

Energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet ved bruk av gulvbord i heltre eik sammenlignet med fem alternative gulvløsninger



Ann Kristin Petersen og Birger Solberg

Rapport fra skogforskningen

- ✓ Rapport fra skogforskningen inneholder førstegangs publiserte artikler beregnet på norske og nordiske lesere
- ✓ Tabell- og figurtekster skrives på norsk
- ✓ Sammendrag skrives på norsk
- ✓ Engelske manuskripter eller omfattende arbeider med mye grunn-data kan publiseres i en underserie - *Supplement*.

Norsk institutt for skogforskning (Skogforsk) er utgiver av serien, i et samarbeid med Institutt for skogfag, NLH.

Tilrettelegging av manus for trykking, ajourhold av abonnenter, innkreving av abonnementsavgift, distribusjon av heftene og lagerhold skjer på Skogforsk.

Bestilling av abonnement og enkelt-eksemplar av seriene skjer til Skogforsk.

Redaktør for serien er
avd.sjef Bjørn R. Langerud,
Skogforsk

En forfatterinstruks er tatt inn på siste omslagsside.

Layout og sats: Karin Westereng,
Skogforsk

ISBN 82-7169-998-9
ISSN 0803-2858

Norsk institutt for skogforskning
(Skogforsk), Høgskoleveien 12,
1432 Ås

Tlf.: 64 94 90 00
Fax: 64 94 29 80
E-post: post@skogforsk.no
www.skogforsk.no

Forsiden: Holtet Sag med skåret svensk bjørk for møbelproduksjon.
Foto: ©Helge Frivold, NLH

**Energiforbruk, klimagassutslipp og kostnadseffektivitet
ved bruk av gulvbord i heltre eik sammenlignet med fem
alternative gulvløsninger**

Ann Kristin Petersen
Birger Solberg
Institutt for skogfag
Norges landbrukshøgskole
Postboks 5044, 1432 Ås

Forord

Dette arbeidet er en del av prosjektet "Skog og klima", finansiert av Det norske skogselskap, Utviklingsfondet for skogbruket og Norges Forskningsråd. Prosjektleder har vært Birger Solberg. Asbjørn Svendsrud (NLH) har lest manuskriptet og kommet med gode forslag og kommentarer. Vi ønsker også å takke alle som har bidratt med data underveis, spesielt Tor Kristensen (Norsk Treteknisk Institutt), ansatte ved Oslo Lufthavn AS, Jan Ellef Søyland (Aviaplan), Tore Kleffelgård (SFT), Marit Røer Ellefsen (Dyno Industrier), Kjell Løvold (Norfolier), Henriette Undrum (Statoil Forskningscenter), Linda Sygna (CICERO), Knut Olsen (Tremiljø prosjekt), Skifer og naturstein, Øydna sagbruk, Nordby gulv AS, Naturstein AS, Forestia Sokna og Forestia Våler.

Ås, mai 2002

Ann Kristin Petersen og Birger Solberg

Sammendrag

Bakgrunnen for denne undersøkelsen er den effekten trevirke kan ha i klimasammenheng som erstatning for andre materialer. Det er sett på to eksempler. I det første er en gulvkonstruksjon i heltre eik sammenlignet med en gulvkonstruksjon i skifer. Dette eksemplet er hentet fra terminalbygningen på Gardermoen. I det andre eksemplet er selve gulvbelegget i heltre eik i terminalbygningen sammenlignet med linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

Formålet med undersøkelsen har vært (1) å kartlegge energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til materialene i eksemplene, (2) å beregne eventuelle sparte klimagassutslipp som følge av å bruke alternativer i tre og (3) hva dette koster per spart tonn CO₂-ekvivalenter.

Metodikken som er brukt kombinerer tradisjonell livsløpsanalyse og økonomisk investeringsteori. Det siste innebærer at det tas hensyn til når i livsløpet utslippene og kostnadene skjer. Det er gjennomført en livsløpsanalyse av gulvbord i heltre eik og av skifer. Opplysninger om energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til de øvrige materialene som inngår i gulvkonstruksjonene, samt gulvbeleggene, er fra tidligere litteratur.

I en livsløpsanalyse må det gjøres en rekke forutsetninger om avgrensning til natur, produksjon og avfallshåndtering. I analysene er det tatt utgangspunkt i et basis-scenarie. Det er undersøkt hvordan ulike avvik fra dette basis-scenariet virker inn på resultatene.

Framstilling av en gulvkonstruksjon i tre krever 60% mer energi, men forårsaker 65% mindre klimagassutslipp, enn framstilling av en gulvkonstruksjon i skifer. Dette skyldes at det brukes bioenergi i framstillinga av trekonstruksjonen. Avfallshåndteringa kan være både fordelaktig og ufordelaktig for gulvkonstruksjonen i tre. Hvis den brennes og energien utnyttes, spares energi og klimagassutslipp unngås. Hvis den deponeres, blir klimagassutslippene høye p.g.a metanutslipp. I beregningene av sparte klimagassutslipp er derfor forutsetningene om avfallshåndteringen viktige. Andre forutsetninger som er viktige for resultatet er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn.

Det er en del usikkerhet i estimatet for klimagassutslipp over livsløpet til konstruksjonene, spesielt for gulvkonstruksjonen i skifer. Størrelsen på de sparte utslippene er uansett liten. Sparte klimagassutslipp per m³ trevirke som brukes i en slik gulvkonstruksjon kan imidlertid være opp til 1,263 tonn.

I sammenligningen mellom heltre og ulike gulvbelegg er det klart at prisen per spart tonn CO₂-ekvivalenter er meget høy for substitusjon mellom heltre og linoleum eller vinyl. Det er brukt datamateriale for klimagassutslipp over livsløpet til linoleum og vinyl fra to undersøkelser som står for ytterpunkter i levetid og utslipp, så dette resultatet er relativt pålitelig. Heltre er et rimeligere alternativ enn teppe i ull og teppe i polyamid ved lave rentekrav slik at sparte klimagassutslipp er gratis. Teppe i ull er en kostnadseffektiv måte å spare klimagassutslipp på også ved høye rentekrav. Sett i forhold til hvor mange m³ trelast som brukes som gulvbelegg, kan det spares store klimagassutslipp når trelasten erstatter vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

Nøkkelord: Energiforbruk, klimagassutslipp, kostnadseffektivitet, gulv, tre

English summary

The scope of this report has been to analyse the effects of substitution between wooden floor and five alternative materials with regard to energy and greenhouse gas emissions (GHGs). In the first comparison a wooden floor construction is compared to a construction in natural stone. In the second comparison floor boards in solid oak is compared to linoleum, vinyl, polyamide carpet, and wooll carpet.

The methodology is based on conventional LCI (life cycle inventory) and investment theory. The latter implies that the time aspect is incorporated. Data for existing floor constructions at the new airport outside Oslo are used in the first comparison, in the second comparison data are from previous literature.

Functional unit is 1 m² in both comparisons, and the lifetime of the building is assumed to be 45 years. Quantified phases in the life cycle are manufacturing and waste handling, remaining phases are assumed to be equal or negligible. Various system boundaries to nature, as well as assumptions about production and waste handling are analysed. In addition, there are sensitivity analyses of energy consumption and GHG emissions over the life cycle of floorboards in solid oak and natural stone, in order to distinguish important factors. A basis scenario was set up in the cost-efficiency analysis, and then assumptions about system boundaries to nature, production and waste handling were changed one by one. In this part of the two analyses we have surveyed which amount of GHG emissions that are avoided due to substitution, how much this will cost, and which amount of GHG emissions that are avoided per m³ sawn wood used in floor constructions.

From the comparison between floor constructions in wood and natural stone, we see that in the manufacturing phase the wooden construction requires 60% more energy but causes 65% less GHG emissions than the natural stone construction. This is because the plywood in the wooden floor construction is energy intensive, but most of the energy is bioenergy. If the wooden construction is burned after use it generates almost as much energy as what was used in manufacturing while the waste handling of the natural stone construction requires energy. Furthermore, GHG emissions are avoided in the waste handling of the wooden construction while the natural stone construction causes GHG emissions. The size of avoided GHG emissions due to substitution is small in all scenarios. On the other hand, up to 1.263 ton CO₂-equivalents are avoided per m³ sawn wood used in the floor construction.

In the comparison between floorboards in solid oak and linoleum, vinyl, polyamide carpet, and woollen carpet the price of avoided emissions is high for all alternatives. But in relation to amount of sawn wood used for floorboards, avoided GHG emissions can be high.

Key words: Energy consumption, greenhouse gas emissions, life cycle assessment, cost-efficiency, substitution, wood, natural stone, linoleum, vinyl, polyamide, wool, flooring.

