgjenvunnet så langt det er mulig. Det må i tillegg skilles mellom frostsikker fasadetegl og bakstein. Sortering av teglstein bør foregå av egnet personell med erfaring innen håndtering av gammel teglstein. Det er i hovedsak to metoder som enkelt kan benyttes for å skille ut hardbrent tegl fra resten: visuell inspeksjon og klangtest. Visuelt vil hardbrent tegl ha en mørkere fargenyanse enn tegl brennt på lavere temperaturer (se Figur 2-5), et trent øye vil kunne oppdage denne nyansen selv når steinen ikke er fullstendig rensset. En klangtest utføres ved å slå to teglstein mot hverandre, den hardbrente teglsteinen vil ha en ringende klang, mens en teglstein brennt ved lavere temperaturer ikke vil oppnå noen klang. Rensing kan utføres både før eller etter sortering og vil inntil videre være manuelt arbeid i Norge.



Figur 2-5: Teglstein til høyre er en hardbrent fasadestein og er tydelig mørkere nede i høyre hjørne (Foto: Anita Spjøtvold)

Når teglsteinen skal mures opp igjen anbefales det å benytte en svakere mørtel som legger til rette for senere ombruk, uten at det går på bekostning av konstruksjonssikkerheten. Det er også viktig at teglsteinen viser egnethet innen det gitte bruksområdet, det er f.eks. store forskjeller på teglstein som egner seg til fasader og innervegger. Å avgjøre egnetheten utføres ofte skjønnsmessig. Ifølge krav til byggeprodukter må det også foreligge nødvendig dokumentasjon, dette vil bli undersøkt nærmere i 2.4 som omhandler regelverk og ombruk. Hvis det benyttes teglstein fra flere ulike perioder i samme prosjekt, er det også viktig å være oppmerksom på at steinens størrelse kan variere noe. Det regjeres et generalisert standardformat for stein produsert etter 1840, slik at eventuelle ujevnheter i størrelser kan kompenseres for ved bruk av mørtel. Uttrykket til teglkonstruksjonen vil kunne oppleves som mer randomisert og i noen tilfeller være ønskelig blant arkitekter og designere.

Ombruk av teglstein foregår i hovedsak på det private markedet og ikke blant store kommersielle bedrifter, foruten rehabiliteringsprosjekter. Noe av årsaken bak dette er mangel på å få tak i store nok kvanta i tillegg til at det i større grad kreves mye dokumentasjon av

prosessen og materialer. Om noe skulle gå galt vil også følgene ofte være mer alvorlige og kan resultere i blant annet søksmål og sverting av bedrifters omdømme.

2.3.2 Materialgjenvinning

Direkte ombruk av teglstein er ikke alltid mulig, ofte fordi det ikke er økonomisk og tidsmessig forsvarlig å rense og transportere gammel tegl. Størsteparten av teglsteinen, som betongen, blir derfor materialgjenvunnet i form av knusing (Nordby 2009). I avfallshierarkiet ligger materialgjenvinning under ombruk, og er et miljømessig dårligere alternativ. Bakgrunnen for dette er at i gjenvinningsprosessen er energi nødvendig for knusing, samtidig som sluttproduktet har lavere bruksverdi enn den opprinnelige teglstein, omtalt som *downcycling* på engelsk (Nordby 2009). Den knuste teglsteinen blir normalt brukt som fyllmasse til vei og anlegg, eller som tilslag i betong. Kvaliteten på steinen og mengde fremmedprodukter i det gjenvunne materialet avgjør hva sluttproduktet kan benyttes til. Byggforskserien (Engelsen 2015) har publisert en anvisning for bruk av resirkulert tilslag av tegl og betong, hvor det gis en oversikt over hvilke standarder som behandler resirkulert tilslag, samt bruksområder. Tabellen er gjengitt nedenfor.

Tabell 2-1: Standarder som omtaler resirkulert tilslag. (kilde: bks. 572111)

BRUKSOMRÅDE	STANDARD
Veibygging (grovt, resirkulert tilslag)	NS-EN 13242
Betongproduksjon (grovt, resirkulert tilslag)	NS-EN 206, NS-EN 12620
Lett tilslag i betong, mørtel, injiseringsmasse, bituminøse masser og overflatebehandlinger	NS-EN 13055-1, NS-EN 13055-2
Mørtel	NS-EN 13139
Jernbaneballast	NS-EN 13450

En av fordelene ved knusing av teglstein er at det erstatter grus som veimateriale. Dette betyr at de miljøpåvirkningene som ville oppstått under utvinning og transport av grus til det aktuelle prosjektet unngås. (Møller et al. 2013).

2.3.3 Oppsøke gamle materialer

En essensiell del av ombruk er å skaffe tilstrekkelig med gammel teglstein for å konstruere den aktuelle bygningen. Det eksisterer flere kanaler hvor det er mulig å fremskaffe gammel teglstein, men et fåtall av disse har store utvalg eller spesialkompetanse innen gjenbruksvarer.

Flere nettsider fungerer som mellomledd for salg av gamle teglstein. Eksempler på dette er FINN.no, en av Norges største markeds plasser, som åpner opp for kjøp og salg mellom privatpersoner eller bedrifter. Ved å benytte FINN.no sin søkefunksjon resulterte et raskt søk på teglstein den 08.04.2016 i 69 treff. Treffene bestod av en blanding av murstein og takstein med en god spredning over hele landet. En lignende tjeneste tilbys på gamletrehus.no, men antall annonser er her begrenset og hadde i skrivende stund ingen for murstein av tegl.

En annen mulighet for å skaffe seg gammel teglstein er å finne prosjekter i nærområdet før de rives, og på denne måten kartlegge om ulike teglkonstruksjoner egner seg til selektiv riving og ombruk før selve rivingsprosessen. Med mindre det er gitt spesiell dispensasjon skal alle riveprosjekter søke om rivingstillatelse fra kommunen, denne informasjonen blir senere gjort tilgjengelig for allmennheten og kan oppdrives ved å benytte søkefunksjonen på offentlig elektronisk postjournal (OEP) gjennom deres nettsider www.oep.no. OEP er en felles publiseringstjeneste for statlige virksomheters postjournaler, og har som mål å gjøre offentlig forvaltning mer åpen og lettere tilgjengelig for brukere. Dette gjør det betraktelig enklere for brukere med gjenbruksinteresser å tidligere få en oversikt over tilgjengelige materialer.

Teglstein fra den danske bedriften Gamle Mursten er tilgjengelig gjennom den norske forhandleren Bygg Smartere AS på deres nettsider <http://www.byggsmartere.no/tilby-produkter/gamle-murstein/>.

2.3.4 Selektiv riving

Rivemetode og resulterende gjenvinningsgrad avhenger av hvilken type mørtel som er benyttet til oppmuring av teglkonstruksjonen i tillegg til den generelle tilstanden til teglsteinen. Selektiv riving er en metode som egner seg til teglkonstruksjoner der det er planlagt ombruk av teglsteinen, hvor effektiviteten til metoden avhenger av mørteltype.

For å unngå unødige skader på teglsteinen bør slike konstruksjoner demonteres for hånd, en stein av gangen. På denne måten bevares teglsteinen best mulig i tillegg til å forenkle sorteringsprosessen som ville oppstått senere. Å rense teglsteinen fri for mørtel samtidig som steinens opprinnelige dimensjoner beholdes, kan være problematisk i sammenheng ved bruk av sementmørtel. Dette kan løses ved å trimme steinen til mål med verktøy på byggeplass eller av aktuell teglforhandler. Det er også mulig å smelte bort sementrestene ved å sende stein med mørtel gjennom en brenningsovn med temperaturer over 673 grader. Ved denne temperaturen smelter sementen og etterlater teglsteinen fri for mørtel. Sistnevnte her kan betegnes å være en meget energikrevende prosess, i tillegg til transport av teglstein til nærmeste brenningsovn.

Sementmørtelen som brukes i dag er vanligvis sterkere enn selve teglsteinen som fører til at steinen ødelegges før mørtelen ved riving (Nordby 2009). Å rive slike konstruksjoner for ombruk er derfor en meget krevende prosess, og er grunnen til at teglstein i dag i all hovedsak gjenbrukes som fyllmasse. Det er mulig å foreta en selektiv riving av teglvegger murt med sementmørtel om det benyttes mekaniske verktøy, f.eks. en diamantsag for å demontere veggene i fugene (Sørnes et al. 2014).

Kalkmørtel er svakere enn teglsteinen som fører til at teglkonstruksjoner utført med kalkmørtel (eller annen mørtel med tilsvarende styrkeegenskaper) enklere kan rives med tanke på ombruk. Disse må på lik linje med teglstein murt med sementmørtel, renses og sorteres, men prosessen er derimot mindre energi- og tidskrevende, og har vært praktisert i flere prosjekter. Rensing av teglsteinen krever ikke spesialverktøy eller brenningsovner, men kan utføres for hånd på byggeplass. Bedriften Gamle Mursten (www.gamlemursten.dk) har blant annet patentert en maskin som rister kalkmørtelen av teglsteinen. Murstein fra hele Danmark bli sendt til deres anlegg på Svendborg for å sorteres og renses. Det eksisterer ikke tilsvarende renseanlegg i Norge per dags dato, og rensing forblir manuelt arbeid.

2.3.5 Design for gjenbruk

En bygning står sjeldent en hel levetid uten at det utføres noen bygningsmessige endringer for å akkompagnere nye funksjoner og opprettholde bygningsfysiske krav. For å best mulig legge til rette for å imøtekomme de ulike endringene bør prosjekteringen av bygningen gi en høy grad av generalitet, fleksibilitet og elastisitet (Nordby 2009). I doktoravhandlingen «Salvageability of building materials» (Nordby 2009) foreslår Nordby en systematisering av designstrategier for gjenbrukbarhet som omhandler disse tre egenskapene. De seks ulike designstrategiene presenteres nedenfor ut fra praktiske og tekniske aspekter ved ombruk av teglstein.

Begrenset materialvalg

Et monomateriale består kun av et homogent materiale og medfører flere fordeler under riving, sortering og eventuell gjenvinning. Tegl kan regnes som et monomateriale ettersom det består av leire og lite andre tilsetningsstoffer. Videre er tegl et fleksibelt byggemateriale som kan inngå både i bærende elementer og utvendig kledning, i tillegg til innendørs konstruksjoner. Dette resulterer i konstruksjonselementer med relativt få materialtyper. Det må her nevnes at når mørtel brukes som forbindelsesmiddel ansees ikke lenger tegl som et monomateriale fordi mørtelen blir kjemisk bundet til teglsteinen.

Lang holdbarhet

I EPD for teglstein fra Bratsberg (Wienerberger AS Bratsberg Norway 2014) og tilsvarende EPD for ulike teglsteiner, er det benyttet en teknisk levetid på 150 år. Til sammenligning har en del andre materialer forventet teknisk levetid fra 60 til 100 år. Denne overlegne levetiden er tydelig i teglkonstruksjoner som er over tusen år og fortsatt i bruk, f.eks. den kinesiske mur. Ifølge Nordby tåler også teglsteinen gjentatt ombruk, uten å utdype om dette går på bekostning av teglkvaliteten.

Det oppfordres også av Nordby (2009) å variere brenningsgraden til teglstein for å oppnå ulike kvaliteter som gjør den bedre rustet til bruk i ulike miljøer. Dette er også hensiktsmessig fordi energiforbruket ved produksjon under lave brenningsgrader reduseres.

Høy generalitet

Dimensjonene på teglstein har variert gjennom tidene, men felles for alle er at de betraktes som en liten byggekloss og kan settes sammen i uendelige variasjoner. Denne generaliteten er utgangspunktet for å løse ulike tekniske og arkitektoniske løsninger, og gjør teglstein til et meget attraktivt ombruksmateriale. I tillegg kan mørtelen brukes som en tilleggsjustering for teglstein med varierende dimensjoner. Å konstruere en teglvegg krever relativt enkle verktøy og retningslinjer. Dette gjør at ufaglærte selvbyggere i større grad kan bruke materiale og utøve lokalt ombruk.

Reversible forbindelser

Mørtel binder seg kjemisk til teglsteinen, som gjør at både rive- og renseprosessen er krevende. Akkurat hvor krevende er sterkt avhengig av mørteltypen. Det er skrevet mer i detalj hvordan mørtelen virker inn på hvor reversibel forbindelsen er i kapittel 2.3.4 om selektiv riving.

Fornuftig lagdeling

Ulike lag eller sjikt i en bygning vil endre seg ulikt, og må derfor skiftes ut og vedlikeholdes på forskjellige tidspunkt i bygningens levetid. I tillegg blir de byggetekniske funksjonene differensiert slik at de respektive sjiktene løser ulike oppgaver. Stadig høyere krav til fasadens klimafunksjoner og økt effektivitet har ført til at teglveggen, på lik linje med andre materialer, har blitt utviklet til mer komplekse og sammensatte konstruksjonsløsninger. Ytterveggen av tegl består ikke lenger av ett sammenhengende teglsjikt, men er splittet opp for blant annet å opprettholde krav om isolasjonsevne. I dag brukes tegl mindre som bærende materiale og mer som fasademateriale, som et resultat av denne funksjonsdelingen. Dette åpner opp for at fasadematerialet kan byttes ut uavhengig av bærekonstruksjonen slik at et byggs estetiske uttrykk raskt kan endre seg. Ideelt sett blir teglfasaden revet metodisk for senere ombruk.

Tilgjengelig informasjon

Historisk sett har merking, eller preging, av teglstein vært praktisert. I ettertid har det vært mulig å avlese informasjon om produksjon, transport og økonomi. En slik tradisjon ville vært nyttig for kommende brukere og entreprenører med tanke på ombruk, og vil ikke være problematisk å innføre i produksjonen av teglstein ifølge Nordby (2009). Dette vil også være en mer stabil løsning i forhold til tilhørende dokumentasjon som kan gå tapt gjennom bruksfasen.

2.3.6 Oppsummering

Ombruk i dag er lite praktisert i forhold til materialgjenvinning, selv om potensialet helt klart er til stede. Ved å benytte selektiv riving på teglkonstruksjoner murt med kalkmørtel vil det legges til rette for ombruk av gammel tegl i dag. Bruk av Nordby (2009) sine anbefalinger vil morgendagens tegl i større grad kunne rives selektivt og benyttes igjen. For å øke praktiseringen av ombruk stiller Nordby (2009) spørsmålet om design for gjenbruk bør innføres som et krav på lik linje med energikravene i dag. Dette vil redusere materialgjenvinning og spare omgivelsene for miljøpåvirkninger.

2.4 Regelverk og ombruk

Ombruk er et omdiskutert felt i byggeindustrien. I litteraturen er det flere ganger vist at teglstein som materiale egner seg til ombruk, og at det bør tilrettelegges mer for å øke ombrukspraksisen. I Danmark har Miljøstyrelsen (Møller et al. 2013) publisert en LCA hvor de sammenligner ulike grader av ombruk av teglstein, med ny teglstein og materialgjenvinning av teglavfallet. I ettertid har det kommet en del reaksjoner fra kalk- og teglsværkforeningen (Bisgaard 2013) hvor de fraråder ombruk og heller favoriserer den mer tradisjonelle materialgjenvinningen. Dette på bakgrunn av at ombruk medfører stor usikkerhet knyttet til materialkvaliteten, og at det ikke bør praktiseres eller uten videre påstås å være innenfor lovverket. Videre i dette delkapittelet undersøkes gjeldene regelverk for ombrukstegl, som legger grunnlaget for en diskusjon (kapittel 5) om ombruk av teglstein er forsvarlig.

2.4.1 Eurokoder og EU-reglement

Gjennom EØS-avtalen med den europeiske union er Norge forpliktet til å følge eurokode-serien. Dette er stadfestet i TEK § 10-2, i punkt (3) finnes følgende tekst:

«Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN-1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN-1991 til NS-EN-1999, med tilhørende nasjonale tillegg.»

Eurokode-programmet har sin bakgrunn i et vedtak fra Kommissjonen for De europeiske fellesskap om et handlingsprogram for konstruksjonsområdet. Målet med dette programmet var å harmonisere tekniske spesifikasjoner og fjerne handelshindringer mellom medlemsland. Kommissjonen startet arbeidet med harmoniske regler etter vedtaket i 1975, som resulterte i de første eurokodene på 80-tallet. I dag er utarbeidningen av eurokoden overført til CEN (European Committee for Standardization) og utgis i Norge gjennom Standard Norge.