Innhold

1 Innledning	6
2 Metode	7
2.1 Beregningsmetodikk.....	7
2.2 Forutsetninger	11
2.2.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet.....	11
2.2.1.1 Gulvbord i heltre eik	11
2.2.1.2 Skifer.....	13
2.2.1.3 Linoleum	14
2.2.1.4 Vinyl.....	15
2.2.1.5 Teppe i polyamid.....	15
2.2.1.6 Teppe i ull	16
2.2.2 Sammenligning av gulvkonstruksjoner	16
2.2.3 Sammenligning av gulvbelegg	19
3 Resultat	21
3.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet.....	21
3.1.1 Gulvbord i heltre eik.....	21
3.1.1.1 Energiforbruk	21
3.1.1.2 Klimagassutslipp	26
3.1.2 Skifer	33
3.1.2.1 Energiforbruk	33
3.1.2.2 Klimagassutslipp	36
3.1.3 Linoleum	40
3.1.4 Vinyl.....	41
3.1.5 Teppe i ull og teppe i polyamid.....	42
3.2 Sammenligning av gulvkonstruksjoner	43
3.3 Sammenligning av gulvbelegg	50
4 Diskusjon	54
4.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet.....	54
4.1.1 Gulvbord i heltre eik.....	54
4.1.1.1 Energiforbruk	54
4.1.1.2 Klimagassutslipp	55
4.1.2 Skifer	56
4.1.2.1 Energiforbruk	56
4.1.2.2 Klimagassutslipp	56
4.1.3 Linoleum	57
4.1.4 Vinyl.....	57
4.1.5 Teppe i ull og teppe i polyamid.....	57
4.2 Sammenligning av gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer	58
4.3 Sammenligning av gulvbelegg	60
5 Konklusjon.....	61
6 Litteratur	62
Vedlegg 1. Energiinnhold, virkningsgrader og utslippsfaktorer	64
Vedlegg 2. Forutsetninger brukt i livsløpsanalyse for gulvbord i heltre eik	66
Vedlegg 3. Forutsetninger brukt i livsløpsanalysen for skifer	69
Vedlegg 4. Forutsetninger brukt i livsløpsanalyse for linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.....	71

1 Innledning

Skogen er en del av karbonsyklusen og et av jordas store karbonlagre. Skog har derfor lenge vært aktuell i forbindelse med global oppvarming, som et middel til å bremse oppvarmingen. Men i tillegg til dette kan trevirket fra skogen bidra til en mer langsiktig løsning på problemet, siden produkter i trevirke kan brukes i stedet for mer forurensende/energikrevende materialer. Trevirke gir også mye energi som kan erstatte fossile brensler. Formålet med denne undersøkelsen har vært å se på effekten av å bruke trevirke isteden for mer forurensende materialer, og hvor kostnads-effektivt dette er.

Skogens betydning som karbonlager i Norge har vært undersøkt i flere tidligere undersøkelser. Kostnadseffektivitet av karbonlagring ved ulike skjøtselalternativer har vært undersøkt i Lunnan et al. (1991), og Hoen & Solberg (1994). Solberg (1997) sammenlignet prisen på karbonlagring i skog med CO₂-avgiften på fossile brensler. Ingen av de nevnte undersøkelsene har inkludert substitusjonseffektene av bruk av treprodukter i de kvantitative analysene, selv om de er beskrevet kvalitativt. En mer generell beskrivelse av skogbrukets rolle i klimasammenheng er gitt i Landbruksdepartementet (1997) og ECON (1995). I disse undersøkelsene er også substitusjonseffektene diskutert.

Trevirke har i utgangspunktet tre fordeler sammenlignet med andre materialer. For det første er det en fornybar ressurs, og forbrenning av trevirke forårsaker derfor ikke noe netto klimagassutslipp så lenge skogarealet tømmeret hentes fra forvaltes på en bærekraftig måte. For det andre krever selve framstillingen av trelastprodukter mindre fossil energi enn konkurrerende materialer. Framstillingen krever heller ikke kjemisk bruk av fossilt brensel, slik som for eksempel reduksjonsagenter i stålproduksjon.

For å kunne sammenlignes må produktene bli betraktet over hele livsløpet. De må også ha samme funksjon, det vil si oppfylle de samme tekniske kravene. I tidligere undersøkelser har man stort sett konsentrert seg om beregningsmetodikken (Erlandsson 1996), eller om framstillingsfasen (NTI 1990, Fossdal 1995, NTI 1997 abc, Engelbertsson 1997). I de undersøkelsene der miljøpåvirkninger fra avfalls-håndtering er vurdert, er de vektet likt med utslipp fra framstilling selv om de skjer til ulike tidspunkt (Jönsson et al. 1995, Engberg & Eriksson 1998, Jarnehammar 1998, Künniger & Richter 1998).

Når man sammenligner alternative produkter er det også viktig å ta kostnadene med i betraktning. På den måten kan man finne ut hvilke produkter det er mest kostnadseffektivt å substituere med tre, og få en indikasjon på hvilke substitusjonseffekter som kan oppstå ved bruk av klimagassavgift og lignende.

Temaet for denne undersøkelsen er den effekten trevirke har i klimasammenheng som substitutt for andre materialer. Formålet er å se på hvor stor denne effekten er, hvor stor usikkerheten er og å vurdere dette opp mot en eventuelt høyere pris. Det er som et case tatt utgangspunkt i gulvkonstruksjonene i terminalbygningen på Gardermoen. Her ble det lagt gulv både i tre og i stein, og det er foretatt en sammenligning mellom disse to gulvkonstruksjonene. Alle materialer som inngår i konstruksjonene er tatt med, slik at de er sammenlignbare. I tillegg har vi sammenlignet ulike gulvbelegg som heltre, linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

Det er svært mange forutsetninger i en livsløpsanalyse. I denne rapporten har vi konsentrert oss om usikkerhet i forutsetninger og hva ulike forutsetninger vedrørende produksjon og systemgrenser betyr for resultatet.

Konkret er problemstillingen knyttet til følgende spørsmål:

- Hva er energiforbruket over livsløpet til materialene som inngår i gulvkonstruksjoner i tre og gulvkonstruksjoner i stein?
- Hva er klimagassutslippet over livsløpet til materialene som inngår i gulvkonstruksjoner i tre og gulvkonstruksjoner i stein?
- Hvor store klimagassutslipp kan spares ved at tregulv substituerer gulv i stein?
- Hvor store klimagassutslipp kan spares ved at gulvbord i heltre substituerer linoleum, vinyl, teppe i ull eller teppe i polyamid, og hva koster dette?

Med klimagasser mener vi CO₂, CH₄ og N₂O. Undersøkelsen tar ikke opp andre miljøpåvirkninger knyttet til produktene. Det er gjennomført en enkel livsløpsanalyse for gulvbord i heltre eik og for skifer. Disse er brukt videre i en sammenligning mellom gulvkonstruksjoner i tre og i stein, samt i sammenligningen mellom ulike gulvbelegg.

Metodikken er beskrevet i kap. 2.1. Deretter følger de viktigste forutsetningene og alternativene i kap. 2.2, mens en detaljert beskrivelse av datamaterialet er gitt i vedlegg 1, 2, 3 og 4. Resultatkapitlet er delt opp i resultat fra livsløpsanalysene av gulvbord i heltre eik, resultat fra livsløpsanalysen av skifer, resultat fra sammenligningen av gulvkonstruksjoner i tre og i skifer og resultat fra sammenligningen av ulike gulvbelegg.

2 Metode

2.1 Beregningsmetodikk

Livsløpsanalyse er brukt for å kartlegge forbruk av energi og utslipp av klimagasser i løpet av produktenes levetid. Denne metoden er beskrevet i blant annet SETAC (1993), Nordic Council of Ministers (1995) og i Erlandsson (1996). Prinsippet bak denne metodikken er å kartlegge hvordan produktene påvirker miljøet i løpet av sin livstid. Dataene for limtre er samlet inn spesielt for denne analysen, dels ved litteraturstudium og direkte fra bedrifter, mens data for stål er hentet fra tidligere litteratur.

Bruksfasen kan strekke seg over flere tiår, ofte 50 år eller mer. I denne fasen ser man på oppvarming, renhold og vedlikehold, avhengig av hvilken funksjon man studerer.

For bygningsmaterialer vil livsløpet normalt bestå av 6 faser, se figur 1. I tillegg kommer transport, både mellom og fasene og innen hver fase. Man tenker seg dette livsløpet som et teknisk system omgitt av naturen. Tankegangen bygger på å beskrive alle faktorer som går fra naturen og inn i systemet, og alle faktorer som går fra systemet og ut i naturen. Input kan være elektrisk energi, diesel, emballasje og ulike tilsetningsstoffer. Ideelt sett skal alle materialer og ressurser som brukes i løpet av livsløpet følges tilbake til "vuggen", det vil si til og med råvareutvinning. Av praktiske årsaker er det vanlig å se bort fra materialer/ressurser som betyr mindre enn 1% i det samlede resultatet. I noen tilfeller er det heller ikke mulig å fremskaffe fullstendige data.