Det eksisterer i alt ti eurokoder i Eurokode-programmet, mange av de med nasjonale tillegg som erstatter tidligere nasjonale standarder for konstruksjonsteknikk. Standardene er utarbeidet for planlegging, prosjektering, utførelse og vertifikasjon. De omfatter i tillegg hvordan produkters egenskaper skal dokumenteres.

Oversikt over de ulike eurokodene:

- NS-EN 1990 – Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
- NS-EN 1991 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner
- NS-EN 1992 – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner
- NS-EN 1993 – Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner
- NS-EN 1994 – Eurokode 4: Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong

- NS-EN 1995 – Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner
- NS-EN 1996 – Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner
- NS-EN 1997 – Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering
- NS-EN 1998 – Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
- NS-EN 1999 – Eurokode 9: Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner.

For ombrukstegl og teglkonstruksjoner generelt er NS-EN 1990, 1991, 1996, 1997 og 1998 de mest relevante, spesielt interessant er Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner. På grunn av oppgavens omfang var det ikke mulig å vurdere alle eurokodene opp mot ombrukstegl, slik at i dette delkapittelet beskrives kun de som berører problemstillingene direkte. Det betyr ikke at det utelukkende er disse standardene som er viktige å ta i betraktning ved bruk ombrukstegl, andre vil kunne legge til eller eliminere standarder fra de som presenteres her.

Prosjektering av murkonstruksjoner

Eurokode 6 omhandler prosjektering av murkonstruksjoner av typen uarmert, armert, spennarmert og randforsterket murverk. Den tar for seg ulike krav til konstruksjonens kapasitet, brukbarhet og bestandighet. I de tilfeller det stilles krav til utførelse er det nødvendig å angi kvaliteten på bygningsmaterialer og produkter. Hele eurokode 6 består av fire deler:

- 1-1: Allmenne regler for armerte og uarmerte murkonstruksjoner
- 1-2: Brannteknisk dimensjonering
- 2: Valg av materialer og utførelse av murverk
- 3: Forenklete beregningsmetoder for uarmerte murkonstruksjoner

I NS-EN 1996 1-1 finnes følgende i avsnitt 2.2.3. punkt (1) om material- og produkttegenskaper:

«Materialers og byggevarers egenskaper og de geometriske dataene som skal brukes ved prosjektering, bør være dem som er angitt i de aktuelle europeiske standarder, retningslinjer om europeisk tekniske godkjenning eller europeiske tekniske godkjenninger, med mindre annet er angitt i denne NS-EN 1996-1-1.»

I standarden er ikke dette punktet oppgitt som et prinsipp, men som en anvendelsesregel (Norsk Standard). Det vil si det er en allment anerkjent regel som samsvarer med prinsippene og oppfyller de krav de setter. Det er mulig å bruke andre metoder (regler) forutsatt at disse også samsvarer med de relevante prinsippene og konstruksjonens sikkerhet, brukbarhet og bestandighet.

Krav til murprodukter – Del 1: Murprodukter av tegl

I henhold til avsnitt 3.1.1 punkt (1) i NS-EN 1996 skal murprodukter av tegl samsvare med NS-EN 771-1, hvilket også inkluderer ombrukstegl.

Mursteinen kategoriseres etter krav om sikkerhetsnivå. Gammel teglstein vil høyst sannsynlig ikke gå under kategori I som underligger et krav om 95 % sikkerhetsnivå i henhold til deklart kompresjonsstyrke. Grunnen til dette var potensielt store forskjeller innad i hver ladning teglstein brent i gamle ovner. I fremtiden vil det derimot være mulig å operere med gammel teglstein med høye sikkerhetsnivå.

Produsenter skal deklare om enheten oppfyller krav for P (protected) enheter eller U (unprotected) enheter (NS-EN 771-1 5.1), gammel murstein i denne oppgaven antas å ha vært bruk i en ubeskyttet murkonstruksjon og må dermed deklarerer etter krav fra U enheter. Nyere vertikalt perforert murstein vil også gå under kategorien U enheter, disse vil tenkes å være aktuelle for ombruk i fremtiden.

Tabell 2-2: Toleranser for avvik mellom gjennomsnittsdimensjon og deklart dimensjon (kilde: NS-EN 771-1)

KATEGORI	TILLATT SPREDNING (BRUK STØRSTE VERDI)
T1	$\pm 0,40 \times \sqrt{(\text{dimensjoner arbeidsstørrelse})}$ eller 3 mm
T2	$\pm 0,25 \times \sqrt{(\text{dimensjoner arbeidsstørrelse})}$ eller 2 mm
Tm	Spredning deklart av produsent

Tillatt spredning på gjennomsnittlig dimensjoner av teglstein mot den deklarte dimensjon kan kategoriseres som T1, T2 eller Tm. Tm åpner for at produsenten selv velger største tillatte spredning slik at den kan være bredere så vel som smalere sammenlignet med de to foregående kategoriene. Ved håndtering av gammel teglstein kan det oppstå situasjoner hvor teglsteinen har en spredning på 10 mm eller høyere, slik at den ved normale dimensjoner ikke passer inn i verken kategori T1 eller T2. Det er derfor naturlig å deklare gammel teglstein med høy spredning da den uansett ikke vil egne seg til presisjonsarbeid.

Tabell 2-3: Største tillatt spredning på en prøve teglsteiner (kilde: NS-EN 771-1)

KATEGORI	STØRSTE TILLATT SPREDNING
R1	$0,6 \times \sqrt{(\text{dimensjoner arbeidsstørrelse})}$ mm
R2	$0,3 \times \sqrt{(\text{dimensjoner arbeidsstørrelse})}$ mm
Rm	Variasjon deklart av produsent

Største tillatte spredning på en individuell teglstein opp mot deklart dimensjoner må oppgis hvis det er relevant for bruken. Kategori Rm fra Tabell 2-3 kan benyttes hvis teglstein fra ulike produksjonspartier er kombinert for å oppnå et generelt konsistent utseende.

Ifølge NS-EN 771-1 6.1.2. skal det skal utarbeides en beskrivelse og betegnelse for teglsteinenheten som må inneholde følgende punkter (minimumskrav):

- Nummer og dato på eurokoden som brukes
- Type enhet

- Dimensjoner og toleranser
- Brutto tørr densitet og toleranser
- Kompresjonsstyrke

Hvis det er relevant for bruken må én eller flere av teglsteinens egenskaper oppgis i tillegg. Dette kan eksempelvis være steinens konfigurasjoner (f.eks. perforeringer), brannmotstand og fryse/tine-motstand. Hva som er relevant å oppgi avhenger av hvilken type konstruksjonselement teglsteinen inngår i, om det er værutsatt, under bakken eller oppført under andre spesielle omstendigheter. For en mer komplett oversikt over hvilke egenskaper som kan oppgis se NS-EN 771-1 5.3.2 og 8.2.

Produsenter skal demonstrere at teglsteinen samsvarer med kravene i eurokode ved å utføre følgende (NS-EN 771-1 8.1):

- Bestemme produkttype (se NS-EN 771-1 8.2), gjennom fysisk testing, beregninger, referere til eksisterende tabellverdier, eller en kombinasjon av disse
- Fabrikkontroll

Krav til mørtel for murverk – Del 2: Murtmørtel

Denne standarden er andre del av krav til mørtel for murverk, del 1 omfatter utvendig og innvendig pussmørtel og var ikke relevant å inkludere i denne oppgaven. Del 2 tar for seg fabrikkframstilte murtmørtler brukt i vegger, søyler og skillevegger i murverk. Dette inkluderer mørtler brukt i både bærende og ikke-bærende konstruksjoner. Mørtel framstilt i fabrikk omfatter ferdig blandet mørtel direkte fra fabrikk og halvfabrikatmørtel som ferdigstilles på byggeplass i henhold til produsentens anvisninger.

Kapittel 5 omhandler krav og egenskaper til mørtel som må oppgis av produsenten, mest relevant i denne sammenheng er avsnitt 5.4.1., trykkfasthet, som er gjengitt i Tabell 2-4 nedenfor. Det kan også legges til i denne sammenheng at en KC50/50 går under klasse M 1. Foruten trykkfasthet skal også heftfasthet, vannabsorpsjon, vanddamppermeabilitet, densitet, varmekonduktivitet og bestandighet oppgis hvis relevant for konstruksjonsdelen mørtelen inngår i. Det kan foreligge tilleggskrav til tynnfugemørtler, se del 5.5 i standarden.

Tabell 2-4: Mørtelklasser (kilde NS-EN 998-2:2010)

KLASSE	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M D*
Trykkfasthet N/mm ²	1	2,5	5	10	15	20	D

*d er en trykkfasthet større enn 20 N/mm² som et multiplum av 5, angitt av produsenten.

Ledelsessystemer for miljø - Spesifikasjon med veiledning

Eurokodeserien består blant annet av flere standarder på ledelsessystemer som organisasjoner kan benytte for å forbedre sine prestasjoner innen ulike områder, ISO 14001 omhandler miljø. Standarden er ment å hjelpe organisasjoner forbedre miljøprestasjoner, overholde lovkrav og oppnå egendefinerte miljømål. En veiledning med utfyllende tekst er lagt ved

standarden (vedlegg A) for å minimere sannsynligheten for misforståelser av de ulike punktene i selve standarden. Standarden opererer ikke med spesifikke miljøprestasjonskriterier, slik at ulike organisasjoner ikke nødvendigvis oppnår samme resultat ved å benytte ISO 14001.

Mest relevant for denne oppgave er kapittel 6 som omfatter planleggingsfasen. Under planlegging av ledelsessystemet skal organisasjonens kontekst og behov, samt forventninger til interessepartene vurderes, før risiko og muligheter bestemmes fra miljøaspektene og samsvarsforpliktelser. På bakgrunn av dette etableres miljømål og planlegging av tiltak for å oppnå de aktuelle miljømålene.

Miljøaspektene berører potensiale for å øke ombruk av teglstein nærmest. De bestemmes gjennom å vurdere organisasjonen i et livsløpsperspektiv, dette inkluderer å vurdere de livsløpsstadiene som kan styres og påvirkes av organisasjonen. I vedlegg A betegnes eksempler på de ulike livsløpsstadiene: anskaffelse av råvarer, produksjon, transport/levering, bruk, håndtering ved slutten av levetiden og endelig avhending. Ett vesentlig miljøaspekt kan forårsake én enn flere miljøpåvirkninger av betydning, og vil derfor være essensielt å ta hensyn til for å oppnå satte miljømål. I tillegg må det også tas hensyn til ulike miljøaspekter som kan relateres til organisasjonens aktiviteter, produkter og tjenester. Slike miljøaspekter kan være:

- konstruksjon og utvikling av organisasjonens anlegg, prosesser, produkter og tjenester
- anskaffelse av råmaterialet, inkludert utvinning
- drift- og produksjonsprosesser, inkludert lagerføring
- drift og vedlikehold av anlegg, organisasjonens eiendeler og infrastruktur
- miljøprestasjon og praksis hos eksterne leverandører
- produkttransport og tjenestelevering, inkludert emballasje
- oppbevaring, bruk og håndtering ved slutten av levetiden for produkter
- avfallshåndtering, inkludert gjenbruk, reovering, resirkulering og avhending

Disse miljøaspektene er hva en organisasjon må ta hensyn til når materialer skal gjenbrukes enten direkte eller indirekte. Det spesifiseres ikke hvordan teglstein som materiale skal behandles. Dette avhenger av hvilke miljømål den aktuelle organisasjonen har satt seg og hvordan de planlegger å oppnå disse.

2.4.2 CE-merking og ytelsesdeklarasjon

CE-merking og ytelsesevnedeklarasjonen (declaration of performance, DoP) til byggevarer deklarerer at produktet oppfyller kravene fastsatt i henhold til forskrift om dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK). Gjennom deklarasjonen dokumenteres produktets egenskaper og ytelser basert på den europeiske byggevareforordningen (CPR), hvilket gir CE-merkede produkter fri markedsadgang i EØS-området. Om et produkt aldri når markedet, vil det ikke underligge krav om CE-merking. Slik vil lokalt ombruk falle utenfor denne forskriften. Land som underligger denne ordningen fra EU har også mulighet til å definere egne krav til produktets egenskaper, utover de fra CPR, som også skal deklarerer som en del av DoP. Den utarbeidede DoP skal oppbevares av bruker i bygget, i tillegg må produsent beholde tekniske dokumenter og DoP minst ti år etter at produktet har blitt lansert på markedet.

Det er obligatorisk med CE-merking og tilhørende ytelsesevnedeklarasjon på byggevarer som dekkes av en harmonisert standard eller et produkt med tilhørende europeisk teknisk bedømmelse (ETA). NS-EN 771-1 er en harmonisert standard og all teglstein skal dermed merkes gjennom CE-ordningen. Ordningen omfatter ikke krav til teglsteinens kvaliteter, kun minstekrav knyttet til helse, miljø og sikkerhet. I Norge må derfor alle byggevarer i tillegg oppfylle tekniske krav satt i TEK, som er mer omfattende enn CE-merkingen. Det eksisterer produkter som er CE-merket uten at de er lovlige å bruke i Norge, ordningen kan derfor ikke sees på som et klarsignal på at dette produktet kan benyttes på prosjekter i Norge uten å foreta tilleggsundersøkelser eller ha tilstrekkelig dokumentasjon.

Byggvareforordningen (2011) har innført et nytt grunnleggende krav til byggverk: bærekraftig bruk av naturressurser. I veiledningen til byggvareforordningen spesifiseres dette å særlig sikre:

1. Byggverk og materialer kan brukes på nytt eller gjenvinnes etter riving
2. Byggverkets bestandighet
3. Bruk av miljøvennlige materialer i byggverk

Slik de harmoniserte tekniske spesifikasjoner foreligger nå, er ikke dette grunnleggende kravet tatt hensyn til. Et revideringsarbeid forventes slik at produsenter i større grad inkluderer bærekraftig bruk av naturressurser. Standarden NS-EN 771-1 om teglstein er ikke revidert med hensyn til dette kravet. Ombrukstegl vil derfor ikke CE-merkes på annet grunnlag enn ny teglstein.

Ifølge SINTEF sin *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer* (Sørnes et al. 2014) gjelder ikke krav om ytelseserklæring og CE-merking for produkter markedsført og produsert før 1. januar 2014, da byggvareforordningen i Norge trådte i kraft. En ytelseserklæring er uansett fordelaktig å utføre med hensyn til senere aktører.

Fra NS-EN 1990 er det en merknad til 1.4 punkt (5) som sier at selv om en alternativ beregnings- og konstruksjonsregel erstatter en anvendelsesregel, kan ikke prosjekteringen den avstedkommer hevdes å være fullstendig i samsvar med NS-EN 1990 selv om prosjekteringen vil være i samsvar med prinsippene i NS-EN 1990. Når NS-EN 1990 brukes i forbindelse med en egenskap oppført i tillegg Z i en produktstandard eller i retningslinjer om europeisk teknisk godkjenning, kan bruk av en alternativ beregnings- og konstruksjonsregel være uakseptabel i forhold til CE-merkingen. Dette vil i hovedsak interessere produsenter som ønsker å CE-merke sine produkter, men vil ikke diskuteres ytterligere i denne oppgaven.

2.4.3 Endrede egenskaper ved ombruk

Under bruksperioden vil teglsteinens egenskaper endre seg noe, dette er et resultat av ulike kombinasjoner av klimaet, mørtelens binding og fysiske påkjenninger. I tillegg vil også teglsteinens egenskaper påvirkes når den gjennomgår en rivingsprosess (Bisgaard 2013).

Ifølge Bisgaard (2013) berører dette følgende egenskaper:

- Dimensjoner, toleranser og spredning
- Komprimeringsstyrke
- Konfigurasjon
- Vannopptak

- Frostfasthet
- Innhold av aktivt oppløselig salt
- Vanddamdiffusjonsmotstand
- Heftstyrke

Når egenskaper endrer seg vil ikke den gamle teglsteinen være lik den deklarererte enhet, og derfor oppstår det en konflikt med den tilhørende dokumentasjonen (DoP). For å unngå denne problematikken sier Bisgaard (2013) at det må det utformes en ny DoP i henhold til de nye egenskapene.