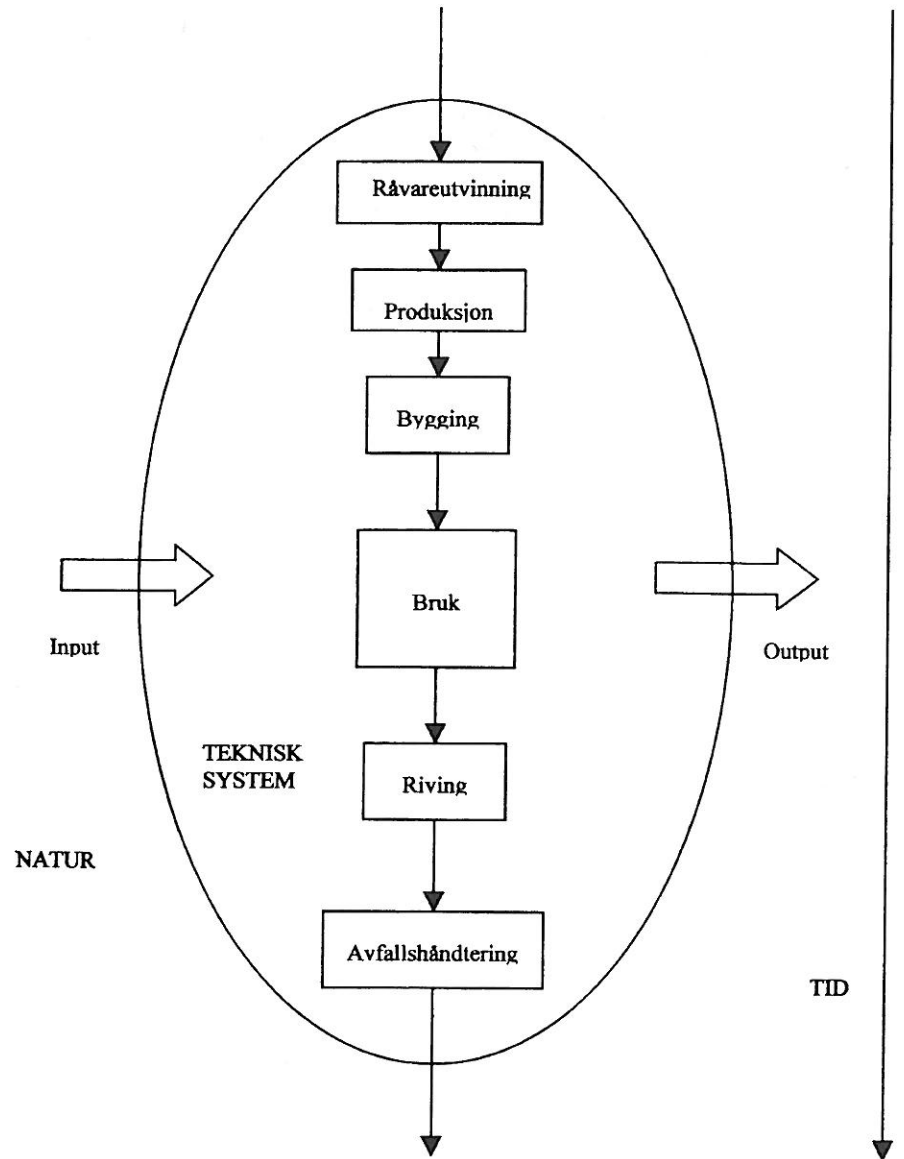


Fig. 1. Oversikt over det tekniske systemets grenser i en livsløpsanalyse.

Output skal ideelt sett bare bestå av utslipp til luft, vann eller jord. Man skal altså følge alt avfall/biprodukter som oppstår underveis fram til de igjen forsvinner ut i naturen. Det er vanlig å forutsette at biprodukter forlater systemet, mens energiforbruk og utslipp knyttet til avfall medregnes innen systemet. Definisjonen på biprodukt er i denne sammenhengen avfall som går videre som råstoff i annen produksjon.

Det tekniske systemet må avgrenses geografisk, det vil si at man må angi i hvilket land de ulike fasene i livsløpet foregår, eventuelt hvilke bedrifter data-materialet er hentet fra. Dette har betydning for hvor overførbare resultatene er til tilsvarende produkter andre steder. For eksempel har kvaliteten på teknologien betydning for utslipp og energiforbruk. Hvilke ressurser som brukes til energi-produksjon vil også variere for ulike bedrifter og land.

Det er også en tidsdimensjon i livsløpet, se figur 1. Hvor start og slutt settes i livsløpet er viktig både for produkter fra fornybare ressurser og for produkter som kan resirkuleres. For et fornybart produkt som trevirke, som binder CO₂ gjennom veksten, har dette betydning for hvordan utslipp av CO₂ og skogarealet behandles i analysen.

En investering er en oppofrelse av goder på et gitt tidspunkt for å få økte goder på et senere tidspunkt (med goder menes her både materielle goder og miljøgoder). Kalkulasjonsrentefoten uttrykker avkastningskravet en slik marginal investering må oppfylle for å bidra til økt godeoppnåelse. Klimagassutslippene skjer på ulike tidspunkt i livsløpet til et bygningsmateriale, og medfører at en må ta stilling til hvordan utslipp i dag vektlegges i forhold til utslipp på et senere tidspunkt. Utslippene representerer kostnader (miljøkostnader) på lik linje med investerings- og produksjonskostnader. Under forutsetning av at en bestemt fysisk mengde klimagass (for eksempel ett tonn CO₂) gir samme skade (dvs. samme kostnad) uansett på hvilket tidspunkt den kommer, vil en tillegge denne mengden utslipp mindre verdi jo lengre inn i framtida det kommer, og reduksjonen i verdi over tid tilsvarer kalkulasjonsrentefoten som kostnadene diskonteres med. Nyttens av en reduksjon i klimagassutslipp vil på samme måte måtte diskonteres. Denne nytten har vi estimert i tonn CO₂-ekvivalenter.

Kostnadseffektivitet er et mål på hvor stor nytte som oppnås sett i forhold til kostnadene som må brukes for å oppnå denne nytten. I denne analysen er kostnadseffektivitet (E) definert som antall kroner det koster å unngå utslipp av ett tonn CO₂-ekvivalenter, og beregnet ut i fra følgende formler:

$$E = \frac{DK_{tre} - DK_{andre}}{DU_{andre} - DU_{tre}} \quad (1)$$

$$DK_{tre} = \sum_{t=0}^n K_{t,tre} (1+p)^{-t} \quad (2)$$

$$DK_{andre} = \sum_{t=0}^n K_{t,andre} (1+p)^{-t} \quad (3)$$

$$DU_{andre} = \sum_{t=0}^n U_{t,andre} (1+p)^{-t} \quad (4)$$

$$DU_{tre} = \sum_{t=0}^n U_{t,tre} (1+p)^{-t} \quad (5)$$

der

- E = kostnadseffektivitet (antall kroner per tonn redusert utslipp av CO₂-ekvivalenter)
- DK_{tre} = diskonterte kostnader over livsløpet til gulv i heltre
- DK_{andre} = diskonterte kostnader over livsløpet til andre typer gulv
- DU_{andre} = diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til andre typer gulv
- DU_{limtre} = diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulv i heltre
- K_{t, limtre} = kostnad i år t for gulv i heltre
- K_{t, stål} = kostnad i år t for andre typer gulv
- U_{t, limtre} = klimagassutslipp i år t for gulv i heltre
- U_{t, stål} = klimagassutslipp i år t for andre typer gulv
- p = diskonteringsrente
- n = antall år analysen dekker (antall år er satt til 200 i denne analysen, siden det er tilstrekkelig for å dekke alle klimagassutslippene ved en eventuell nedbrytning av tre på fylling)

Det er satt opp et basis-scenarie med spesifiserte forutsetninger om produksjon og systemgrenser. Deretter er disse forutsetningene endret for å undersøke hva de betyr for resultatet.

Enheter man studerer når man sammenligner ulike materialer, kalles funksjonell enhet. Det er viktig at denne enheten fyller samme funksjon. Dette innebærer at man må benytte sammenlignbare mengder av materialene, og at det av og til er nødvendig å inkludere flere materialer, slik som i sammenligningen mellom gulvkonstruksjonen i tre og gulvkonstruksjonen i stein. I sammenlignende livsløpsanalyser kan man se bort fra faktorer og faser som er like for begge produktene. I denne undersøkelsen er den funksjonelle enheten 1 m² gulv. Bygging, bruk og riving er forutsatt å være lik både for de to gulvkonstruksjonene og for gulvbeleggene, og er derfor ikke tatt med i analysen (se vedlegg 2). Trinnene som er kvantifisert er derfor råvareutvinning, produksjon og avfallshåndtering. Levetida for terminalbygningen er satt til 45 år, som er vanlig i denne typen analyser. Det innebærer at råvareutvinning, framstilling og bygging skjer i år null, mens avfallsbehandlingen skjer når gulvkonstruksjonen eller gulvbelegget skiftes ut.

De ulike klimagassene har forskjellig levetid i atmosfæren og bidrar med ulik styrke til drivhuseffekten. For å kunne sammenligne de ulike gassene måler man gassene sitt bidrag til klimaeffekter via strålingspådrivet. GWP, globalt oppvarmingspotensial (global warming potential), er en fysisk indeks for akkumulert oppvarmingseffekt i et spesifisert tidsrom, for en enhet av den aktuelle gassen sammenlignet med utslipp av en enhet CO₂. CO₂ brukes altså som referanse-gass, og antall CO₂-ekvivalenter finnes ved å multiplisere med GWP-verdien (MD 1995).

GWP er svært følsomt for valg av tidshorisont. For å få konsistens i denne analysen er det valgt å bruke DGWP, diskontert globalt oppvarmingspotensial. Med DGWP (diskontert globalt oppvarmingspotensial) diskonterer man strålingspådrivet over en uendelig tidshorisont og sammenligner gassene på grunnlag av dette (Sygna et al. 1999). Verdier for DGWP er vist i vedlegg 1.

2.2 Forutsetninger

2.2.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet

2.2.1.1 Gulvbord i heltre eik

Undersøkelsen baseres på den faktiske situasjonen i 1998 for produksjon av gulvbord ved Øydna Sagbruk AS. De produserer blant annet gulvbord, listverk, skurlast og høvellast av lauvtre. Råstoffet til gulvbordene i terminalbygningen på Gardermoen er eik fra Aust- og Vest-Agder. Skurutbyttet er lavt ved slik produksjon, om lag 25%, og flis og spon leveres til Norsk Wallboard AS. Det er ikke noe barkfyringsanlegg på sagbruket, og bare elektrisk strøm benyttes i produksjonen. Flytskjemaet over livsløpet til gulvbord i heltre eik er vist i figur 2. Der er det vist hvilke trinn som er inkludert og hvor systemgrensene er satt. En nærmere beskrivelse av livsløpet og hvilke forutsetninger som er gjort er vist i vedlegg 2.

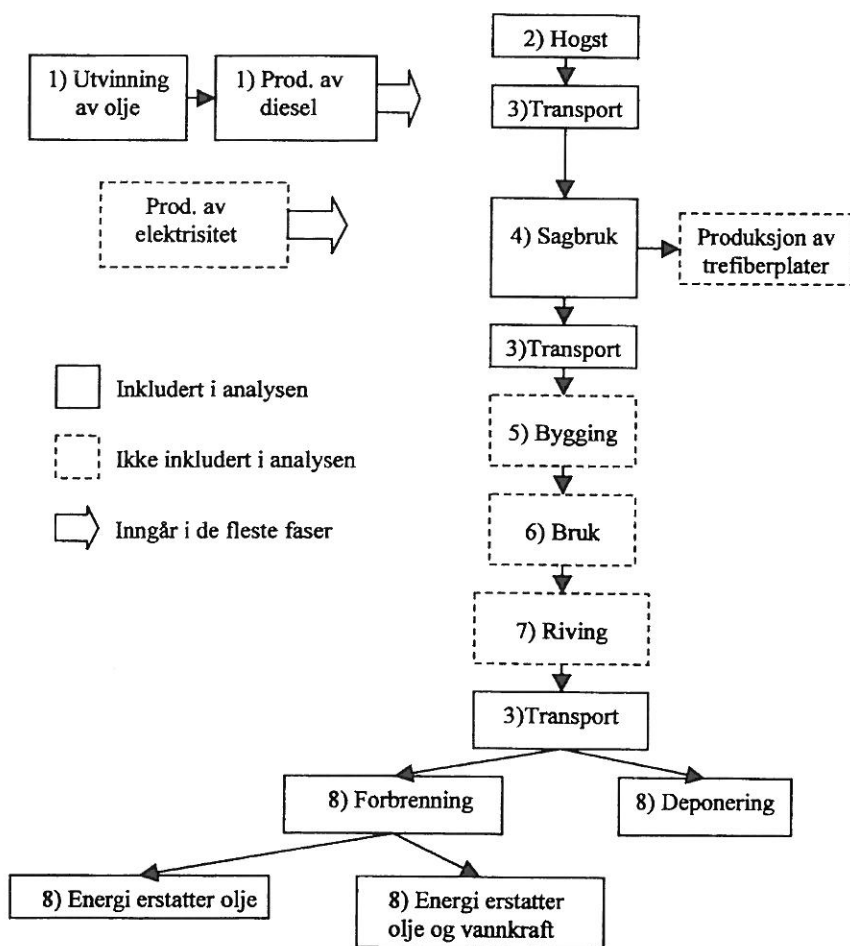


Fig. 2. Flytskjema som viser livsløpet til gulvbord i heltre eik, samt systemgrenser.

Geografisk er systemet avgrenset til å gjelde gulvbord fra Øydna Sagbruk AS. Det er ikke tatt hensyn til energien som trengs for å lage produksjonsmidlene.

Funksjonell enhet i livsløpsanalysen er 1 m² gulv. For hver m² gulv medgår 0,02 m³ trevirke. Levetida til gulvbordene er i analysen satt til 45 år. I Jönsson et al. (1995) ble det antatt en levetid på 40 år. Vi har valgt samme levetid som varigheten på bygningen for å ikke favorisere noen av materialene. Varigheten av gulvet avhenger av bruksintensitet, vedlikehold og rengjøring. Vedlikeholdet er i hovedsak å behandle jevnlig med pleieolje, og sørge for jevn luftfuktighet i rommet slik at det ikke oppstår store spenninger i trevirket.

Det er sett på tre ulike alternativ for avfallshåndtering:

1. Forbrenning der energien utnyttes og erstatter energi fra forbrenning av olje.
2. Forbrenning der energien utnyttes og 70% av energien erstatter vannkraft, 30% erstatter olje. Dette tilsvarer gjennomsnittlig bruk i Norge i dag (SSB 1999a).
3. Deponering på hardpakket fylling.

Ved forbrenning skjer utslippene momentant. Det er sett bort fra andre utslipp enn CO₂ og CH₄ fra forbrenning av trevirke fordi slike utslipp er forutsatt å bli små etter hvert som nye vedovner og forbrenningsanlegg kommer inn. Dagens tall er brukt som gjennomsnitt for virkningsgraden i vedovner og større forbrenningsanlegg for trevirke, og et gjennomsnitt av virkningsgraden i villakjel og større forbrenningsanlegg for olje.

Utslipp fra nedbrytning av trevirke skjer over mange år. Nedbrytningen er forutsatt å være fullstendig etter 150 år fra det tidspunktet trevirket deponeres. De høyeste utslippene vil komme i de første årene, men er sterkt avtakende. Utslippene fra nedbrytning er diskontert på samme måte som de andre utslippene.

Det er foretatt tre følsomhetsanalyser. Først er det satt inn henholdsvis høyeste og laveste estimat for en og en forutsetning for å undersøke hvor mye usikkerheten i den enkelte forutsetning betyr for resultatet. Deretter er høyeste estimat satt inn for alle forutsetninger samtidig, og det samme gjøres for laveste estimat. På denne måten får vi fram variasjonsområdet til resultatet. Til slutt er alle forutsetninger økt med 10%, deretter redusert med 10%, for å få et uttrykk for hvor følsomt resultatet er for endringer.

I første omgang er ikke skogarealet tatt med i analysen. I et eget underkapittel er det imidlertid undersøkt hvilken virkning denne forutsetningen har. Da tømmeret til gulvbordene ble hogd, ble samtidig et visst areal frigitt til ny skogproduksjon. På dette arealet vil skogen forynges, vokse og binde CO₂ som karbon i veden. På tidspunktet hvor gulvet skiftes ut eller rives, vil nye trær stå klare til å hogges. Dette er argumentet for at karbonbindingen på det frigitte skogarealet bør være med i regnskapet. Et skogbestand vokser etter en s-formet kurve. I denne analysen har vi forutsatt lineær vekst, det vil si at samme mengde CO₂ bindes hvert år.

Når tømmer hogges blir det liggende igjen kvist og toppender. Karbonsyklusen i jordbunnen blir også forstyrret og det avgis CO₂ fra jorda. Om lag 25% av tømmeret som ble hogd inngår i gulvet. Resten utgjøres av flis på sagbruket, og går til trefiberplateindustrien. Hele treet kan heller ikke brukes til skurtømmer; deler av treet vil aldri oppfylle kvalitetskravene og blir solgt som massevirke. Under forutsetning av at tømmeret ville blitt hogd uansett, selv om ikke gulvet ble bygd, ser vi bort fra

disse utslippene på hogstflatene. En annen begrunnelse for å gjøre dette er at karbon fra hogstavfall og jordbunn vil bli bundet i det nye bestandet som vokser til, og så lenge skogen som helhet er i balanse er nettutslippet null.

Vi har regnet med at mengden karbon i gulvet bindes på det frigitte skogarealet i løpet av gulvets levetid. Bare en del av tømmeret som hogges blir til ferdige gulvbord, og derfor kan bare samme mengde karbon som er i gulvet godskrives gulvbordene. I følge NTI (1997b) frigis 867 kg CO₂ fra forbrenning av 1 fm³ granflis med fuktighet 11%. Dette maksimale karbonutslippet for gran er brukt i analysen for å beregne karboninnhold.