2.4.4 Miljøsertifiseringer

Det eksisterer i dag flere tiltak for å fremme bærekraftige byggeprosjekter, et av dem er BREEAM-NOR. BREEAM-NOR er den norske tilpasningen av miljøklassifisering BREEAM som har sitt utspring i Storbritannia. Et av delkapitlene fra manualen omhandler gjenbruk av fasader, hvor et nybygg kan få poeng for å bruke minst 80 prosent gjenbruksmaterialer på fasaden (Norwegian green building council). For flere detaljer er BREEAM-NOR manualen tilgjengelig på nett: <http://ngbc.no/breeam-nor/>.

LEED er et tilsvarende miljøsertifiseringssystem som oppstod i USA. Her er det også mulig å oppnå poeng for gjenbruk av materialer, hvor antall poeng avhenger av hvor mange prosent av prosjektets flateareal som består av gjenbrukte materialer og om det er benyttet til bærel eller fasadekonstruksjoner (U.S. Green Building Council). For mer informasjon om LEED og hvordan de ulike poengene oppnås besøk deres nettsider: <http://www.usgbc.org/leed>.

2.4.5 Oppsummering

Oftentimes ligger problematikken for ombruk av teglstein i den manglende dokumentasjonen av egenskaper og fabrikkkontroll. Dagens teglstein kan også være problematisk å benytte om igjen ved avhending, ettersom mange av steinens egenskaper endrer seg under selve brukstiden og rivingsprosessen. Slik standarden for teglstein og mørtel er i dag legges det ikke til rette for ombruk av teglstein, men i fremtiden forventes det en revidert utgave som tar hensyn til det nye grunnleggende kravet for bærekraftig bruk av naturressurser. Om denne revisjonen vil åpne opp for økt ombruk er for øyeblikket uvisst. For øvrig stilles det ingen krav til CE-merking av teglstein produsert før byggevareforordningen trådte i kraft.

Insentiver for å benytte gammel teglstein eksisterer blant annet i standarder som fremmer miljø og bærekraft. Det understrekes at byggeprosjekter bør etablere klare miljømål tidlig i prosessen for å kunne ta hensyn til ulike miljøpåvirkninger, som for eksempel å benytte miljøklassifiseringer.

3 Metode

Begrepet metode sin opprinnelige betydning er veien til målet. For å kunne utvikle en metode er det viktig å ha et klart definert mål med studiet (Kvale & Brinkmann 2015). Målet med dette studiet er å besvare de tre problemstillingene, oppgavens metode er deretter tredelt: først et litteraturstudiet som presenteres i form av teori i kapittel 2; deretter et CO₂-regnskap som skal undersøke miljøfordeler ved ombruk; og til slutt et kvalitativt forskningsintervju for å kartlegge tre ulike prosjekter. De ulike metodene besvarer ikke ulike problemstillinger, men fungerer som en overlapping og berører flere aspekter knyttet til ombrukstegl.

3.1 Litteraturstudie

Det ble utført et litteraturstudie for å kartlegge eksisterende kunnskap knyttet til ombrukstegl, både i utland og innland. Litteraturstudiet var ment å legge grunnlag for oppgavens videre utvikling og var essensiell i utarbeidelse av de to andre metodene. I tillegg var studiet ment å kartlegge potensielle prosjekter som senere kunne undersøkes gjennom intervju.

I begynnelsen av januar ble flere personer fra fagmiljøet i Norge og Danmark kontaktet. Disse samtaler la grunnlaget for mye av det teoretiske arbeidet i form av å rette blikk mot ulike aspekter ved ombruk. Søkene etter litteratur har foregått på både norsk og engelsk, og i noen tilfeller dansk. Sentrale søkeord har vært:

1. Teglstein, mørtel, kalkmørtel, ombruk, historie, riving, design for gjenbruk
2. Bærekraft, LCA, CO₂-regnskap, klimagassutslipp, byggeavfall
3. Eurokode, CE-merking, BREEAM

Det har også blitt søkt med tilsvarende engelske uttrykk for punkt 1 og 3, og tilsvarende danske uttrykk på punkt 1 og 2.

Søkeordene ble benyttet i ulike internettbaserte søkemotorer og databaser (listet nedenfor). Det har blitt sett på som en fordel å benytte digitaliserte litteraturkilder, da det fysiske biblioteket ofte hadde utdaterte og irrelevante bøker om emnet. For å få oppdatert og relevant informasjon er bruken av litteratur fra før 2000-tallet minimert, i tillegg har hovedfokuset vært på litteratur som går maksimalt fem år tilbake.

Søkemotorer:

- Oria
- Brage
- Google, inklusive Google Scholar

Databaser:

- SINTEF Byggforsk: Byggforskserien
- Norsk Standard

3.2 CO₂-regnskap

CO₂-regnskapet i denne oppgaven omhandler CO₂-utslipp knyttet til produksjon/riving og transport av henholdsvis ny og gammel teglstein. Enhetene benyttet er kg CO₂ og kg CO₂-ekvivalenter. I følge SSB angir enhet CO₂-ekvivalent den globale oppvarmingseffekten fra andre klimagasser med tilsvarende 1 tonn CO₂ i løpet av 100 år. CO₂-utslipp refererer til kg CO₂-ekvivalenter, inkludert kg CO₂.

For å analysere og sammenligne CO₂-regnskap for bruk av ny og gammel teglstein, er det tenkt et prosjekt et vilkårlig sted i Norge hvor et av hovedmaterialene er teglstein. To ulike scenarier undersøkes, med henholdsvis ny tegl og gammel tegl:

1. Importere ny tegl fra utlandet
2. Ombruk annensteds innad i Norge

Et tenkt prosjekt kan i realiteten være vilkårlig plassert i Norge. På tross av dette er mange av sammenligningene utført på den basis at prosjektet er i nærhet til Oslo. Senere følger en diskusjon om hvordan plassering av byggeprosjektet påvirker CO₂-utslipp. Etter sammenligning av CO₂-regnskap til scenarioene er det forsøkt å konkludere med hvilket scenario som vil være mest fordelaktig i et miljøperspektiv.

En begrensning av CO₂-regnskapet er utslippstillegget relatert til knusing av teglstein ved innkjøp av ny teglstein. På samme måte blir det heller ikke tatt hensyn til innspart utslipp ved at teglstein ikke knuses (ved ombruk) og utslippstillegget for knusing av annen stein til fyllmasse.

3.2.1 LCA Calculator

Det nettbaserte programmet LCA Calculator (tilgjengelig på <http://www.lcacalculator.com/>) er benyttet til beregninger av CO₂-utslipp relatert til transport. LCA Calculator lar brukeren legge inn produkter ned i detaljerte materialer, for å så beregne kg CO₂-ekvivalenter knyttet til produksjon, transport, bruk, og avhending. Programmet anvender EcoInvent v2.2 som hoveddatabase, som i dag er en av de ledene databasene for livsløpsregnskap. Funksjonell enhet som benyttes i CO₂-regnskapet er 1 tonn, lik deklart enhet i EPD.

3.2.2 Importere tegl fra utlandet

Teglverk i Danmark, Nederland og Belgia representerer størsteparten av den importerte teglsteinen til norske Wienerberger. På bakgrunn av dette vil kun import fra disse tre landene benyttes i beregning for gjennomsnittlige CO₂-utslipp. Import av teglstein fra Danmark, Nederland og Belgia skjer hovedsakelig ved bruk av vogntog, og selve importdestinasjonen er Oslo sentrum. Dette er ikke en reell lokasjon for import, men brukes som utgangspunkt til videre distribusjon til et vilkårlig prosjekt. Importavstanden implementeres så i de respektive teglverks LCA-dokument i programvaren LCA Calculator, transporttypen spesifiseres til vogntog med bærekapasitet 16-32 tonn (EURO5).

For selve teglsteinen tas det utgangspunkt i Wienerbergers publiserte nasjonale EPD for danske, nederlandske og belgiske teglstein, det foreligger ikke en egen EPD for teglstein ved de respektive teglverkene. På Wienerberger sine nettsider er det publisert en EPD for dansk og belgisk tegl, nederlandsk tegl var derimot vanskelig å oppdrive. Etter å ha vært i kontakt med Wienerberger kom det frem at Nederland ikke har utarbeidet en EPD for sin tegl. For å fortsatt kunne foreta beregninger på CO₂ knyttet til import fra Nederland ble det valgt å benytte EPD for belgisk tegl. Dette er den mest nøyaktige tilnærmingen ettersom Belgia og Nederland er naboland og det antas derfor at de har mye felles byggeskikk.

Det er valgt ut totalt sju teglverk: to fra Danmark; ett fra Nederland; og fire fra Belgia. Alle teglverk er tilknyttet Wienerberger-bedriften. Det er kun inkludert ett teglverk fra Nederland ettersom det var problematisk å finne informasjon gjennom Wienerberger og søkemotorer. Dette ansees ikke å ha en stor innvirkning på validiteten til CO₂-regnskapet fra Nederland ettersom det allerede foreligger en usikkerhet i bruk av belgisk EPD. Avslutningsvis beregnes et gjennomsnitt for hvert land som senere benyttes i sammenligningen med ombruk av teglstein.

3.2.3 Ombruk av tegl i Norge

CO₂-beregningene for ombrukstegl vil omfatte riving av stein, samt transport til ny byggeplass. I Norge i dag er det ingen aktører som driver med rensing og testing av stein på en større skala. Alt arbeid skjer i hovedsak på det eksisterende prosjekts byggeplass. I noen tilfeller utføres transport av teglstein til institusjoner som utfører ulike tester for å kartlegge kvaliteten til steinen. Denne verdien innehar for store variasjoner og antas å være mindre betydningsfull i et CO₂-regnskap, og utelukkes på bakgrunn av dette.

Ifølge den danske Miljøstyrelsen sin rapport (Kalk- og Teglværksforeningen et al. 2000) utgjør nedriving en teglkonstruksjon omtrent 0,6 kg/CO₂/m² murstein (hentet fra en figur på side 39 i rapporten), denne verdien benyttes også i beregningene. Videre må steinen renses, som i dag er håndarbeid i Norge slik at det ikke benyttes noen CO₂-utslipp knyttet til håndrensing.

Gamle Mursten har beregnet en produksjonseffektivitet på 64,6 % gjennom perioden 2011 til første halvår av 2013 (Møller et al. 2013), denne verdien blir også benyttet i CO₂-regnskapet. Det må presiseres at dette er oppnådd gjennom bruk av mekanisk rensing, og at tall for håndrensing vil differensiere.

Ombrukstegl må også transporteres fra eksisterende byggeprosjekt til ny byggeplass. I beregningene er det tatt utgangspunkt i at det ikke trengs en transportetappe mellom riving og rensing, slik at all bearbeiding foregår på det eksisterende prosjektet. Både eksisterende og ny byggeplass kan være vilkårlig plassert i Norge, men det antas å være plassert innenfor en radius på 100 km. Programmet LCA Calculator er benyttet til beregninger av CO₂-utslipp relatert til transport, her vil samme vogntog med en bærekapasitet 16-32 tonn (EURO5) brukes. I tillegg ble det undersøkt hvor store transportavstander som måtte til for at det ikke var noen CO₂-gevinst i å benytte gammel tegl.

Et tenkt scenario i fremtiden vil være at dagens teglstein vil rives ned for å kunne brukes om igjen i sin opprinnelige form. Derfor ble det i tillegg undersøkt om teglsteinens dimensjon og densitet hadde innvirkninger på CO₂-utslipp.

3.3 Intervju

Kvalitativ intervjuform er benyttet fordi temaet, ombruk av teglstein, i stor grad består av ulike aspekter av erfaring for de respektive intervjuobjektene (Kvale & Brinkmann 2015). Denne metoden er valgt over en kvantitativ metode, som bedre egner seg til større innsamlinger av data med en påfølgende statistisk analyse. Ifølge Kvale og Brinkmann (2015) kan det kvalitative forskningsintervju deles inn i syv stadier: tematisering, planlegging, intervjuing, transkribering, analysering, verifisering og rapportering. Disse syv punktene vil også bli brukt til å utføre intervjuer med personer knyttet til prosjekter som er relevante for problemstillingene *b)* og *c)*. De fem første punktene blir diskutert nedenfor, verifisering diskuteres opp mot selve intervjuene i kapittel 5.4.

3.3.1 Tematisering

Før et forskningsintervju kan utføres må målet med studien være tydelig formulert (Kvale & Brinkmann 2015). Målet i disse intervjuene var å kartlegge prosjekter i Norge som har benyttet gamle teglstein og hvordan de har utført ombruksprosessen. Ombruksprosessen vil i denne oppgaven omfavne alle aktiviteter og hendelser knyttet til ombruk av teglstein, med særlig interesse på spesifikke utfordringer og løsninger. Et område som har markert seg utfordrende etter litteraturstudiet er regelverk. Slik at dette området, sammen med miljøfordeler, ble forsøkt belyst gjennom intervjuene. Det er flere rehabiliteringsprosjekter hvor det er benyttet gammel teglstein, men dette er stein som ikke kommer på markedet og dermed unnslipper reglementet knyttet til bla. CE-merking. Et rehabiliteringsprosjekt er likevel inkludert ettersom det opparbeides erfaring om hvordan det praktiske ombruket kan foregå på best mulig måte.

3.3.2 Planlegging

Det ble planlagt å undersøke opp til fem prosjekter, inklusive ett rehabiliteringsprosjekt. Det reelle antallet gjennomførte intervjuer ble noe lavere ettersom det var problematisk å oppsøke relevante prosjekter. I hvert prosjekt ble 1-3 involverte intervjuet, dette inkluderer arkitekter, murmestere og byggetekniske ingeniører. Antallet prosjekter er holdt lavt for å ikke opparbeide for stor mengde informasjon som gjør det tidsmessig problematisk å gå nok i dybden. Det legges heller vekt på forberedelse og analyse av intervjuene (Kvale & Brinkmann 2015). Intervjuene utføres på steder som har en naturlig tilknytning til temaet, for eksempel byggeplass. Hvor personlig møte ikke kunne gjennomføres ble intervjuet utført via telefon. I tilfeller der det var behov for kommunikasjon etter intervju kunne dette foregå på mail. Telefonsamtale var å foretrekke som kommunikasjonsform hvor personlig møte ikke var

mulig, ettersom skriftlige metoder som mail i større grad avhenger av at intervjuer og intervjuperson begge er relativt dyktige til å kommunisere skriftlig. Det er ikke fastsatt noe annet tidsperspektiv enn tidsperioden masteroppgaven utarbeides. Intervjuene er uavhengige av hverandre og kunne derfor utføres umiddelbart etter å ha opprettet kontakt med intervjuobjektet.

Videre var det essensielt å ha en plan for hvordan intervjumaterialet skulle analyseres etter utfør intervju (Kvale & Brinkmann 2015). Ved å bestemme vil intervjuguiden kunne bygge opp under målet med studiet, og i stor grad forenkle analyseprosessen.

3.3.3 Utført intervju

Intervjuet var semistrukturert og ble utført ved hjelp av en intervjuguide (se Vedlegg B), denne formen å utføre intervju på åpner opp for at intervjuobjektet kan svare friere. Intervjuet åpner med en briefing hvor intervjuer forteller om formålet med intervjuet, definerer situasjonen for intervjuobjektet, deretter starter selve intervjuet. Det var viktig å skape god kontakt tidlig for at intervjuobjektet skal føle de kan snakke fritt foran en fremmed intervjuer (Kvale & Brinkmann 2015).

Normalt bygges intervjuet opp med introduksjonsspørsmål og oppfølgingsspørsmål for å gjøre intervjuobjektet mer komfortabel og klar for spørsmål som går mer i dybden. Tematikken i intervjuene berører ikke dype personlige erfaringer, men heller en erfaring i profesjonell sammenheng. Introduksjonsspørsmål ble derfor ikke utført spesifikt på denne bakgrunnen, men heller for å oppnå en forståelse av det aktuelle prosjektet. Etter å ha innhentet en overordnet forståelse av prosjektet ble intervjuobjektet veiledet inn på de ulike hovedtemaene fra intervjuguiden. Hovedtemaene skulle avdekke ulike forhold knyttet til: prosjekteringsfasen, eksisterende teglkonstruksjon, rivingsfase, regelverk og teglegenskaper. Hvert av hovedtemaene hadde også inkludert forslag på intervju spørsmål som var viktige at intervjuobjektet besvarte, om nødvendig ble intervjuobjektet styrt inn på temaet. Intervjuet ble avsluttet med spørsmål om intervjuobjektet hadde andre tilføyinger, og om de hadde kunnskap om andre prosjekter som kunne vært relevant for oppgaven. Det er utviklet to ulike intervjuguider, én for henholdsvis nybygging og rehabilitering.