2.2.1.2 Skifer

Undersøkelsen baseres på situasjonen i 1998 ved bedriften Skifer og Naturstein på Otta. Skifer blir sagt ut i steinbrudd i størrelser som er håndterbare. Deretter blir den sagt til emner og slipt i ei slipegate. I enden av linja blir skiferen kuttet og pakket.

Figur 3 viser flytskjema over det tekniske systemet, hvilke prosesser som er kartlagt og hvor grensene mot naturen er satt. Geografisk er systemet avgrenset til å gjelde Ottaskifer fra Skifer og Naturstein. Det er ikke tatt hensyn til energien som trengs for å lage produksjonsmidlene.

Funksjonell enhet er 1 m² gulv. Varigheten er satt til 45 år, som for bygningen. 45 års levetid for bygningen er valgt fordi alle materialene som vurderes da blir benyttet optimalt. Gulv i skifer krever ikke annet vedlikehold enn vanlig renhold og eventuell utbedring av skader.

Det er to mulige avfallshåndteringer for skifer:

1. Deponering
2. Gjenbruk

For begge disse alternativene vil energiforbruk og klimagassutslipp ved avfallshåndteringen komme fra transport av materialene. Stein i seg selv forårsaker ingen klimagassutslipp.

Det er foretatt tre følsomhetsanalyser. Først er det satt inn henholdsvis høyeste og laveste estimat for en og en forutsetning for å undersøke hvor mye usikkerheten i den enkelte forutsetning betyr for resultatet. Deretter er høyeste estimat satt inn for alle forutsetninger samtidig, det samme gjøres med laveste estimat. På denne måten får vi fram variasjonsområdet til resultatet. Til slutt er alle forutsetninger økt med 10%, deretter redusert med 10%, for å få et uttrykk for hvor følsomt resultatet er for endringer.

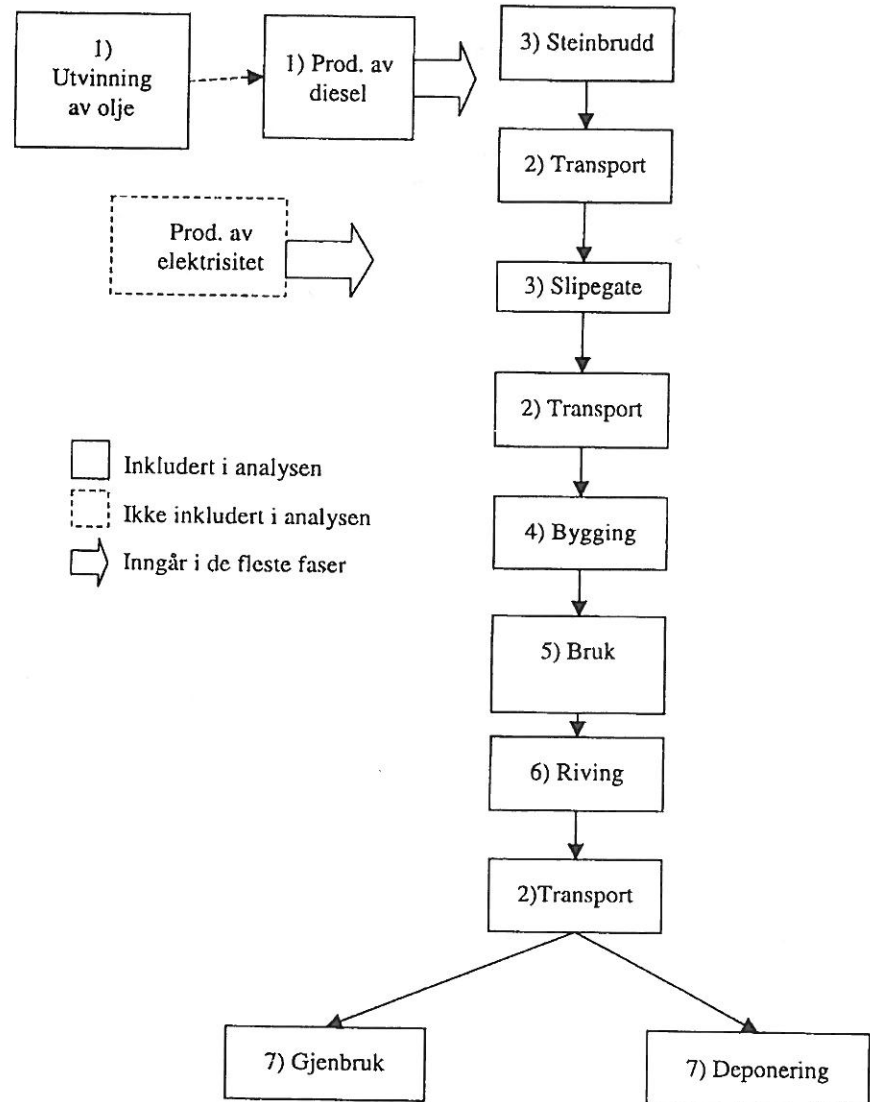


Fig.3. Flytskjema som viser livsløpet til gulv i skifer, samt systemgrenser.

2.2.1.3 Linoleum

Datamaterialet for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til linoleum er fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). En detaljert beskrivelse av datamaterialet og beregningene er gitt i vedlegg 4. Linoleum lages av linfrøolje, harpiks, kalkstein, trevirke, kork og pigment (Potting & Blok 1995), og består altså av en stor andel naturprodukter.

Både i Jönsson et al. (1995) og i Potting & Blok (1995) er datamaterialet for nederlandsk produksjon. I Potting & Blok (1995) er klimagassutslipp fra produksjon av elektrisiteten som brukes i linoleumsproduksjonen inkludert, mens dette ikke er tilfellet i Jönsson et al. (1995). Siden elektrisiteten er fra kullkraftverk medfører dette stor forskjell i klimagassutslipp fra produksjon.

Den funksjonelle enheten er 1 m² gulv. Levetida til gulvbelegg i linoleum er satt til 25 år i Jönsson et al. (1995) og 15 år i Potting & Blok (1995). Årsaken til denne forskjellen er at i Jönsson et al. (1995) benyttes teknisk levetid, mens Potting & Blok (1995) tar hensyn til hvor ofte slike gulvbelegg faktisk skiftes ut. Vi har valgt 22,5 år og 15 år for å få optimal bruk av produktene i løpet av bygningens levetid. Det er forutsatt at linoleumen brennes etter bruk uten at energien utnyttes, eller at den erstatter vannkraft. Det betyr at karbon i linoleumen blir frigjort uten å substituere klimagassutslipp fra fossile brensler, og kommer som et netto utslipp.

2.2.1.4 Vinyl

Datamaterialet for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til vinyl er fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). En detaljert beskrivelse av datamaterialet og beregningene er gitt i vedlegg 4. Vinyl er et PVC-produkt og framstilles av olje.

Både i Jönsson et al. (1995) og i Potting & Blok (1995) er datamaterialet for nederlandsk produksjon. I Potting & Blok (1995) er klimagassutslipp fra produksjon av elektrisitet inkludert, dette er ikke tilfelle i Jönsson et al. (1995).

Den funksjonelle enheten er 1 m² gulv. Levetida til gulvbelegg i vinyl er satt til 20 år i Jönsson et al. (1995) og 8 år i Potting & Blok (1995). Årsaken til denne forskjellen er at i Jönsson et al. (1995) har de tatt utgangspunkt i teknisk levetid, mens de i Potting & Blok (1995) benytter faktisk levetid. Vi har valgt 22,5 år og 9 år for å få optimal bruk av produktene over levetida til bygningen. Det er forutsatt at vinyl brennes etter bruk uten at energien utnyttes eller at den erstatter vannkraft. Det betyr at karbon i vinylen blir frigjort uten å substituere klimagassutslipp fra fossile brensler, og kommer som et netto utslipp.

2.2.1.5 Teppe i polyamid

Datamaterialet for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til teppe i polyamid er fra Potting & Blok (1995). Slike tepper er laget av polyamid, polypropylen, styren butadien gummi og kalsiumkarbonat. En detaljert beskrivelse av datamaterialet og beregningene er gitt i vedlegg 4.

Datamaterialet er fra nederlandsk produksjon. CO₂-utslipp fra elektrisitetsproduksjon er inkludert. Den funksjonelle enheten er 1 m² gulv. Levetida til teppe i polyamid er satt til 8 år i Potting & Blok (1995), basert på hvor ofte gulvbelegg i

virkeligheten skiftes ut. Vi har valgt 9 år for å få optimal bruk av produktet over levetida til bygningen. Det er forutsatt at tepper i polyamid brennes etter bruk uten at energien utnyttes, eventuelt at den erstatter vannkraft. Det betyr at karbon i teppet blir frigjort uten å substituere klimagassutslipp fra fossile brensler, og kommer som et netto utslipp.