3.3.4 Transkribering

Intervjuene ble notert ned i stikkordsform, slik at transkriberingen ble utført umiddelbart etterpå for å unngå at informasjon gikk tapt. Stikkordene ble benyttet for å skrive en sammenhengende tekst tilknyttet hvert tema som gjenspeilte hva intervjuobjektet fortalte.

3.3.5 Analysering

Det transkriberte intervjuet ble så analysert for å avdekke hvordan det aktuelle prosjektet utførte, eventuelt planla å utføre, ombruk av teglstein. Det ble så forsøkt å generalisere noen av svarene, men dette viste seg å være problematisk ettersom det var få intervjuobjekter. I tillegg vil rehabiliteringsprosjekter ofte underligge krav fra byantikvarer, slik at de ikke er like relevante å generalisere sammen med nybyggene.

4 Resultater

Resultatene som legges frem her skal styrke diskusjonsgrunnlaget og bidra til å besvare problemstillingene. I henhold til metoden legges CO₂-regnskapet frem først, før intervjutranskriberingene. CO₂-regnskapet legger opp til å enten bekrefte eller avkrefte at ombruk av tegl innad i Norge bør anbefales på bakgrunn av hvilket scenario har mest alvorlige miljøpåvirkninger. Transkriberingen av intervjuene kartlegger hvordan ulike prosjekter i Norge har benyttet gammel teglstein i sine prosjekter, som forhåpentligvis kan avdekke insentiver og potensielt hvilken retning tilrettelegging av ombruk bør gå i. Det er viktig å presisere at resultatene presentert i denne oppgaven ikke kan generaliseres til å gjelde hele byggebransjen i Norge, den bør heller sees på som en pekepinn på hvordan ombruk blir behandlet, og ulike fordeler og ulemper knyttet til dette.

4.1 Resultat fra CO₂-regnskap

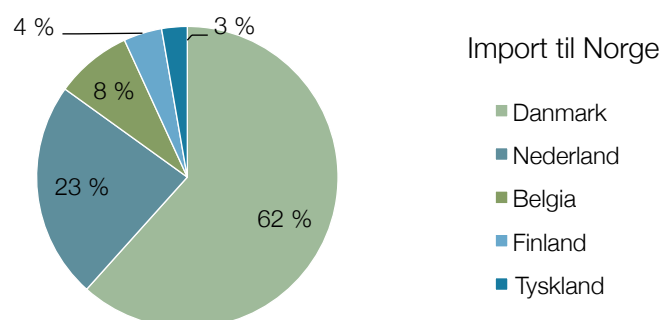
Det er forsøkt å danne en oversiktlig fremstilling av funnene fra CO₂-regnskapet. Resultatene blir presentert gjennom ulike tabeller og grafer med tilhørende kommentarer, det fullstendige regnskapet er tilgjengelig i Vedlegg A. Selve innholdet i resultatene blir diskutert videre i kapittel 5.1.

4.1.1 Import fra Danmark, Nederland og Belgia

Det importeres i dag fra hovedsakelig 5 land: Danmark, Nederland, Belgia, Finland og Tyskland. Nedenfor presenteres de fem landene, men videre i CO₂-regnskapet vil kun teglstein importert fra Danmark, Nederland og Belgia betraktes. Fra tabellen og figuren nedenfor er det tydelig at Danmark dominerer importmarkedet med 4,5 millioner teglstein, henholdsvis 62 % av markedet.

Tabell 4-1: Importtall fra Wienerberger (kilde: Tove Narvestad)

Land	Tegl [millioner]
Danmark	4,5
Nederland	1,7
Belgia	0,6
Finland	0,3
Tyskland	0,2
Total	7,3



Figur 4-1: Grafisk fremstilling av importtall

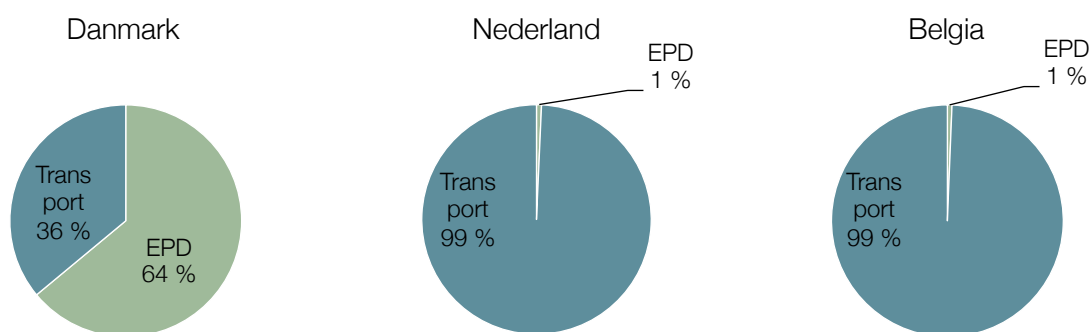
Egen EPD er utarbeidet for både dansk og belgisk tegl. Tabell A - 1 i Vedlegg A viser et lite utdrag av disse dataene. Den norske teglsteinen er inkludert kun for å ha flere data å sammenligne med, og å sette dansk og belgisk tegl i perspektiv. Det bør poengteres her at EPD-utdraget kun omfatter A1-A3: uthenting av råvarer, transport til produsent, og produksjon.

Tabell 4-2 viser en oversikt over de ulike utslippene for teglstein fra de respektive landene, dette er inkludert utslipp knyttet til transport og verdier fra EPD. Transportdestinasjonen er Oslo, slik at transport videre til et aktuelt prosjekt er her utelukket. For en mer detaljert fremstilling for hver av de syv utvalgte teglverkene se Tabell A - 2 i Vedlegg A.

Tabell 4-2: CO₂-utslipp fra importtegl.

LAND	UTSLIPP PER LAND [kg CO ₂ -ekv.]
Danmark	304,8
Nederland	248,8
Belgia	273,5

Store deler av klimapåkjenningene oppstår under selve transporten av teglstein. Den prosentmessige sammenhengen kan sees i Figur 4-2.



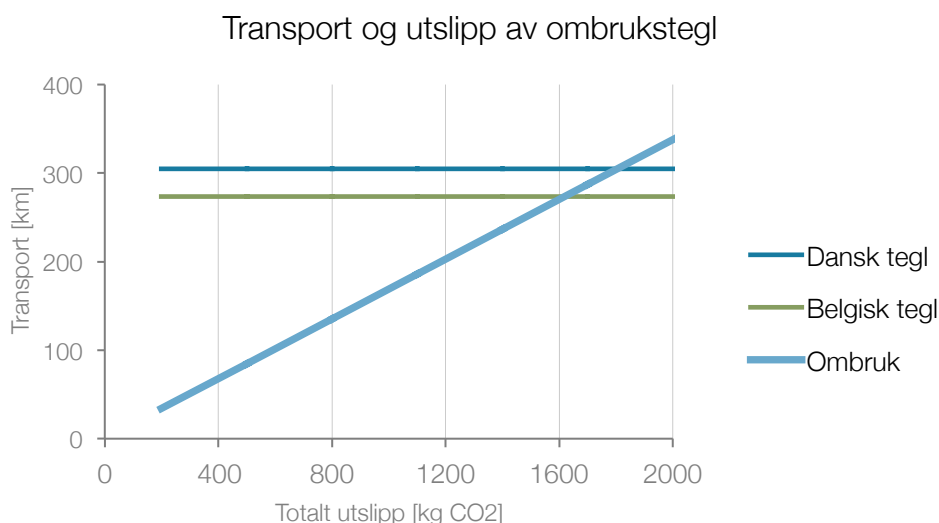
Figur 4-2: Prosentmessige CO₂-utslipp for Danmark, Nederland og Belgia.

4.1.2 Ombruk av teglstein i Norge

Det ble benyttet en produksjonseffektivitet på 64,6 %, slik at 1,55 tonn med teglstein må rives for å oppnå 1 tonn tegl som kan benyttes om igjen. Transportavstanden ble satt til 200 km i LCA Calculator, dette gav et resulterende utslipp på 33,6 kg CO₂-ekvivalenter. Med

utgangspunkt i dette ble det beregnet utslipp for to typer teglstein aktuelle for ombruk i dag (1955) og i fremtiden (2014).

Differansen mellom CO₂-utslippene for de to respektive teglsteinene var minimale (Tabell A - 3). Det er transportutslippene som er avgjørende for det totale utslippet for én funksjonell enhet. Lønnsomheten, i form av minste utslipp, var størst ved små transportavstander, og avtok så lineært med tiden.



Figur 4-3: Transport og utslipp fra ombrukstegl og importert tegl.

Det er gjort en sammenligning av ombruk av teglstein og import fra Danmark og Belgia, Figur 4-3 viser en grafisk sammenligning over hva som vil skje med CO₂-ekvivalentene om transport til ombruksprosjekter øker. Ved en transportavstand av ombrukstegl på 200 km vil import av dansk teglstein slippe ut tilnærmet 9 ganger flere CO₂-ekvivalenter, og tilsvarende 8 ganger flere CO₂-ekvivalenter for belgisk teglstein. Nederlandsk tegl vil slippe ut marginalt mindre enn belgisk tegl, omtrent 7,9 ganger mer enn ombrukstegl. Det kreves henholdsvis en transportavstand på omtrent 1600 eller 1800 km for å overstige CO₂ utslippene fra importtegl.

4.2 Resultat fra prosjektintervjuer

Det er totalt tre prosjekter som er undersøkt i denne oppgaven, de presenteres individuelt med utgangspunkt i hovedtemaene nedenfor. Målet med intervjuene var å undersøke opp til fem prosjekter, hovedsakelig aktuelle nybyggingsprosjekter. Da det har vist seg problematisk å oppdrive potensielle prosjekter, er prosjektantallet redusert til tre. Først presenteres et tretten år gammelt prosjekt i Trondheim, så et rehabiliteringsprosjekt i Oslo og til slutt plusshuset i

Larvik. Prosjektet i Trondheim skiller seg ut da all informasjon presentert var tilgjengelig i rapporter utført i ettertid, og hovedtemaene kunne besvares ut i fra disse.

4.2.1 Gjenbrukshus i Trondheim (2003)

Gjenbrukshuset i Trondheim var et pilotprosjekt hvor det ble prosjektert og bygget to tilnærmet like kommunale firemannsboliger i Hølbekken 49 på Tiller. Forskjellen mellom de to bygningene var at det ene ble prosjektert for mest mulig bruk av gjenbruksmaterialer og det andre på tradisjonell måte med innkjøp av nye materialer. I etterkant ble det utarbeidet en prosjektrapport (Pettersen 2005) som var utgangspunktet for intervjuobjektet. Her ble det beskrevet ulike tekniske, miljømessige, økonomiske og organisasjonsmessige forhold ved gjenbruk som prosjekterende tok i betraktning. Rapporten er ikke vitenskapelig korrekt, men ble ansett som tilstrekkelig for å belyse de ulike hovedtemaene. I tillegg har Østfoldforskning utarbeidet en rapport (Modahl & Raadal 2003) som evaluerer miljø- og ressursforhold ved bygging av gjenbrukshuset.



Figur 4-4: De to byggene i Trondheim, til høyre er Gjenbrukshuset (foto: HSØ Arkitektkontor)

Prosjekteringsfasen og miljømessige betraktninger

Ideen om et gjenbrukshus oppstod så tidlig som 1998, etter et forprosjekt utført av Miljøenheten i Trondheim kommune. Formålet med prosjektet var å gi arbeidstrening for utsatte grupper gjennom aktiviteter knyttet til gjenbruk av byggevarer, i tillegg til et ønske om å bidra med å redusere avfall i Trondheim kommune.

Tidlige utkast av prosjektet viste en fasade bestående av mye teglstein i en av ytterveggene. På grunn av usikkerhet knyttet til vær- og frostbestandigheten til den gamle teglsteinen ble denne fasadekonstruksjonen valgt bort til fordel for gammelt trevirke. Senere ble det avgjort at teglsteinen derfor skulle benyttes i de tilhørende utebodene hvor det var lavere krav til teglsteinens egenskaper.

Østfoldforskning AS (tidligere Stiftelsen Østfoldforskning) ble engasjert til å vurdere miljø- og ressurseffektene knyttet til å bygge



Figur 4-5: Uteboden med gjenbrukstegl (foto: Kenneth Urdshals, Stavne Gård)

med gjenbruksmaterialer (Modahl & Raadal 2003). De foretok en forenklet livsløpsvurdering basert på ISO-standardene 14040-43. Studien undersøkte kun oppføringsfasen og analyserte forskjellen på de to boligene med tanke på gjenbruksmaterialene. De konkluderte med at ombruk av takstein/teglmur sto for størsteparten av miljøgevinsten, og at gammel teglstein hadde positiv effekt på miljø og miljøkostnader på alle punkter.

Eksisterende konstruksjon

Teglsteinen brukt i utebodene kom opprinnelig fra Trondheim Mekaniske Værksted hvor det var flere verftsbygninger og en kraftige mur som var murt opp med kalkbasert mørtel. Det var kommunens egen Miljøenhet som tok kontakt med utbygger, som virket positiv til ombruksaspektet og formidlet det videre til entreprenøren med rivingsansvaret. På denne måten ble en del av teglsteinen ble tatt vare på etter riving. For entreprenøren var dette et alternativ til deponering eller utfyllingsformål. Det ble hentet rundt 10.000 gamle teglstein fra tomte på Nedre Elvehavn i 1872 (Bratberg 1996) som ble transportert til gjenbrukssentralen på Stavne Gård før prosjekttomta på Tiller.



Figur 4-6: Den gamle teglmuren på Trondheim Mekaniske Værksted (foto: Rolf Edvard Petersen, HiST)

Rivingsprosessen

Riving av teglkonstruksjonene ble utført med gravemaskin, dette resulterte i en blanding av hel og knuste teglstein. Steinen ble så transportert til mottak for rensing og sortering. Ved å ligge utendørs i regnet ble teglstein delvis rengjort for kalkmørtelrester, og senere ble de siste restene fjernet med en høytrykkspyler. Det ble også benyttet flere metoder for rensing av teglstein, slik som en innlånt teglrensemaskin og manuell rensing på et strekkmetallbord. Sistnevnte rensemetode viste seg å være bedre egnet enn maskinen. De anså rensing av bindingsflatene som viktig ettersom dette var avgjørende for oppnåelsen av tilstrekkelig heft mellom mørtel og teglstein. Arbeidet med rensing ble ansett som en monoton og tidkrevende oppgave av arbeiderne. Den påfølgende sorteringen viste seg å være utfordrende ettersom det var vanskelig å skille mellom stein til innvendig og utvendig bruk, det ble derfor utlevert usortert stein til byggeplass som senere skapte misnøye blant murerne.

Regelverk og teglegenskaper

Teglsteinen fra Trondheim Mekaniske Værksted var utsatt for vær og vind i over hundre år, slik at det ble antatt at fasadestein tålte frost. I standarder (Norsk Standard) er det oppgitt at fasadetegl som er utsatt for fryse/tine-forhold, uavhengig om den er ny eller gammel, skal være oppført med teglstein som er frostresistent. For å kontrollere dette ble teglsteinens brenningsgrad undersøkt av fagfolk, for å bestemme om steinen var brent opp mot sintringspunktet. I tillegg ble noen belastningstester utført ved SINTEF Byggforsk (Norges

byggforskningsinstitutt) for å bestemme vannabsorpsjonsevnen og frostbestandigheten. Resultatene viste at kvaliteten på teglstein var ujevn.

På grunn av usikkerhet knyttet til frostbestandigheten ble de oppmurte bodveggene slemmet utvendig. I ettertid kan det virke som om fugetykkelsen var større ved bruk av gjenbrukstegl i forhold til nyere teglstein. Stein med mindre skader ble akseptert i den grad det var mulig å skjule det inne i konstruksjonen, og en hel side av teglsteinen kunne vende ut.



Figur 4-7: Manuell rensing på strekkmnett (foto: Njål Pettersen, Miljøenheten)



Figur 4-8: Håndrensing ved hjelp av hammer (foto: Njål Pettersen, Miljøenheten)

Annet

Det ble ikke lagt til rette for fremtidig gjenbruk av teglsteinen, utebodene ble murt opp med sementbasert mørtel.