2.2.1.6 Teppe i ull

Datamaterialet for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull er fra Potting & Blok (1995). Som navnet tilsier inneholder teppet ull, men under dette laget består det også av polypropylen, styren butadien gummi og kalsiumkarbonat. En detaljert beskrivelse av datamaterialet og beregningene er gitt i vedlegg 4.

Datamaterialet er fra nederlandsk produksjon. CO₂-utslipp fra elektrisitetsproduksjon er inkludert. Den funksjonelle enheten er 1 m² gulv. Levetida til tepper i ull er satt til 8 år i Potting & Blok (1995), basert på hvor ofte gulvbelegg i virkeligheten skiftes ut. Vi har valgt 9 år for å få optimal bruk av produktet over levetida til bygningen. Produksjon av ull er inkludert. Det vil si at blant annet gjødsling av beite for sau er med. Det er forutsatt at tepper i ull brennes etter bruk uten at energien utnyttes eller at den erstatter vannkraft. Det betyr at karbon i teppet blir frigjort uten å substituere klimagassutslipp fra fossile brensler, og kommer som et netto utslipp.

2.2.2 Sammenligning av gulvkonstruksjoner

Beskrivelse av gulvkonstruksjonene

I terminalbygget på Gardermoen er det 40.000 m² gulv i skifer og 18.000 m² gulv i tre. 600 m² av tregulvet er i norsk eik. Gulvet i skifer og gulvet i norsk eik er sammenlignet med hensyn på energiforbruk og utslipp av klimagasser. Gulvbord i heltre eik og skifer er ikke direkte sammenlignbare fordi de legges på forskjellig underlag. Funksjonell enhet i analysen er derfor 1 m² gulvkonstruksjon. De to gulvtypene ble lagt på forskjellig underlag: Gulvet i tre er lagt på betong, mens skifergulvet kan legges direkte på bakken. I dette tilfellet ble skifergulvet også lagt på betong enkelte steder, og konstruksjonene er sammenlignet på bakgrunn av dette. En beskrivelse av hvilke materialer som inngår i gulvkonstruksjonene og hvilke av dem som er tatt med i analysen er vist i tabell 1.

Tabell 1. Beskrivelse av gulvtypenes oppbygning samt materialmengder¹⁾.

Gulvtype	Material ³⁾	Materialmengder	Produksjonssted
Tre	<i>Mesterolje</i>	<i>0,07-0,10 liter</i>	<i>Danmark</i>
	<i>Pleieolje</i>		<i>Danmark</i>
	Heltre eik	0,02 m ³	Øydna
	Vannbasert lim	1 liter	
	2 lag kryssfiner	0,036 m ³	Otterbäcken, Sverige
Skifer	<i>Skytespiker</i>		<i>Liechtenstein</i>
	Skifer	55-60 kg (0,02m ³)	Otta
	Mørtel	0,05-0,06 m ³	Gardermoen
	Armeringsnett	1 kg ²⁾	Mo i Rana
	<i>Plastfolie</i>		

¹⁾Kilde: Tremiljø prosjekt AS & Naturstein AS.

²⁾Mengden armeringsnett er fra Jarnehammar (1998).

³⁾Materialer som ikke er med i undersøkelsen står i kursiv.

Data for energiforbruk og klimagassutslipp for materialene som inngår i konstruksjonene er vist i tabell 2. Der det finnes flere referanser for energiforbruk og utslipp fra framstilling av materialene, er det brukt gjennomsnitt. Tettheten for mørtel er 1500 kg/m³ (Björklund & Tillman 1997).

Tabell 2. Energiforbruk og utslipp av klimagasser ved framstilling av materialene i gulvkonstruksjonene.

Materiale	Kilde	Energiforbruk (MJ)				Utslipp (kg)		
		El. (MJ)	Fos. (MJ)	Bio. (MJ)	Sum (MJ)	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)
1 m ³ kryssfiner	Trätec (1997)	1250	1250	2950	5450	96		
1 tonn lim	Dyno Techn. Centre (1999)	249	5476	0	5725	547		
1 kg mørtel	Fossdal (1995)	0,130	0,850	0	0,980	0,185		
1 kg mørtel	Björklund & Tillman (1997)	0,158	0,364	0	0,520	0,067	≈0	≈0
1 kg armering	Fossdal (1995)	3,110	3,060	0	6,170	0,289		
1 kg armering	Björklund et al. (1996)	2,060	2,096	0	4,156	0,214	≈0	

Kostnad

Prisen på gulvet i eik var om lag 900 kroner per m² ferdig lagt (Tremiljø prosjekt AS, pers.medd). Gulvet i skifer kostet fra 700 til 900 kroner per m². Ferdig lagt med striper og kanter var gjennomsnittet 900 kroner (Naturstein AS, pers.medd.). Prisen på ferdig lagt gulv varierer fra trange rom til store, åpne flater. De to konstruksjonene var altså omtrent like i pris, usikkerhetene tatt i betraktning.

Sparte klimagassutslipp

I analysen er energiforbruk over livsløpet til de to gulvkonstruksjonene sammenlignet. Når det gjelder klimagassutslipp er det også beregnet nåverdi av hvor mye klimagassutslipp som spares per m³ treprodukt og hvor mye dyrere gulvkonstruksjonen i tre kan være før prisen per tonn CO₂-ekvivalenter blir lik dagens CO₂-avgift

på bensin. Klimagassene er vektet til CO₂-ekvivalenter ved hjelp av diskontert globalt oppvarmingspotensial, som vist i vedlegg 1.

Det er tatt utgangspunkt i et basis-scenarie både for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet. I analysen av nåverdi av klimagassutslipp er det undersøkt hvordan avvik fra dette basisscenariet virker inn på resultatet. Det er sett bort fra energiforbruk og klimagassutslipp ved bygging, renhold og riving. Trinnene i livsløpet som er inkludert i analysen er framstilling og avfallshåndtering.

Rentekrav

Det er brukt fem ulike rentekrav i beregningene, 0, 2, 4, 6 og 8% p.a. Korresponderende verdier for diskontert globalt oppvarmingspotensial (Sygna et al. 1999), vist i vedlegg 1, er brukt for å vekte klimagassene til CO₂-ekvivalenter.

Bruktid

Bruktida til terminalbygningen er i analysen satt til 45 år. Både skifer og eikegulv varer ut denne perioden.

Framstilling av materialene i gulvkonstruksjonen i tre

I basisscenariet er mest sannsynlige estimater for alle forutsetninger brukt. Avvik fra basis er at henholdsvis laveste og høyeste estimater er brukt for alle forutsetningene i livsløpsanalysen av gulvbord i heltre eik.

Framstilling av materialene i gulvkonstruksjonen i skifer

I basisscenariet er mest sannsynlige estimater for alle forutsetningene brukt. Avvik fra basis er at henholdsvis laveste og høyeste estimat er brukt for alle forutsetningene i livsløpsanalysen av skifer, pluss for mengden mørtel som inngår i konstruksjonen.

Avfallshåndtering av gulvkonstruksjon i tre

I basisscenariet blir gulvbord i eik og kryssfiner brent etter bruk, og energien forutsettes å erstatte olje og vannkraft med et forhold på 30/70 basert på dagens energiforsyning. To alternativer til basisscenariet er vurdert: (1) Energien erstatter olje, og (2) materialene blir deponert etter bruk.

Avfallshåndtering av gulvkonstruksjon i skifer

I basisscenariet er det forutsatt at gulvkonstruksjonen deponeres etter bruk. Avvik fra basis er at gulvkonstruksjonen gjenbrukes.

Skogareal

I basisscenariet er det ikke tatt hensyn til karbonbinding på skogarealet som ble frigitt da tømmeret til gulvkonstruksjonen i tre ble hogd. Virkningen av denne karbonbindingen er undersøkt i et avvik fra basis.

Rapport fra skogforskningen

2.2.3 Sammenligning av gulvbelegg

I denne undersøkelsen er ulike gulvbelegg sammenlignet med hensyn på klimagassutslipp. Grunnen til at kun gulvbelegget er sammenlignet er at alle de ulike typene kan legges på samme underlag. Alle limes også til underlaget, og det er sett bort fra en eventuell forskjell i limtype. Funksjonell enhet er 1 m² gulv.

Kostnad

Alle gulvbeleggene kan variere mye i pris mellom ulike merker, mønster etc. På bakgrunn av dette er det brukt rimeligste pris for alle gulvbeleggene. Prisene som er brukt i analysen er vist i tabell 3. Ut i fra disse er kostnadseffektiviteten ved å bruke heltre eik i stedet for de andre gulvbeleggene beregnet. Det er forutsatt at alle andre kostnader, for eksempel legging, er like for alternativene for gulvbelegg.

Tabell 3. Oversikt over priser (1999-prisnivå) brukt i analysen (Nordby Gulv AS, pers.medd.).