Prosjektet møtte noe negativ motstand fra murerne som en følge av dårlig kommunikasjon. Teglstein som ble levert på byggeplass var dårlig sortert og dermed forsinket arbeidet.

Den største utfordringen knyttet til ombruk av tegl i dette prosjektet var blant annet ustabil materialtilgang og ressurskrevende materialbearbeiding. Dette gikk igjen for alle gjenbruksmaterialer benyttet i prosjektet. Lignende gjenbruksprosjekter på samme størrelse ble ikke anbefalt av de involverte aktørene, det ble også påpekt at gjenbruk egnet seg bedre på privatmarkedet i forhold til tilgang på byggematerialer, økonomi og konstruksjonsstørrelse. Gjenbrukshuset og Nybygget kunne ikke direkte sammenlignes prismessig pga. arbeidstreningsubsider, men kostnadene knyttet til Gjenbrukshuset lå ikke over tilsvarende boligprosjekter.

4.2.2 Rehabilitering av Torggata 13, Youngsgate 7 og Youngsgate 9 (2017)

Veidekke Entreprenør skal renovere tre murgårder samt oppføre et tilbygg ved Youngstorget i Oslo sentrum. Byggene er opprinnelig oppført i perioden 1861-1874 og har vernestatus, renoveringen underligger derfor krav fra byantikvaren i Oslo. Renoveringen ble påbegynt i november 2015 og forventes ferdigstilt i 2017. Nå er prosjektet er omtrent halvveis, slik at alt

sikringsarbeid er utført og teglkonstruksjonene bygges opp igjen. Intervjuobjektet i dette prosjektet var en murer.



Figur 4-9: Oppmuring av bergens hulmur (foto: Anita Spjøtvold)



Figur 4-10: Revet teglstein som skal mures opp igjen (foto: Anita Spjøtvold)

Prosjekteringsfasen og miljømessige betraktninger

Prosjektet er vernet etter Plan- og bygningsloven, og står på gul liste hos byantikvaren. Det gjør at det settes krav til at bygårdene skal oppføres til opprinnelig stand, blant annet gjennom bruk av kalkbaserte mørtler. Så mye som mulig av konstruksjonen skal beholdes, og revet teglstein skal benyttes til oppføringen av murgårdene igjen. Hvis gammel tegl ikke rekker til kan ny tegl med lignende fargespill benyttes, behovet for ny tegl var fortsatt på dette stadiet er uvisst. Begrunnelsen bak valgene ligger hovedsakelig i den antikvitariske interessen.

Eksisterende konstruksjon

Den eksisterende teglkonstruksjonen ble opprinnelig murt opp ved hjelp av kalkmørtel. Det har i senere tid blitt lagt til ulike endringer både utvendig og innvendig, blant annet har den ene av fasadeveggene blitt behandlet med en sementbasert puss. Selve teglkonstruksjonen er en blanding av 1 ½ stein kompaktmur og 1 ½ stein bergens-hulmur. Veggene i kjelleren er så mye som en meter tykke før de smalner oppover i bygningskroppen.

Rehabiliteringsprosessen

Deler av konstruksjonen var i dårlig stand, slik at noe har blitt revet. Dette vil bli bygd opp igjen med kalkmørtel eller en KC-mørtel (KC50/50 eller KC35/65). KC-mørtel bli kun brukt innvendig hvor det er behov for en sterkere konstruksjon for å stabilisere bygget. I tillegg er det noen deler av



Figur 4-11: Sementbasert puss på ene fasaden (foto: Anita Spjøtvold)

murgården som ikke skal bevares ettersom de ikke lenger innehar en funksjon eller er til hinder for planløsningen, eksempelvis en del av skorsteinene.

Ettersom kun deler av konstruksjonen blir revet foregår mye av rivningsarbeidet for hånd, på denne måten unngås at den øvrige konstruksjonen ikke tar unødig skade. Rensing av revet teglstein foregår fortløpende på byggeplass. Teglsteinen blir ikke umiddelbart sortert, men en undersøkelse av teglsteinen utføres før de mures opp igjen.



Figur 4-12: Sementbasert puss på ene fasaden (foto: Anita Spjøtvold)

Regelverk og teglegenskaper

Det ble sendt teglprøver fra murgårdene inn til SINTEF Byggforsk for å bestemme vannabsorpsjon og frostmotstandsevne. I rapporten (Bakken 2015) blir det konkludert at teglsteinen ikke har tilstrekkelig frostmotstandsevne for bruk i fasader i værhardt norsk klima, og at innvendig etterisolering av fasadene frarådes.

Etter rensing av teglstein var det uproblematisk å oppnå tilstrekkelig heft. I tillegg fuktes steinen før oppmuring slik at den ikke suger all fuktigheten ut av kalkmørtelen, hvilket kunne resultert i en svakere konstruksjon. Små skader på stein ble ikke ansett som problematisk under muring, da eventuelle skader ble kompensert for gjennom bruk av mer mørtel.

Annet

Ettersom alt blir murt med en svakere mørtel vil det være mulig å bruke teglsteinen om igjen senere.

4.2.3 Plusshuset i Larvik (2014)

Plusshuset i Larvik er et resultat av at flere aktører har gått sammen om å skape en bygning med null utslipp. Målet til bygningen var oppnå ZEB-OM, som innebærer at produksjon av fornybar energi på tomte skal kompensere for drivhusgasser knyttet til produksjon og drift av byggets komponenter. Både arkitekt, byggeteknisk prosjektleder og murmester ble intervjuet for å få en helhetlig forståelse av prosjektet.



Figur 4-13: Plusshuset i Larvik (kilde: <http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/>)

Prosjekteringsfasen og miljømessige betraktninger

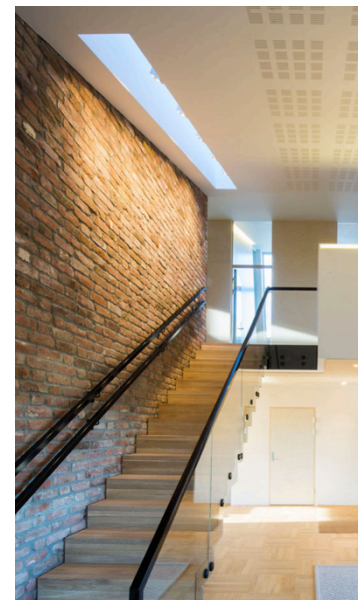
Bygningen trengte termisk masse og prosjekteringsteamet hadde lite lyst til å støpe betong, ettersom produksjon av betong forårsaker store utslipp av drivhusgasser. Ved å benytte gammel teglstein kunne de tilføre termisk masse, samtidig som produksjonsutslippene til teglsteinen ble neglisjert. Den gamle teglstein ble fraktet til tomte av en samarbeidspartner som hadde ærend like i nærheten av den eksisterende konstruksjonen og som uansett måtte kjøre tilbake til Larvik. På denne måten hadde de også mulighet til å se på transporten som gratis og eliminere alle utslipp knyttet til teglsteinen.

Eksisterende konstruksjon

Teglsteinen var av typen massivtegl og kom fra en revet låve i Rollag, omtrent 15 mil nord for Larvik. Noen fra prosjekteringsteamet befarte tomten for å inspiserte steinen og foretok en kvalitetssikring før de valgte akkurat denne teglsteinen. Det ble slått fast under inspeksjonen at teglsteinen ikke bar preg av å være skadet, lukte vondt, eller å ha vært brukt i en pipekonstruksjon.

Rivingsprosessen

Bonden som utførte rivingen hadde også utført lignende rivingsprosjekter tidligere. Dette gjorde at han etter hvert opparbeidet seg mye teglstein som kunne selges videre.



Figur 4-14: Muren fungerte som en termisk masse i bygningen (kilde: <http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/>)

Intervjuobjektene kunne ikke si mer enn at bonden utførte både sortering og riving, og tilføyde at dette var ikke problematisk i noen forstand.

Regelverk og teglegenskaper

Det ble ikke utført noen tester på teglstein av prosjekterende, det var heller ingen kjennskap til at bonden hadde utført noen. Prosjekterende hadde ikke kunnskap om at lovverket kan sette restriksjoner på bruk av ombrukstegl, slik at teglkonstruksjonen ble dimensjonert på normal måte. Ettersom veggen ikke var bærende var det ikke nødvendig å kartlegge styrkeegenskaper. Det ble ikke nevnt noen problemer med teglsteinen.



Figur 4-15: Teglkonstruksjonen ble murt opp med murmørtel (kilde: <http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/multikomfort-huset-i-bilder/>)

Annet

Konstruksjonen fikk kun tillatelse til å stå oppreist i 5 år etter ferdigstilling, med muligheter til å forlenge. Derfor er bygningen prosjektert slik at det skal være mulig å plukke den fra hverandre og flytte den til en ny lokasjon. Det er derimot ikke lagt til rette for ombruk av selve teglveggen da den er murt med en vanlig murmørtel. Foruten dette ble det kun ansett som positivt å benytte ombrukstegl.

5 Diskusjon

Denne oppgaven har hatt som mål å besvare tre problemstillinger rundt ombruk av teglstein i Norge. For å besvare disse blir problemstillingene drøftet opp mot det teoretiske grunnlaget og resultatene i den gitte rekkefølgen. Diskusjonen etterfølges av en konklusjon i kapittel 6 som samler og avrunder oppgaven. I tillegg diskuteres også metodene og deres validitet og reliabilitet mot slutten av kapitlet.

5.1 Ombruk er mer CO₂-effektivt

Ifølge avfallsstatistikken fra SSB (Statistisk Sentralbyrå 2015a) genereres bare 14 % av tegl m.m. avfallet fra riving, 65 % av avfallet oppstår ved rehabiliteringer, resterende 21 % kommer fra nybygging. Siden det ikke er spesifisert noe særlig rundt disse tallene kan det antas at store deler av dette er tegl som ikke kan benyttes om igjen på grunn av feilaktig riving, bruk av mørtel med høy fasthet eller at entreprenøren ikke ønsker å tilrettelegge for ombruk. Mye av teglsteinavfallet oppstår ved rehabiliteringer, hvilket kan bety at det foregår flere rehabiliteringsprosjekter i Norge enn rene rivingsprosjekter, som er positivt. Byggherrer velger å beholde gamle konstruksjoner og heller alterere det eksisterende i motsetning til å rive og bygge helt nytt. I denne oppgaven er det hovedsakelig tenkt på riving i form av riving av hele konstruksjoner, men her kan det se ut som at det også er viktig å ivareta teglstein som oppstår ved rehabiliteringsprosjekter. Det er kjent at ved rehabiliteringsprosjekter benyttes oftere de revne materialene når bygget blir oppgradert, særlig i sammenheng med verneverdige bygninger. På tross av dette blir det produsert store mengder avfall, og 81 % av det totale avfallet blir materialgjenvunnet. Selv om denne kategorien overgår målsetningen om at 70 % av avfallet fra bygg- og anleggsbransjen skal materialgjenvinnes innen 2020 er det viktig å benytte avfallshierarkiet og forsøke å forholde seg så høyt opp på hierarkiet som overhode mulig. Dette betyr å unngå materialgjenvinning da det senker bruksverdien i forhold til ombruk, som beholder den på samme nivå. Ved å designe for gjenbruk vil også konstruksjoner bidra til å forhindre at avfall oppstår i utgangspunktet, da den revne teglsteinen ikke trener å behandles som avfall men heller som en ressurs.

Ettersom Danmark har den største delen av markedet i Norge er CO₂-utslippene til dansk teglstein mest relevant å sammenligne opp mot ombrukstegl, i tillegg har den også de høyeste verdien av CO₂-ekvivalenter på tross av kortere transportavstand til Norge. Grunnen til dette er forskjeller i EPD hos de respektive landene, hvor EPD for belgisk tegl spesielt skiller seg ut med lave verdier under kategorien klimaendringer. Miljøbelastningen er betydelig lavere på nesten alle punkter, og differansen er av en størrelse som gjør bruk av grafisk sammenligning problematisk. Grunnen til dette er at kapasiteten ved de belgiske teglverkene er mye bedre utnyttet enn både de danske og tidligere norske teglverkene. For belgisk og nederlandsk tegl utgjør derfor transportutslippene 99 % av utslippene i forhold til den danske teglsteinen på 36 %. Miljømessig er derfor ikke bare Norge, men hele Europa tjent med at det

ikke importeres fra utlandet selv om industrien reduserer miljøpåvirkningene fra produksjonen. Jo kortere avstand teglsteinen må fraktes, desto høyere miljømessig utbytte.

Resultatene tilsier at import fra Danmark gir ni ganger høyere CO₂-avtrykk enn ombruk av gammel teglstein ved moderate transportavstander, 20 mil. Begge prosjektene som ble undersøkt gjennom kvalitativt intervju benyttet transportavstander under 20 mil, slik at antagelsen i beregningene virker å kunne gi et representativt bilde for CO₂-utslipp. Hvis transportavstanden av ombrukstegl blir doblet, det vil si 400 km, vil fortsatt CO₂-avtrykket til dansk teglstein være over fire ganger høyere. Fra Figur 4-3 observeres det at funksjonen som representerer ombrukstegl krysser dansk tegl på en avstand rundt 1800 km, dette betyr at ombrukstegl må transporteres en avstand tilsvarende en kjøretur fra Lindesnes til Narvik for å slippe ut like mengder CO₂ som dansk importtegl. Ved import av nederlandsk eller belgisk tegl vil avstandene være noe mindre, omtrent 1600 km.

Utslipp knyttet til transport var adskillig større enn riving av ulike type teglstein, forskjeller på densiteten utgjør marginale ulikheter på CO₂-utslippet selv om densiteten var 70 % høyere for eldre tegl. På bakgrunn av dette er det tydelig at CO₂-utslipp knyttet til ombrukstegl i all hovedsak avhenger av transportavstand, og at den miljømessige lønnsomheten er høy om teglsteinen transporteres minst mulig. Det er i CO₂-regnskapet ikke tatt hensyn til at teglsteinen må lagres på noe spesielt vis, som potensielt skaper økte utslipp. I realiteten kan dette være en problematikk som er svært aktuelt på små byggeplasser uten mulighet til å lagre store kvanta materialer. Teglstein er i utgangspunktet relativt enkelt å oppbevare da det kan lagres utendørs uten noen spesiell beskyttelse, forutsatt at den er frostsikker. Om mellomlagring er nødvendig kan det fort påløpe unødig transport som gir økte CO₂-utslipp.

Prosjektteamet for Plusshuset i Larvik eliminerte utslipp knyttet til transport ved at en samarbeidspartnerne var i området og måtte kjøre en større varebil tilbake til Larvik uavhengig av teglsteinen. Slike løsninger bidro til en reduksjon i CO₂-regnskapet uten at den reelle avstanden nødvendigvis er holdt lav. Det kan umiddelbart settes spørsmålstegn ved at de valgte å ikke inkludere noen utslipp fra transport, da en varebil lasset full med teglstein vil øke drivstofforbruket. Likevel kan det være verdt å ta med seg at det er fordelaktig å utføre henting av materialer på steder hvor involverte aktører pendler, og at det uansett vil føre til en reell reduksjon i CO₂-utslipp. På rehabiliteringsprosjekter er det også mulig å eliminere utslipp relatert til transport da dette ofte er lokalt ombruk av teglstein på byggeplass.

Gjenbrukshuset i Trondheim benyttet meget lokal stein, kun 15 km unna tomte på Tiller. Det ble benyttet en mellomstasjon på Stavne Gård hvor steinen ble rensset, sortert og lagret til den kunne fraktes til byggeplass. Det antas at Stavne Gård ligger et sted mellom eksisterende konstruksjon og byggeplass som utgjør mindre enn den antatte transportavstanden i oppgavens CO₂-regnskap på 20 mil, uten at dette har vært mulig å bekrefte. Hvor store utslippstillegg som påløper er uvisst ettersom det ikke oppgis nøyaktige transportavstander i noen av rapportene. Foruten denne observasjonen konkluderte rapporten fra Modahl og Raadal (2003) med at gjenbruk av teglstein (inkluderer takstein) bidrar til størsteparten av miljø- og miljøkostnadsgevinsten. Ved avlesing av en graf for drivhuseffekt kan det virke som om det er tilnærmet null utslipp knyttet til ombruk av tegl, men i mangel på en tabell kan ikke dette spesifiseres ytterligere. Det må her påpekes at dette ikke inkluderer sortering, rensing og mellomlagring, kun dieselforbruket tilknyttet hvert materiale (50 % av dieselforbruket ved selektiv riving ble belastet teglsteinen).

Det er mulig å forsvare de store utslippene fra produksjon av teglstein ved å fremheve teglsteinens lange levetid og lave vedlikeholdsbehov. Teglstein er i seg selv et miljøvennlig materiale under driftsfasen. Den opprinnelige energikrevende produksjonen kan sees på som et insentiv til å bruke teglsteinen så lenge den holder en teknisk forsvarlig tilstand, som ofte er langt over de deklarererte 150 årene i EPD. Ett bygg bestående av en teglfasade som blir revet etter 120 år i drift vil ikke ha utnyttet potensiale i teglsteinen eller kompensert for miljøbelastningene i tilstrekkelig grad. Normalt vil den revne teglsteinen i dag bli materialgjenvunnet og benyttet som fyllmasser eller lignende, hvilket reduserer bruksverdien, i motsetning til å benytte teglsteinen om igjen i sin opprinnelige form. Ombruk av teglstein vil i større grad skape en miljøforsvarlig levetid ved å opprettholde bruksverdien og unngå ytterligere utslipp gjennom materialgjenvinning.

5.2 Hvorfor blir ikke ombruk praktisert?

Det er et omfattende regelverk som legger mange føringer for hvordan en murkonstruksjon kan prosjekteres og utføres i Norge, uavhengig om konstruksjonen er bærende eller ikke. Dagens teglkonstruksjoner går normalt under kategorien ikke-bærende, og fungerer kun som en klimaskjerm da et annet bæresystem (f.eks. stål eller treverk) tar opp kreftene i konstruksjonen. Teglsteinen bærer derfor kun egenvekt og eventuelle krefter forårsaket av miljøet rundt (f.eks. vind), dette senker aktuelle krav til trykkfasthet slik at det i prinsippet ikke alltid vil være nødvendig å benytte en mørtel med høy fasthet. På tross av dette har trenden vært tydelig i norsk byggeskikk ved å benytte murmørtel med stadig høyere fasthet, som igjen har satt hindringer med hensyn på fremtidig ombruk. I motsetning til betongen som er sårbar for overarmering (også kjent som angstarmering), er ikke teglkonstruksjon på samme måte sårbar overfor en sterk mørtel. En ingeniør kan fort heller velge å være tilstrekkelig på den sikre siden i sine beregninger for å unngå en situasjon der konstruksjonen ikke holder mål. Ved bruk av mørtel som overstiger styrken til teglstein vil bevegelse i konstruksjonen fremme sprekkdannelse i selve teglsteinen. En svak mørtel vil i motsetning gi sprekkdannelse i selve mørtelfugen. Denne differansen mellom mørteltypene kan være fordelaktig ettersom vedlikehold av fuger er mindre kostbart i forhold til større rehabiliteringsarbeider. Det må også tilføyes at slike tilfeller ikke har blitt observert direkte i Norge, slik at dette er spekulasjoner enn så lenge.

En stor svakhet knyttet til eurokode 6 i forhold til ombruk, er at den enda ikke har inkorporert det grunnleggende kravet om bærekraftig bruk av naturressurser. Det er spesielt punktet som omhandler tilrettelegging for at materialet senere skal kunne brukes på nytt eller gjenvinnes. For øyeblikket foreligger det ikke noe informasjon når eurokode 6, da spesielt interessert i NS-EN 771-1, skal revideres for å ta hensyn til det nye kravet. Byggeindustrien er generelt preget av sterke tradisjoner og bruker lang tid på å inkorporere nye strategier, og derfor er det grunn til å tro at den norske byggeindustrien vil fortsette å velge bort tilrettelegging for gjenvinning til en fornyet standard er på plass. På tross av dette har flere bedrifter innsett de økonomiske fordelene som ligger i å fokusere på bærekraftig byggeskikk og legger dermed press på et skifte mot bærekraftig utvikling i markedet.

Selv om det ikke kreves CE-merking av gammel teglstein skal den ikke benyttes uten at det har blitt foretatt undersøkelser om hvorvidt teglsteinen fortsatt er egnet som en del av en konstruksjon, helst i form av destruktive tester på et utvalg. For at testene skal ha høyest mulig validitet benyttes det et selektivt utvalg av de gamle teglsteinene, og på denne måten unngå å velge mellom usikkerheten knyttet til den individuelle steinens egenskaper, og å teste nesten alle stein. Det har vært påstander fra fagmiljøet (Bisgaard 2013) at en representativ samling ikke kan fremkomme når man håndterer ombrukstegl. En slik representativ samling skal benyttes når en tilfeldig samling ikke kan utføres etter retningslinjene i NS-EN 771-1 appendiks A. En tilfeldig innsamling av teglstein krever store forsendelser, som ofte ikke er realiteten ved ombrukstegl. En representativ samling kan foregå på flere måter avhengig av hvordan teglsteinen ankommer prosjektet, og videre har det blitt reist spørsmål om det er mulig å påstå at det faktisk er et representativt utvalg ved å følge disse prosessene. Dette bunner i usikkerheten knyttet til hvilke fabrikker steinene opprinnelig stammer fra, og om de kan sammenlignes i den grad at det kan utføres et representativt utvalg for videre undersøkelse.

Samtidig kan det tenkes at bransjen er så vant til å benytte CE-merkede produkter at prosjekterende aktivt unngår materialer som ikke underligge denne ordningen. Hvis en forhandler skulle ønske å CE-merke gammel teglstein vil problematikken ovenfor med representativt utvalg bestå, i tillegg til krav om fabrikkkontroll. Fabrikkkontroll er problematisk ettersom gammel teglstein kan være av ukjent opphav, ha manglende dokumentasjon, eller være fra en fabrikk hvor det ikke ble utført kontroller av en tredjepart. Dette vil ofte være en direkte konsekvens av at kravene til teglstein og rutiner har økt siden den aktuelle teglsteinen ble produsert, hvilket fører til at teglsteinen ikke kan imøtekomme kravene som stilles i dag. Det er også problemer knyttet til variasjonen innad i et parti og mellom de ulike partier fra én og samme fabrikk. Større usikkerheter vil oppstå når det sammenlignes tegl fra ulike fabrikker, som bare i Norge har vært opp i over hundre teglverk.

Ifølge Bisgaard (2013) endrer teglsteinen egenskaper gjennom bruksfasen og ved riving, som benyttes som et argumentene for at teglstein ikke egner seg til ombruk i forhold til å deklare egenskaper. Uten å ha noen reelle data og vise til er det umulig å bedømme hvorvidt denne uttalelsen holder stand og i hvilken grad den må tas hensyn til. Ved å benytte kategorier med høye toleranser kan det være mulig at teglsteinen fortsatt kan behandles innenfor de standarder som er satt og deklare egenskaper blant annet i en DoP. Det er først og fremst i forhold til konstruksjonssikkerhet det er interessant å undersøke teglsteinens egenskaper for å kontrollere om den er egnet til ny bruk. Differansen som oppstår mellom det ferdigstilte produktet og samme produkt etter 60 år i bruk, vil være interessant å studere for å estimere tilstand til dagens produserte teglstein etter å ha vært i bruk i et visst antall år.

En av hovedårsakene til at ombruk av teglstein ikke blir praktisert mer i Norge er mangel på kunnskap og kompetanse i bransjen. Det eksisterer flere avhandlinger og rapporter som håndterer ombruk av teglstein og beskriver forutsetninger og fremgangsmåter for å benytte gammel tegl i nye konstruksjoner, men det virker ikke som disse har lyktes i å fullstendig inkorporere seg i byggeskikken og gi tilstrekkelig kunnskap. Denne mangelen på kunnskap gjør at metoder slik som selektiv riving, som er essensielt for å bevare teglsteinen best mulig, ikke blir praktisert. Om metoden praktiseres uten tilstrekkelig kunnskap kan den ofte være tidkrevende og potensielt farlig om det ikke utføres tilstrekkelige sikkerhetsprosedyrer.

5.3 Tilrettelegging for ombruk

Et nøkkelpunkt for å øke tilrettelegging for ombruk i dag og videre i fremtiden er å øke kunnskapsnivået innad i bransjen. To metoder for å øke kunnskapsnivået er å fortsette å benytte og utvikle miljøklassifiseringsverktøy slik som BREEAM-NOR og benytte miljørådgivere med spesialkompetanse på gjenbruk av materialer. I tillegg må gammel teglstein gjøres mer tilgjengelig for ny bruk, med tilstrekkelig dokumentasjon for å forsikre ny bruker om at teglsteinen har adekvate kapasiteter.

5.3.1 Gjenbrukssentral

Tilgangen på gammel teglstein for kommersielle bedrifter er primært begrenset til ulike markedsplasser som FINN.no og publiserte rivingstillatelser på OEP sine nettsider. Det eksisterer også mindre gjenbrukssentraler, men ingen av en størrelse som kan bistå større byggeprosjekter. Det er derfor opp til prosjektledelsen å etterspørre gammel teglstein og oppsøke den selv, som kan oppfattes som en uøkonomisk og tidkrevende prosess på tross av potensielle miljøgevinster. En del av denne problematikken vil kunne elimineres om det opprettes større gjenbrukssentraler i sentrum av aktive byggefelt, for eksempel i Oslo-regionen, og på denne måten bistå prosjektledelsen med materialer og veiledning. Blant annet vil det være fordelaktig å konsultere erfarne murere, særlig de som har arbeidet mye med gammel teglstein. De har gjennom flere år opparbeidet seg erfaring knyttet til teglsteinens egenskaper, slik som farge og klang, og vil kunne bistå blant annet i sorteringsprosessen. En befaring av eksisterende konstruksjon før riving kan også kartlegge teglsteinens egenskaper basert på hvor teglsteinen er plassert, utseende og eventuelle skader. Dette vil kunne forenkle problematikken som blant annet oppstår med representativt utvalg ettersom teglstein på eldre bygninger ofte er fra flere ulike ladninger. Det har tidligere eksistert lignende gjenbrukssentraler, blant annet ble det opprettet kontinuerlig drift av gjenbrukssentralen ReBygg på Stavne Gård etter at Gjenbrukshus-prosjektet ble avsluttet. Denne gjenbrukssentralen fungerte som arbeidstrening, men ble dessverre lagt ned i 2010 etter å vært for kostnadskrevede og ineffektivt i forhold til annen arbeidstrening.

En velfungerende gjenbrukssentral vil kunne bidra med erfaring og kunnskap innen gjenbruk av ulike materialer og videreutvikle teknologi som effektiviserer rensing av teglstein (lignende de løsninger som Gamle Mursten benytter). På gjenbrukssentraler kan teglstein fra både private og kommersielle parter leveres umiddelbart etter endt riving mot å slippe å betale eventuelle avgifter knyttet til deponering eller materialgjenvinning. Dette vil samtidig bidra til å redusere behovet for mellomlagering for videre prosjekter. Det har tidligere blitt vist gjennom et CO₂-regnskap at det er selve transporten av gammel teglstein som har størst betydning for miljøpåvirkningen. Ved bruk av en gjenbrukssentral vil det øke transportbehovet ved at teglsteinen både må fraktes til sentralen og deretter til det aktuelle prosjektet. Eksisterende konstruksjon og prosjektetomten bør derfor ligge i relativ nærhet av gjenbrukssentralen for å minimere nødvendig transport. En gjenbrukssentral kan også fungere på den måten av den bringer sammen avhending av materialer med nye prosjekter, som vil lett behovet for lagerkapasitet på gjenbrukssentralen og gi en ytterligere miljøgevinst. Her kan erfarent personell veilede overtagelsen mellom selger/kjøper og sørge for at materiale er

av tilstrekkelig kvalitet med en bakgrunn i noen generelle retningslinjer og stikkprodukttesting. Det vil her være en forutsetning at teglbygninger som er oppført med svakere mørtel rives selektiv på tross av at det på forhånd ikke er forespurt teglstein til spesifikke prosjekter. Om en gjenbrukssentral ikke benyttes vil den selektive rivingen legge til rette for ombruk ved et senere tidspunkt.

5.3.2 Myndigheter og insentiver i bransjen

Økte insentiver og tilrettelegging for ombruk styres i stor grad av myndighetene og lovverket de forvalter. De overordnede rammebetingelsene for ombruk kan forbedres ved å revidere TEK og standarder for å legge inn egne føringer for bruk av gammel teglstein og redusere krav til dokumentasjon uten av det går på bekostning av konstruksjonssikkerheten. Slike revisjoner krever på en annen side lang behandlingstid og omfattende innhenting av dokumentasjon om gamle materialer og ombruk. Dette betyr at tiltaket først vil gi insentiver til ombruk på sikt. Et tiltak for umiddelbar tilrettelegging er mulig for hver enkelt kommunene ved å fremme ombruk av teglstein gjennom godkjenning av byggesaker. Et slikt tiltak gir resultater på kort tid uten å være for ressurskrevende. En kombinasjon av disse kort- og langsiktige tiltakene optimaliserer tilretteleggingen og øker forhåpentligvis bransjens bevissthet og praktisering av ombruk. Videre kan aktører i byggebransjen oppfordre til bruk av ordninger som fremmer bærekraftige bygg, slik som BREEAM-NOR og standarder for miljøstyring. Om generelle oppfordringer ikke er tilstrekkelig vil de fleste prosjekter være tjent med å benytte slike ordninger, det kan derfor diskuteres om bruk av slike ordninger bør opprettes som krav. Et system hvor prosjekterende må benytte seg av én eller flere ordninger/standarder som har fokus på en bærekraftig byggeskikk kan tenkes å være nødvendig for å få den helomvendingen som stadig flere vitenskapsfolk etterlyser. Bransjen ser ut til å bevege seg i denne retningen, men det observeres blant annet at mindre og desentraliserte bedrifter ofte ikke benytter seg av miljømål. Det er viktig at alle aktører som er involverte i byggebransjen får et felles verdisyn gjennom å skape mer miljøvennlige bygg, og at dette kan spre seg ut til alle bedriftene i Norge.

Igjen må viktigheten i forhold til bruk av svakere kalkbaserte mørtler påpekes som det mest essensielle tiltaket for å tilrettelegge for senere ombruk av teglsteinen. Bransjen må oppfordres til å benytte gammel teglstein så lenge det er forsvarlig i henhold til konstruksjonssikkerhet. Insentiver på dette kan oppstå innad i bransjen på sikt, men innen det skjer har organisasjonene med myndighet over regelverket et ansvar for å revidere og åpne opp for en fleksibilitet slik at ansvarlig prosjekterende kan benytte gammel tegl samtidig som de holder seg innenfor lovverket. Det kan også tenkes at opprettelse av en ny type standard som kun tar for seg ombruk og ombruksmaterialer kan utarbeides, mye av det diskutert i denne oppgaven vil potensielt ha berørt noen essensielle punkter som kunne inngått i en slik standard. Standarden ville kunne utarbeides av Standard Norge, men for en internasjonal standard må den utarbeides av CEN på bakgrunn av felles bestemmelser i EU/EØS. Dette går litt utenfor tiltak som kan iverksettes i Norge, men det er et forslag norske politikere kan fremme overfor EU.

Dagens bygninger underligger store krav om fleksibilitet og endringsdyktighet for å holde følge med den kontinuerlige endringen av funksjon og bedrifters behov for å fornye seg. Ved

å innføre krav om en demonteringsveiledning sammen med FDV-dokumentasjonen sikres minimale tap av materialer under oppussing og rivningsarbeid.

Nordby (2009) nevnte økte avgifter på avfallsdeponering som et tiltak for å hindre at avfall oppstår. Et slikt tiltak kan gi insentiver for å velge behandling høyere opp på avfallshierarkiet, samtidig er det også viktig å vurdere bedriftene som heller vil velge å utføre ulovlig deponering for å unngå avgifter. Et slikt tiltak fra regjeringens side må derfor ha et riktig rammeverk rundt seg for å forhindre at slike episoder oppstår. Ulovlig deponi kan føre til at farlige stoffer frigjøres i både luft og grunnvann, og dermed være en fare overfor nærliggende fauna og natur. En skjerpet kontroll av avfallsstrømmene kan sammen med et slikt tiltak bidra for en bedre håndtering av avfall.