Gulvbelegg	Rimeligste innkjøpspris (kroner/m ² inkl. moms)
Linoleum	111
Vinyl	115
Heltre	600
Teppe, ull	240
Teppe, polyamid	248

Sparte klimagassutslipp

I analysen er det kun sett på klimagassutslipp fra de ulike gulvbeleggene. Diskonterte klimagassutslipp ved substitusjon mellom heltre eik og linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid er beregnet. I tillegg er det beregnet hvor store klimagassutslipp som spares per m³ trelast som brukes til gulvbelegg.

Rentekrav

Det er brukt fem ulike rentekrav i beregningene, 0, 2, 4, 6, og 8% p.a. Korresponderende verdier for diskontert globalt oppvarmingspotensial er brukt for å vekte klimagassene til CO₂-ekvivalenter.

Brukstid

Brukstida til terminalbygningen er i analysen satt til 45 år, slik at alle gulvbeleggene får optimal levetid. Alle gulvbeleggene skiftes i løpet av denne perioden ut etter hvert som de blir utslitt. Både klimagassutslipp fra framstilling av nytt gulvbelegg og fra forbrenning av det gamle er diskontert tilbake til i dag. Brukstidene til gulvbeleggene er:

- Linoleum 1 (Jönsson et al. 1995), 22,5 år
- Linoleum 2 (Potting & Blok 1995), 15 år
- Vinyl 1 (Jönsson et al. 1995), 22,5 år
- Vinyl 2 (Potting & Blok 1995), 9 år
- Teppe i ull (Potting & Blok 1995), 9 år
- Teppe i polyamid (Potting & Blok 1995), 9 år

Framstilling av materialene

Det mest sannsynlige estimatet for klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik er brukt i analysen. For de øvrige gulvbeleggene foreligger det ingen følsomhetsanalyse, slik at det er mest sannsynlige estimater som er benyttet også for disse.

Avfallshåndtering av materialene

For alle gulvbeleggene, inkludert heltre eik, er det kun sett på ett alternativ for avfallshåndtering: Forbrenning der energien ikke utnyttes eller tilsvarende at den erstatter vannkraft.

Skogareal

I den første delen av analysen er det ikke tatt hensyn til karbonbindingen på skogarealet som ble frigitt da tømmeret til gulvbordene ble hogd. Virkningen av å ta med denne karbonbindingen er undersøkt i del 2 av analysen.

3 Resultat

3.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet

3.1.1 Gulvbord i heltre eik

3.1.1.1 Energiforbruk

Resultatet for energiforbruk over livsløpet til gulvbordene i heltre eik er delt inn i energiforbruk til framstilling og energiforbruk/spart energi ved de tre ulike måtene å behandle gulvbordene på når de skal skiftes ut (se figur 4). Der energiforbruket er negativt betyr det at man sparer energi. Dette skyldes at når gulvbordene brennes, kan energien som frigjøres erstatte annen energi.

Det samlede energiforbruket til framstilling av gulvbordene er 10 kWh per m². Det brukes ikke noe bioenergi i framstillingen siden sagbruket ikke har barkfyringsanlegg. To tredjedeler av energien til framstilling er elektrisk energi. Av resultatene for de to alternativene for avfallshåndtering der gulvbordene brennes, ser man at man kan spare mye energi ved å utnytte energien i gulvbordene. Energiinnholdet overstiger energiforbruket ved framstilling. Hvis gulvbordene deponeres, alt.3, forbrukes energi til arbeid på lagringsplassen for avfall.

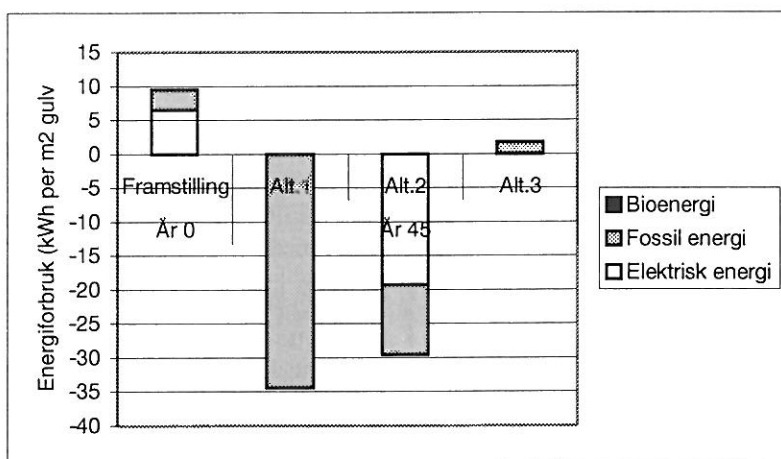


Fig.4. Energiforbruk over livsløpet til gulvbord i heltre eik (kWh per m² gulv). Søylen i år null viser energiforbruket til framstilling, mens de tre søylene i år 45 viser energiforbruket ved de ulike alternativene for avfallsbehandling. Alt.1 er at trevirket brennes og at energien erstatter energi fra olje. Alt.2 er at trevirket brennes og at energien erstatter energi delvis fra vannkraft og olje. Alt.3 er at trevirket deponeres.

I figur 5 er det vist hvordan energiforbruket ved framstilling av gulvbord i heltre eik fordeler seg på de ulike trinnene i framstillingsprosessen. Prosessene på sagbruket står for den klart største andelen, 74%. Deretter kommer transport med 16%. Precombustion, det vil si utvinning og raffinering av diesel, står for 6% av energiforbruket mens hogst står for 4%.

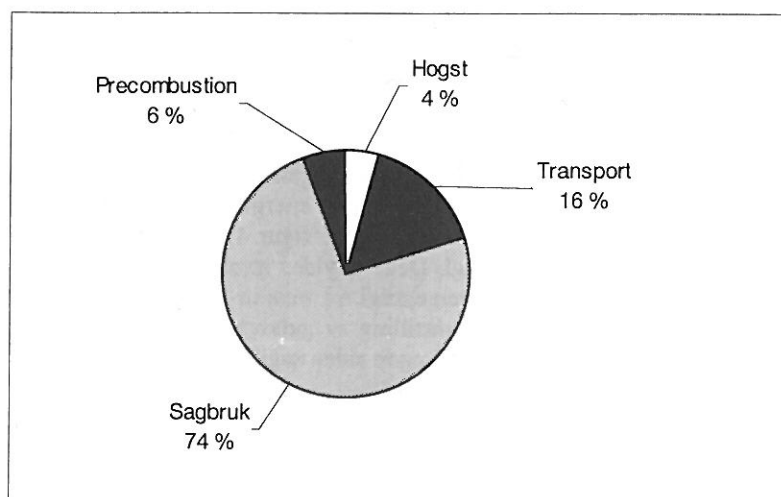


Fig.5. Framstilling av gulvbord i heltre eik. Energiforbruk fordelt på de ulike trinnene i framstillingsprosessen.

Følsomhetsanalyser

Vi har undersøkt hvor mye usikkerheten i datamaterialet betyr for resultatet, og hvilke forutsetninger som betyr mest. Denne følsomhetsanalysen er gjennomført for framstilling og de ulike alternativene for avfallshåndtering hver for seg. Alle forutsetninger er endret en for en for å se hvor stor endring dette ga i resultatet. I tabell 4 er følsomhetsanalysen for energiforbruk ved framstilling av gulvbordene listet opp. Det mest sannsynlige estimatet er angitt sammen med laveste og høyeste estimat for forutsetningen. Disse er angitt som "min" og "max" i tabellen. Deretter er prosentvis endring i resultatet som følge av denne variasjonen beregnet.

Tabell 4 viser at det er usikkerheten i skurutbytte og årlig strømforbruk som har størst betydning for resultatet. Deretter kommer usikkerheten i hvor mye tømmer som brukes på sagbruket i løpet av ett år. De øvrige forutsetningene har liten betydning for resultatet. Sammenlignet med den prosentvise variasjonen i forutsetningene er endringen i resultatet lav for alle forutsetninger. Tabellen viser også at når forutsetningene endres med 10%, endres resultatet med mindre enn 10%.

Fra tabell 4 kan vi også se at skurutbytte og årlig produksjon gir større endring i resultat når de reduseres enn når de økes, til tross for at endringen i forutsetningen er lik enten den økes eller reduseres. Se forklaring i diskusjonen i kap.4.1.1.