5.3.3 Maksimalt utnyttelse av teglstein

Mye av den gamle teglsteinen vil ikke egne seg til utendørs bruk, men har ofte tilstrekkelige egenskaper til å kunne benyttes innendørs. I tillegg til å være et dekorativt innslag i interiøret vil teglsteinen også bidra som termisk masse og regulere svingninger i romtemperaturen. Andre kreative måter å benytte gammel teglstein på kan være som gulvfliser, skranker, oppbevaringsseksjoner og som elementer i landskapsarkitekturen. Den høye generaliteten til teglstein gir en fleksibilitet innenfor moduldesign med tilnærmet ubegrensede muligheter.

Nordby (2009) publiserte retningslinjer for hvordan konstruksjoner bør designes for å best mulig legge til rette for ombruk ved avhending. De seks designprinsippene: begrenset materialvalg; lang holdbarhet; høy generalitet; reversible forbindelser; fornuftig lagdeling; og tilgjengelig informasjon; er utarbeidet av en arkitekt og orienterer seg i hovedsak mot arkitekter/designere. For å oppnå best mulig resultat bør prinsippene utvides slik at de også kan henvende seg til alle prosjekterende, inkludert ingeniører og entreprenører. Videre presenteres fire ulike prosesser knyttet til ombruk som bygger videre på Nordbys designprinsipper.

Riving bør utføres selektivt for å: minimere skader på teglsteinen, øke gjenbrukseffektiviteten og forenkle sorteringsprosessen.

Sortering av teglstein er essensiell for å sørge for at teglsteinen som benyttes er egnet til den tiltenkte bruken, i tillegg må større uønskede materialelementer slik som armeringsjern fjernes. Sorteringen bør utføres av kyndig personell som har erfaring i å skille ulike typer stein fra hverandre, dette vil også være tidspunktet hvor det legges et grunnlag for et representativt utvalg som senere blir sent til testing.

Rensing fjerner alle rester av mørtel på teglsteinen. Flere metoder kan benyttes her, på Gjenbrukshuset viste det seg at rensing ved hjelp av et strekkmetallbord og bruk av høytrykksspyler var effektivt.

Muring av gammel teglstein ble ikke sett på som problematisk i noen av prosjektene undersøkt. Det var tilstrekkelig med heft mellom teglstein og mørtel så lenge overflaten av teglsteinen var tilstrekkelig rengjort. Ideelt sett så mures teglsteinen opp med en kalkmørtel som legger til rette for at teglsteinen kan rives selektivt og benyttes om igjen, og slik skapes en kontinuerlig syklus. Skadet stein kan benyttes om det ikke har noen konstruksjonsmessige problemer. På Gjenbrukshuset i Trondheim ble teglstein med mindre skader fortsatt benyttet

om de kunne mures inn på den måten at den skadede siden ikke var synlig i den ferdige konstruksjonen.

Det er usikkert hvor mange generasjoner en murstein kan benyttes om igjen uten å ha tapt sin integritet. Før eller siden vil teglsteinen ikke lenger egne seg til ombruk og kan da materialgjenvinnes. Ved å bruke steinen om igjen så lenge det lar seg gjøre optimaliseres den miljøforsvarlige levetiden og de opprinnelige CO₂-utslippene er berettiget.

5.4 Validitet og reliabilitet

For å kunne trekke gyldige slutninger i et studie er det viktig å diskutere metodens validitet og reliabilitet. Validitet beskriver gyldigheten av én eller flere slutninger på bakgrunn av et studie eller resultater fra et forsøk (Dahlum 2015). Normalt skilles det mellom to typer validitet: ytre validitet sier noe om resultatene kan generaliseres til å gjelde for eksempel hele befolkningen med utgangspunkt i et resultat fra aktuelle utvalg; indre validitet beskriver hvorvidt resultatene fra forsøket eller studiet kan forklares gjennom den antatte hypotesen. En viktig betingelse for å trekke en gyldig slutning er å ha høy reliabilitet. Reliabilitet defineres som et mål på hvor mye målinger varierer under samme betingelser (Svartdal 2009). Den henviser også til om et resultat kan reproduseres av andre forskere på et senere tidspunkt ved hjelp av samme metode (Kvale & Brinkmann 2015). Disse definisjonene for validitet og reliabilitet vil benyttes for å rette et kritisk blikk på alle de tre metodene benyttet i denne oppgaven.

5.4.1 Litteraturstudie

Hver kilde fra litteraturstudiet har blitt grundig undersøkt og gjennomgått for å få en forståelse for validiteten og reliabiliteten. Kilder fra søkemotoren Google kan ha lavere pålitelighet, slik at leksikon og offisielle nettsider i hovedsakelig har blitt benyttet.

Mye av litteraturen benyttet i denne oppgaven har blitt funnet gjennom annen relevant litteraturs referanselister, slik som avhandlinger, rapporter og bøker. Ved å benytte samme litteratur som bransjen selv refererer til i sine rapporter og avhandlinger styrker det teorigrunnlagets validitet.

5.4.2 CO₂-regnskap

Den ytre validiteten til beregningen av CO₂-utslipp er begrenset ettersom det utelukkende har vært EPD fra Wienerberger og deres teglverk som har blitt omtalt. De tallene som blir presentert i denne masteroppgaven kan ikke uten videre skaleres opp til å gjelde generelt i Norge. På en annen side har disse funnene høy validitet da metodene innad i Wienerberger antas å være standardiserte. De kan dermed gi et generelt inntrykk av hvor lønnsomt, i form av redusert CO₂-utslipp, det er å benytte ombrukstegl.

Et produkts EPD har en begrenset gyldighetsperiode, og det eksisterer kontinuerlige krav om oppfølging av verdiene for å kontrollere at de stemmer overens med senere målte verdier. Hvis det oppstår avvik på over 10 % må EPD oppdateres. Det antas at Wienerberger som bedrift har god rutine og følger opp sine produkter, men det vil alltid foreligge en viss usikkerhet i tallene som påvirker validiteten.

Det er vanskelig å generalisere hvor mange kg CO₂ som slippes ut ved riving ettersom dette avhenger av benyttet rivemetode og gammel teglsteins tilgjengelighet. Rapporten fra Kalk- og Teglværksforeningen et al. (2000) er en eldre dansk rapport som verken spesifiserer rivemetode eller andre forhold som påvirker utslippene, slik at den verdien som er benyttet ikke nødvendigvis stemmer overens med norske forhold eller metoder. I mangel på mulighet til å innhente egne data på riving ble verdiene fra den danske rapporten benyttet.

Manglende datagrunnlag og erfaringstall gjør at det ikke har blitt undersøkt i detalj hvor mange teglstein som kan benyttes om igjen etter endt riving. Den mekaniske produksjonseffektiviteten fra Gamle Mursten sin patenterte maskin vil ikke oppnå tilsvarende effektivitet som en håndrenningsprosess. Rensing for hånd vil være mer skånsom og tidkrevende per individuelle teglsteinen. Derfor vil det realistiske prosentvise utbytte av teglstein levert til håndrensing være større enn verdien fra Gamle Mursten. Til tross for dette blir produksjonseffektiviteten også i denne oppgaven holdt på 64,6 % for å unngå overestimering ettersom tall på håndrensing ikke eksisterer i Norge.

Usikkerhet til validiteten til datagrunnlaget vil resultere i en usikkerhet tilknyttet kg CO₂-ekvivalenter sluppet ut. På en annen side antas transportgrunnlaget å være av høy nøyaktighet da det benyttes pålitelige databaser for beregninger som bransjen selv benytter for utarbeiding av LCA. Ettersom rundt 1 % av utslippene er knyttet til riving og sortering (ved 200 km transport) er det transportavstanden og tilhørende utslipp som er dominerende. Dermed vil ikke validiteten til CO₂-regnskapet for ombrukstegl reduseres bemerkelsesverdig.

5.4.3 Kvalitativt intervju

Tematikken til intervjuet var basert på tilegnet teori gjennom litteraturstudiet. Fra det teoretiske grunnlaget ble det utarbeidet spørsmål om hvordan bransjen praktiserte og forholdt seg til ombruk i prosjekter. Validiteten til tematikken er derfor tett beslektet med validiteten til litteraturstudiet.

For å kunne utføre et vellykket intervju må intervjuer ha tilstrekkelig med kunnskap om intervjuemnet (Kvale & Brinkmann 2015). Det var derfor viktig å utføre intervjuer som en avsluttende del av oppgaveskrivingen, hvor både litteraturstudiet og CO₂-regnskapet var utført. Fra intervjuerens side var det et bevisst valg å stille klare og enkle spørsmål, og samtidig være åpen og lytte oppmerksomt til intervjuobjektet. Det ble i tillegg stilt kritiske spørsmål om det var usikkerhet knyttet til informasjonen fra intervjuobjektet, dette bidro i å oppklare ulike temaer og styrte intervjuet.

Intervjuobjektene var ulike aktører som var direkte involvert i prosjektets planlegging og/eller de som håndterte murkonstruksjonen. Hvilke personer som ble kontaktet for hvert prosjekt varierte, det viktigste var at intervjuobjektet hadde tilstrekkelig kunnskap innen de ulike hovedtemaene for intervjuet. Hvis intervjuobjektet ikke hadde tilstrekkelig kunnskap

ble det fulgt opp med spørsmål angående hvilke personer som kunne sitte på denne kunnskapen og muligheter for å få kontaktinformasjon. De fleste intervjuobjektene var meget samarbeidsvillige og kunnskapsrike, de gav lange sammenhengende beskrivelser og holdt seg innenfor tematikken. Noen intervjuobjekter var det problematisk å oppnå kontakt med, og fortalte at de ikke hadde mulighet til å stille opp for et lengre intervju. I slike tilfeller ble det benyttet en meget direkte tilnærming for å få raske konsise svar, og på denne måten utføre intervjuet på kort tid. På grunn av ulike bakgrunner til intervjuobjektene, særlig ved Plusshuset i Larvik, gav de samlede intervjuene representativ og nøyaktig informasjon.

Selve undersøkelsesopplegget var delt opp i hovedtemaer som berørte formålet med intervjuet tidlig. Dette kunne oppleves som en direkte intervjuform av intervjuobjektene, som deretter kunne ført til at det ble holdt igjen informasjon for intervjueren. På tross av dette ble informasjonen formidlet sett på som adekvat i forhold til intervjuets formål. Under intervjuene ble liten grad av sensitiv og personlig informasjon utvekslet, som gjør at en mer direkte fremgangsmåte kan være passende. I noen tilfeller hadde intervjuobjektene begrenset tid tilgjengelig for et intervju, slik at de satte pris på å en direkte tilnærming for å redusere tidsbruken. En svakhet knyttet til denne formen å føre et intervju på er at visse nyanser kan gå tapt ved at det ikke tas tid til å benytte en mer åpen og imøtekommende tilnærming.

Under intervjuet svarte intervjuobjektet først med lengre generelle svar knyttet til hovedtemaet. Svarene var innholdsrike og relevante for formålet med studiet. Kombinasjonen korte spørsmål og lange svar blir ansett som en av flere kvalitetskriterier for et intervju (Kvale & Brinkmann 2015). Hvis intervjuobjektets svar ikke skulle dekke hele hovedtemaet ble det utført oppfølgingsspørsmål eller, om nødvendig, direkte spørsmål på akkurat den ene delen. Disse svarene var normalt kortere og mer konsise. Flere ganger i løpet av et intervju ble det også utført kontinuerlig kontroll av informasjonen ved å gjenta uttalelser og komme med oppfølgingsspørsmål. Ledene spørsmål ble forsøkt unngått da dette kan påvirke svarene til intervjuobjektet. Til tross for dette kan det oppstå situasjoner hvor intervjueren ubevisst stiller ledene spørsmål. På grunn av mangel på båndopptaker har det ikke vært mulig å analysere dette i ettertid.

En tydelig svakhet knyttet til disse intervjuene var at ingen ble tatt opp på en båndopptaker (Kvale & Brinkmann 2015), men kun notert i stikkordsform. Dette førte også til at det ikke ble utført en direkte transkribering, men et utfyllende notat basert på stikkordene umiddelbart etter intervju. Svakheten med dette er at det ikke er mulig å gå tilbake til det aktuelle intervjuet for å foreta flere analyser av hva intervjuobjektet mente med de spesifikke uttalelsene, og dermed svekkes validiteten i de rapporterte resultatene. Selv om det ikke forelå noen transkripsjon av intervjuene ble det foretatt en enkel analyse av informasjonen. Informasjonen fra intervjuobjektene var direkte, som et resultat av intervjuformen, hvilket reduserte sannsynligheten for feiltolkning av svarene til intervjuobjektet. Dette bidro også til å øke reliabiliteten under diskusjonskapittelet. Intervjuene var faktabaserte hvilket reduserer intervjuobjektens sannsynlighet til å endre svar i intervju med andre forskere og øker reliabiliteten (Kvale & Brinkmann 2015).

Det ble ikke utført et direkte intervju av de involverte i Gjenbrukshuset, men benyttet detaljerte rapporter om ombruksprosessen og de miljømessige, sosiale og økonomiske forholdene rundt. Selv om den tilgjengelige informasjonen er detaljert kan det imidlertid ikke påstås at denne informasjonen omfatter alle aspektene for ombruk av teglstein som

etterspørres under hovedtemaene i intervjuene. For å forsikre om korrekt informasjon og samtidig favne om flere sider av de ulike temaene kunne intervjuer kontaktet involverte parter for å undersøke om noen kunne stille opp til intervju. Selve prosjektet ble ferdigstilt for tretten år siden, og som en følge kan potensielle intervjuobjekter ha glemt mye av prosessen og referere videre til rapporter. Til tross for dette blir det ansett som en svakhet å ikke ha kontaktet involverte direkte, men validiteten svekkes ikke betydelig ettersom offisielle rapporter er benyttet.

6 Konklusjon

I CO₂-regnskapet var det tydelig at ombruk av teglstein i Norge slapp ut mindre CO₂-ekvivalenter enn import fra utlandet. Differansen avhenger sterkt av hvor langt teglstein må transporteres. Potensielt sett kan dagens teglstein få en lengre levetid ved å unngå avhending som reduserer bruksverdien, slik som knusing. Denne typen behandling kan ikke rettfærdiggjøre produksjonen i et miljømessig perspektiv, slik at ombruk av teglstein derfor bør praktiseres helt til det ikke lenger er konstruksjonsmessig forsvarlig. Dagens teglbygninger bør også tilrettelegges for senere ombruk, gjerne i henhold til de seks designprinsippene utarbeidet av Nordby (2009).

Sett bort i fra ulike miljømål satt av myndighetene, er ikke regelverket særlig tilrettelagt for ombruk. Det nye grunnleggende kravet om bærekraftig bruk av naturressurser er fortsatt ikke implementert i standarder for teglstein. Det har også vist seg problematisk med krav til dokumentasjon av egenskaper, representative utvalg og utførelse av fabrikkkontroller slik det står i standarden. Hvis et produkt har dokumenterte egenskaper, vil den gjennom flere års bruk og riving endres. Om disse endringer overgår de oppgitte toleranser er uvisst.

Til tross for de tydelige fordelene ved ombruk av teglstein er det ikke en tradisjonell behandling av teglavfall, og flere av årsakene til dette kan relateres til en generell mangel på kunnskap. En metode for å forenkle og legge til rette for ombruk er å opprette kunnskapssentre i form av gjenbrukssentraler rundt om i landet. Disse sentrene vil bistå prosjekterende med ferdigsorterte og rensede materialer, samt nødvendig kunnskap for å sikre forsvarlig bruk. For å eliminere transport av tegl kan sentralen heller veilede ombruksprosessen. I tillegg bør dagens rammeverk og byggeteknisk forskrift revideres og legge mer til rette for ombruk. Et slikt tiltak er tidkrevende og kan ha en forsinket effekt etter iverksettelse. Tiltak som raskere øker ombrukspraksisen kan være: kommuner som fremmer ombruk gjennom saksbehandlinger; oppfordring til bruk av miljørettede ledelsessystemer og miljøklassifiseringer; og krav til demonteringsveiledning sammen med FDV-dokumentasjon.

Innledningsvis ble det presentert en gammel industrialisert teglbygning som var i risikogruppen for riving. Dette presenterte økonomiske, sosiale og miljømessige tap. Her bør alle involverte benytte anledningen til å hindre ytterligere tap av ressurser og bruke teglsteinen i nye prosjekter og dermed gi den en miljøforsvarlig levetid som er bedre rustet for å ivareta morgendagens utfordringer.