Tabell 4. Følsomhetsanalyse for energiforbruk fra framstilling av gulvbord i heltre eik*.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med $\pm 10\%$	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Drivstofforbruk hogstmaskin i liter/m ³	-	1	1,4	-	40	-	0	0	0
Drivstofforbruk lassbærer i liter/m ³	0,9	1	1,2	-10	20	0	0	0	0
Drivstofforbruk landbr.traktor i liter/m ³	1,65	2	-	-18	-	-1	-	0	0
Drivstofforbruk motorsag i liter/m ³	0,1	0,275	0,5	-64	82	0	0	0	0
Andel avv. med hogstmaskin og lassbærer	-	0,2	1	-	400	-	0	-	-
Andel avv. med motorsag og lassbærer	-	0,2	1	-	400	-	-2	-	-
Andel avv. med motorsag og traktor	-	0,4	1	-	150	-	1	-	-
Transportavstand inn til sagbruk i km	40	50	60	-20	20	0	0	0	0
Dieselforbruk transport i liter/km	0,35	0,45	0,55	-22	22	-4	4	-2	2
Nyttelast i tonn	25	27,5	30	-9	9	2	-2	2	-2
Skurutbytte i prosent	20	25	30	-20	20	17	-11	8	-6
Årlig strømforbruk sagbruk i 1000 kroner	150	200	250	-25	25	-17	17	-7	7
Dieselforbruk på sagbruk i liter/m ³ trelast	1,0	2,3	3,2	-57	39	-3	2	-1	1
Årlig prod. sagbruk i 1000 m ³ tømmer	4	4,5	5	-11	11	9	-7	8	-6
Returlass	nei	halvt	ja	-	-	-6	6	-	-
Denstet gulvbord i kg/m ³	650	700	750	-7	7	-1	1	-2	2

*En og en forutsetning er endret fra basisverdi til henholdsvis minimums- og maksimumsverdi og den prosentvise endringen i resultatet er beregnet.

Tabell 5 viser følsomhetsanalysen for energiforbruk/spart energi for avfallshåndtering 1, gulvbordene brennes og energien fra forbrenningen brukes til å erstatte olje. Usikkerheten i virkningsgraden for forbrenning av trevirke betyr mest for resultatet, fulgt av virkningsgraden for forbrenning av olje.

Tabell 6 viser følsomhetsanalysen for energiforbruk/spart energi for avfallshåndtering 2, gulvbordene brennes og energien erstatter olje og vannkraft. I motsetning til i tabell 5 der energien erstatter kun olje, er det bare virkningsgraden for forbrenning av trevirke som har betydning i dette alternativet.

Tabell 7 viser følsomhetsanalysen for energiforbruket for avfallshåndtering 3, gulvbordene deponeres. Usikkerheten i forbruket av diesel på lagringsplass for avfall gir en usikkerhet på 77% i resultatet for energiforbruk ved avfallshåndtering.

Tabell 5. Følsomhetsanalyse for energiforbruk ved avfallshåndtering 1, gulvbordene brennes og energien erstatter energi fra olje.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%			
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Brennverdi eik i kWh per m ³	2400	2500	2600	-4	4	-4	4	-10	10
Virkningsgrad, forbrenning av olje	0,65	0,80	0,90	-19	13	23	-11	11	-9
Virkningsgrad, forbrenning av tre	0,30	0,55	0,80	-45	45	-45	45	-10	10

Tabell 6. Følsomhetsanalyse for energiforbruk ved avfallshåndtering 2, gulvbordene brennes og 70% av energien erstatter energi fra vannkraft, 30% av energien erstatter energi fra olje.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%			
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Brennverdi eik i kWh per m ³	2400	2500	2600	-4	4	-4	4	-10	10
Virkningsgrad, forbrenning av olje	0,65	0,80	0,90	-19	13	4	-2	2	-2
Virkningsgrad, forbrenning av tre	0,30	0,55	0,80	-45	45	-45	45	-10	10

Tabell 7. Følsomhetsanalyse for energiforbruk ved avfallshåndtering 3, gulvbordene deponeres.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med $\pm 10\%$	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Densitet eik i kg/m ³	650	700	750	-7	7	-7	7	-10	10
Dieselforbruk deponi i MJ/tonn avfall	100	450	800	-78	78	-77	77	-10	10
Metanpotensial i kg	118	168	218	-30	30	0	0	0	0

I neste følsomhetsanalyse er det satt inn henholdsvis mest fordelaktige og minst fordelaktige estimat for alle forutsetningene samtidig. Hvordan energiforbruket vil variere når dette gjøres, er vist i tabell 8. Resultatene for framstilling og avfallshåndtering er vist hver for seg. Som man kan se av tabellen ligger energiforbruket mellom 5 og 16 kWh per m², med et mest sannsynlig energiforbruk på 10 kWh. Energiforbruket ved avfallshåndtering varierer også betraktelig.

Tabell 8. Oversikt over variasjonsområdet for energiforbruk for framstilling og ulike alternativ for avfallsbehandling for gulvbord per m².

År		Energiforbruk i kWh			Endring i resultat i prosent
		Laveste estimat	Mest sannsynlige estimat	Høyeste estimat	
0	Framstilling	5	10	16	-47 62
40	Energi fra limtre substituerer olje	-64	-34	-16	86 -53
	Energi fra limtre subst. olje og vannkraft	-26	-17	-8	58 -49
	Limtre deponeres	0	2	3	-79 90

I den siste følsomhetsanalysen er alle forutsetninger henholdsvis økt og redusert med 10% samtidig. Dette gir et uttrykk for hvor følsomt resultatet er for usikkerhet i datamaterialet. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 9. Endringene er vist separat for framstilling og de ulike alternativene for avfallsbehandling. Energiforbruket ved framstilling endres mindre enn 10% når alle forutsetninger endres med 10%. For de tre alternativene for avfallsbehandling endres energiforbruket med mer enn 10% når alle forutsetninger endres med 10%. Både for framstilling og avfallshåndtering endres resultatet mer når forutsetningene økes med 10% enn når de reduseres med 10%, som forklart i kap.4.1.1.1.

Tabell 9. Prosentvis endring i energiforbruk av at alle forutsetninger i analysen økes/redueres med 10%.

År		Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger reduseres med 10%	Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger økes med 10%
0	Framstilling	-8	9
40	Energi fra limtre substituerer olje	-19	21
	Energi fra limtre subst. olje og vannkraft	-26	31
	Limtre deponeres	-27	33

3.1.1.2 Klimagassutslipp

Figur 6 viser klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik. Tiden er vist langs x-aksen, mens klimagassutslipp er vist langs y-aksen. Der utslippene er negative vil det si at man sparer utslipp. Framstilling, det vil si alle trinn fra hogst til ferdig bygning, skjer i år null. Det er forutsatt at gulvet har en levetid på 45 år. Hva som blir gjort med gulvbordene etter dette, er det vist tre alternativer for. Det første er at gulvbordene brennes og at energien erstatter energi fra forbrenning av olje. Det andre er også at gulvbordene brennes, men at 30% av energien erstatter olje, og 70% erstatter vannkraft. Det tredje alternativet er deponering, som gir CH₄-utslipp.

Utslippene fra forbrenning skjer momentant, mens utslipp fra deponering skjer gradvis over en lang periode. For å vekte klimagassene til CO₂-ekvivalenter er det i figuren brukt DGWP, diskontert globalt oppvarmingspotensial, med et rentekrav på 0%, jamfør vedlegg 1. Det er de mest sannsynlige estimatene som er vist i denne oversikten.

I figur 6 kan vi se at klimagassutslippet fra framstilling av gulvbord i heltre eik er 0,7 kg CO₂-ekvivalenter. Resultatene fra avfallsbehandling er veldig forskjellige. Det beste alternativet er at gulvbordene brennes og at energien brukes til å erstatte olje. Da blir utslippet negativt, det vil si at klimagassutslipp spares. I alternativet hvor energien erstatter vannkraft og olje, er også klimagassutslippet negativt, men ikke så mye som når energien erstatter olje. Klimagassutslippene fra nedbrytning er ikke så store det enkelte år, men skjer over en lang periode og avtar gradvis. Generelt kan man si at klimagassutslippene fra framstilling er lave, mens avfallshåndteringen både kan gi store besparelser og utslipp avhengig av hvilket alternativ som velges.

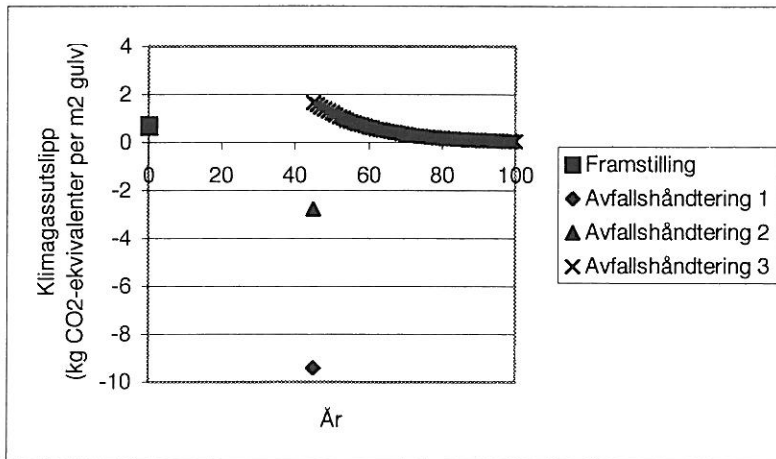


Fig.6. Klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik. I figuren er CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial på 0%. Avfallshåndtering 1 er forbrenning der energien erstatter olje. Avfallshåndtering 2 er forbrenning der energien erstatter 70% vannkraft og 30% olje. Avfallshåndtering 3 er deponering, som gir CH₄-utslipp. Utslipp fra forbrenning skjer momentant, mens utslipp fra nedbrytning skjer gradvis over en lang tidsperiode.