7 Videre arbeid

I denne oppgaven har det vært problematisk å finne prosjekt som har benyttet seg av ombruk annensteds. Gjennom arbeidsperioden var det kun mulig å finne to bygninger foruten rehabiliteringsprosjektet. Ingen av disse prosjektene hadde vurdert regelverket i noen særlig grad, men valgte å ikke benytte teglsteinen som en del av bærekonstruksjonen på grunn av usikkerhet knyttet til materialkvalitet. Det ville vært interessant å undersøke flere prosjekter som ser mer på disse restriksjonene og kartlegge ombruksprosessen, her må nok søket utvides utenfor de norske landegrensene. I Danmark er det naturlig nok flere aktuelle prosjekter ettersom den danske bedriften Gamle Mursten tilbyr gammel teglstein i stor kvanta.

På grunn av tidsrestriksjoner ble det tatt utgangspunkt i et knippe standarder og deretter kommentert de restriksjoner som kan tolkes ut fra disse. Ombruk av teglstein vil nok berøre langt flere standarder, og hvorvidt disse er essensielle å undersøke videre er uvisst. Det ville også vært interessant å utføre tester på gamle teglstein for å kontrollere om steinen oppfyller kravene gitt i standarden og dermed gi et bedre grunnlag i å analysere restriksjonene. Om teglsteinen tidligere har blitt dokumentert vil også slike tester bidra til å undersøke om egenskapene holder seg innenfor toleransene i henhold til standarden og DoP.

Som en del av denne oppgaven ble det også vurdert å utføre en kvantitativ analyse i form av spørreundersøkelser for å undersøke hva bransjen selv opplevde som årsaker til at de ikke praktiserte ombruk av teglstein. Dette kan inngå som en del av en masteroppgave som bygger videre på hvorfor bransjen ikke praktiserer ombruk.

Det er ikke utført noen beregninger for å kontrollere om teglstein kan mures opp med kalkmørtel samtidig som den holder seg innenfor de standardiserte kravene. Videre kan en studie undersøke om kalkmørtel kan benyttes i dag med den kunnskapen som eksisterer i bransjen, om det eksisterer metoder som gjør det forsvarlig å benytte kalkmørtel og de eventuelle konsekvensene knyttet til dette.

8 Referanser

- Azimzadeh, M. & Bjur, H. (2007). *THE URBAN PALIMPSEST: the interplay between the historically generated layers in urban spatial system and urban life*: Göteborg University, Department of Conservation
- Bakken, N. (2015). Prøving av tilsendt teglstein fra fasadene på Youngskvartalet: SINTEF Byggforsk.
- Bisgaard, T. (2013). *LCA for genbrug af mursten - Supperende kommentarer*: Kalk- og teglværksforeningen.
- Boysen, M. (1995). *Byggfag: yrkesteori*. Oslo: Yrkesopplæring ans.
- Bratberg, T. T. V. (1996). *Trondheim byleksikon*. Oslo: Kunnskapsforlaget.
- Bygg i Tegl. Bærekraft - Bygg i Tegl.
- Byggvareforordningen. (2011). *Veiledning til Byggvareforordningen*: Europaparlaments- og rådsforordning. Tilgjengelig fra: <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggeregler/Forskrift-om-dokumentasjon-av-byggevarer-DOK/?dyp=/dyp/content/byggvare/7/> (lest 04.04.2016).
- Dahlum, S. (2015). *Validitet*: Store norske leksikon.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2011a). *Byggteknisk forskrift med veiledning, § 9-5 Avfall*: Direktoratet for byggkvalitet.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2011b). *Byggteknisk forskrift med veiledning, § 9-8 Avfallssortering*.
- Eldegard, J. (29.01.2016). *Samtale over mobil*.
- Engelsen, C. J. (2015). Resirkulert tilslag av tegl og betong. *Byggforskserien* (572.111).
- EPD Norge. *Hva er en EPD?* Tilgjengelig fra: <http://www.epd-norge.no/> (lest 11.04.2016).
- FN-sambandet. (2016). *Hva er bærekraftig utvikling?*: FN. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Baerekraftig-utvikling/Hva-er-baerekraftig-utvikling> (lest 04.04.2016).
- Franchetti, M. J. & Apul, D. (2013). *Carbon footprint analysis : concepts, methods, implementation, and case studies*. Industrial innovation series. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Gamle Mursten. Tilgjengelig fra: <http://www.gamlemursten.dk/> (lest 08.02.2016).
- Holthe, K. & Rolstad, A. N. (2005). *Miljøriktig riving av boliger*. Trondheim: Husbanken, Regionkontor Trondheim. 40 s.

- Husbanken. *Byggeskikk*. Tilgjengelig fra: <http://www.husbanken.no/byggeskikk/> (lest 05.04.2016).
- Kalk- og Teglværksforeningen, DTI-Byggeri, Murværkscenteret & DEMEX Rådgivende Ingeniører A/S. (2000). Renere teknologi i tegl- og mørtelbranchen. *Miljøprosjekt Nr 499*: Miljøstyrelsen.
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2015). *Det kvalitative forskningsintervju*, b. 3. utgave. Dimograf, Polen: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Lafferty, W. & Langhelle, O. (1995). *Bærekraftig utvikling - Om utviklingens mål og bærekraftens betingelser*. Oslo: Ad Notam Gyldendal.
- Leland, B. N. (2004). Gjenbruk og ombruk i byggebransjen. *Plan*, 36 (01).
- Lovdata. (1981). *Forskrift om gjenvinning og behandling av avfall*.
- Mihelcic, J. R. C., John C; Small, Mitchell J; Shonnard, David R; Hokanson, David R; Zhang, Qiong; Chen, Hui; Sorby, Sheryl A; James, Valentine U; Sutherland, John W; Schnoor, Jerald L. (2003). Sustainability Science and Engineering: The Emergence of a New Metadiscipline. *Environmental Science and Technology*, 37 (23): 10.
- Miljøstatus. (2015). *Betong- og teglavfall*. Tilgjengelig fra: <http://www.miljostatus.no/tema/avfall/avfall-og-gjenvinning/avfallstyper/betong--og-teglavfall/> (lest 05.04.2016).
- Miljøverndepartementet. (2013). *Fra avfall til ressurs*.
- Modahl, I. S. & Raadal, H. L. (2003). Evaluering av miljø- og ressursforhold ved bygging av Gjenbrukshus i Trondheim Østfoldforskning AS.
- Møller, J., Damgaard, A. & Astrup, T. (2013). *LCA af genbruk af mursten*. København: Miljøstyrelsen.
- Neubert, P. & Forseth, T. (1997). *Mur & puss: gode råd*. Oslo: Foreningen til norske fortidsminnesmerkers bevaring.
- Nordby, A. S. (2009). *Salvageability of building materials*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, Department of Architectural Design, History and Technology.
- Norsk Standard. *NS-EN 771-1:2011+AI:2015*. Krav til murprodukter, Del 1: Murprodukter av tegl: Standard Norge.
- Norsk Standard. *NS-EN 1990:2002+NA:2008*. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner: Standard Norge.
- Norsk Standard. *NS-EN 1996-1-1:2005+AI:2012+NA:2013*. Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner, Del 1-1: Allmenne regler for armerte og uarmerte murekonstruksjoner: Standard Norge.

- Norsk Standard. *NS-EN ISO 14001:2015*. Ledelsessystemer for miljø - Spesifikasjon med veiledning: Standard Norge.
- Norsk Standard. *NS-EN ISO 14040:2006*. Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Prinsipper og rammeverk: Standard Norge.
- Norwegian green building council. *Hva er BREEAM?* Tilgjengelig fra: <http://ngbc.no/breeam-nor/> (lest 08.04.2016).
- Pettersen, N. (2005). *Gjenbrukshus i Trondheim*. Trondheim: Miljøenheten, Trondheim kommune.
- Rognlien, S. (2002). Designstrategi for bruk av gjenbruksmaterialer. *FOU-Prosjektet Gjenbrukshuset*. Oslo: Statsbygg
- Veidekke.
- SINTEF Byggforsk. (2010). *Trehus*. Håndbok 53, b. 9.
- Skarpaas, T. (1999). *Miljøriktig riving: et ledd i byggets kretsløp*. Oslo: Kommuneforlaget. 192 s. ill. s.
- Statistisk Sentralbyrå. (2015a). *Avfall fra byggeaktivitet, 2013*.
- Statistisk Sentralbyrå. (2015b). *Avfallsregnskapet, 2013*.
- Svartdal, F. (2009). *Reliabilitet*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/reliabilitet> (lest 18.04.2016).
- Sørnes, K., Nordby, A. S., Fjeldheim, H., Bani Hashem, S. M., Mysen, M. & Dahl Schlanbusch, R. (2014). *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. SINTEF Fag. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- teglverk.no. (2014). *Nedgangstider etter 1945*. Historie og geografi. Tilgjengelig fra: <http://www.teglverk.no/> (lest 05.02.2016).
- Thormark, C. (2001). *Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings*. Lund: Lund Institute of Technology.
- Thue, J. V. (2009). *Mørtel*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/m%C3%B8rtel> (lest 02.02.2016).
- U.S. Green Building Council. *LEED*. Tilgjengelig fra: <http://www.usgbc.org/leed> (lest 22.04.2016).
- Waldum, A. M. & Kjeldsen, G. (2006). *Hydraulisk kalkmørtel - Historie, egenskaper og anvendelse*. *Prosjektrapport 399*: Byggforsk.
- Wienerberger AS Bratsberg Norway. (2014). *Environmental Product Declaration*. Berlin: Institut Bauen und Umwelt e.V. 10 s.
- Wærp, S. (2012). *Byggevarer - egnethet for materialgjenvinning*. *Byggforskserien* (470.114): 4.

Vedlegg A

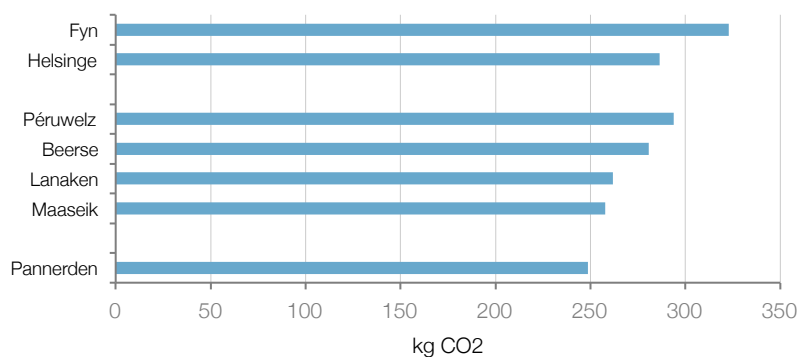
Tabell A - 1: Miljøpåvirkninger for teglstein fra ulike land, hentet ut fra EPD.

PÅVIRKNINGSKATEGORI	ENHET	NORGE	DANMARK	BELGIA
Klimaendring	kg CO2-ekv.	2,776E+02	1,950E+02	1,750E+00
Nedbryting av stratosfærisk ozon	kg CFC11-ekv	1,033E-07	6,960E-09	2,190E-07
Forsuring	kg SO2-ekv	6,215E-01	6,810E-01	9,628E-03
Overgjødning	kg (PO4)3-ekv.	8,021E-02	3,550E-02	6,040E-04
Dannelse av mark nær ozon	kg C2H4-ekv.	1,139E-01	3,520E-02	5,982E-04
Utarming av abiotiske ressurser	kg Sb-ekv.	6,675E-05	7,180E-05	3,594E-06
Utarming av abiotiske fossile ressurser	MJ	3,393E+03	3,020E+03	2,995E+01

Tabell A - 2: Utslipp fra ulike teglverk og land.

LAND	TEGLVERK, BY	AVSTAND km	TRANSPORT-UTSLIPP kg CO2	KLIMA-ENDRING kg CO2-ekv.	UTSLIPP PER TEGLVERK kg CO2-ekv.	UTSLIPP PER LAND kg CO2-ekv.
Danmark	Helsingør	546	91,6	195,0	286,6	304,8
	Fyn	762	128,0	195,0	323,0	
Nederland	Pannerden	1474	247,0	1,8	248,8	248,8
Belgia	Maaseik	1528	256,0	1,8	257,8	273,5
	Lanaken	1548	260,0	1,8	261,8	
	Beerse	1662	279,0	1,8	280,8	
	Péruwelz	1741	292,0	1,8	293,8	

Klimapåkjennning fra teglverk



Figur A - 1: Grafisk fremstilling for CO2-utslipp fra teglverk.

Tabell A - 3: Utslipp for ombrukstegl.

DIMENSJONER TEGLSTEIN		ENHET	TEGLSTEIN FRA 2014	TEGLSTEIN FRA 1955
Lengde	m		0,226	0,230
Bredde	m		0,104	0,110
Høyde	m		0,060	0,065
CO2-UTSLIPP RELATERT TIL RIVNING				
Densitet	kg/m ³		1395	2000
Utslipp CO ₂ pr m ²	kg CO ₂ /m ²		0,6	0,6
Utslipp CO ₂	kg CO ₂ /tonn		0,087	0,132
Utslipp én funksjonell enhet	kg CO ₂		0,135	0,204
TRANSPORTRELATERTE UTSLIPP				
Avstand	km		200	200
Transportutslipp	kg CO ₂		33,6	33,6
<hr/>				
Totalt utslipp for én funksjonell enhet	kg CO ₂		33,73	33,80

Vedlegg B

Intervjuguide for ombruksprosjekter

Prosjekteringsfasen og miljømessige betraktninger

- 1) Når ble det valgt å benytte ombrukstegl i prosjektet?
- 2) Hvorfor ble det benyttet ombrukstegl?
- 3) Har prosjektet fokus på miljø og bærekraft?
- 4) Er det benyttet noen form for CO₂-regnskap eller LCA?
- 5) Var det noen problemer knyttet til valg av gammel tegl i prosjekteringsfasen?

Eksisterende konstruksjon

- 6) Hvilken type stein og mørtel besto de revne veggene av?
- 7) Hvordan var veggkonstruksjonen? Fasadestein/bakstein, forband.
- 8) Hvor langt ble den gamle teglsteinen transportert?

Riveprosessen

- 9) Hvordan var riveprosessen? Ble den utført for hånd, med verktøy, etc.
- 10) Måtte steinen gjennom en sorteringsprosess, i så fall når og hvordan?
- 11) Hvordan ble rensing av teglstein utført?

Regelverk og egenskaper

- 12) Har det blitt utført noen forsøk på teglsteinen for å undersøke egenskaper?
- 13) Hvordan har teglsteinen blitt behandlet i forhold til regelverk, kan den nye konstruksjonen sies å være i tråd eurokode-serien?
- 14) Hvordan oppleves selve mureprosessen med ombrukstegl? Redusert heft, varierende dimensjoner på stein?

Annet

- 15) Hva har vært det mest utfordrende med å benytte ombrukstegl?
- 16) Har det blitt lagt til rette for ombruk i fremtiden?
- 17) Er det noe annet du ønsker å legge til?

Intervjuguide for rehabiliteringsprosjekter

Prosjekteringsfasen og miljømessige betraktninger

- 1) Når ble det valgt å beholde eksisterende konstruksjon?
- 2) Har prosjektet fokus på miljø og bærekraft?
- 3) Er det benyttet noen for CO₂-regnskap eller LCA?
- 4) Var det noen problemer knyttet til valg av gammel tegl i prosjekteringsfasen

Eksisterende konstruksjon

- 5) Hvilken type stein og mørtel besto de revne veggene av?
- 6) Hvordan var veggkonstruksjonen? Fasadestein/bakstein, forband.

Rehabiliteringsprosessen

- 7) Ble konstruksjonen helt eller delvis revet?
- 8) Hvordan ble rivingen utført? Inkl. sortering, verktøy
- 9) Hvordan ble rensing av teglstein utført?

Regelverk og egenskaper

- 10) Har det blitt utført noen forsøk på teglsteinen for å undersøke egenskaper?
- 11) Hvordan har dette blitt behandlet i forhold til regelverk, kan den nye konstruksjonen sies å være i tråd eurokode-serien?
- 12) Hvordan oppleves selve mureprosessen om konstruksjonen har vært plukket ned? Redusert heft, varierende dimensjoner på stein?

Annet

- 13) Hva har vært mest utfordrende med å arbeide med gammel tegl?
- 14) Har det blitt lagt til rette for ombruk i fremtiden?
- 15) Er det noe annet du ønsker å legge til?



Norges miljø- og biovitenskapelig universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway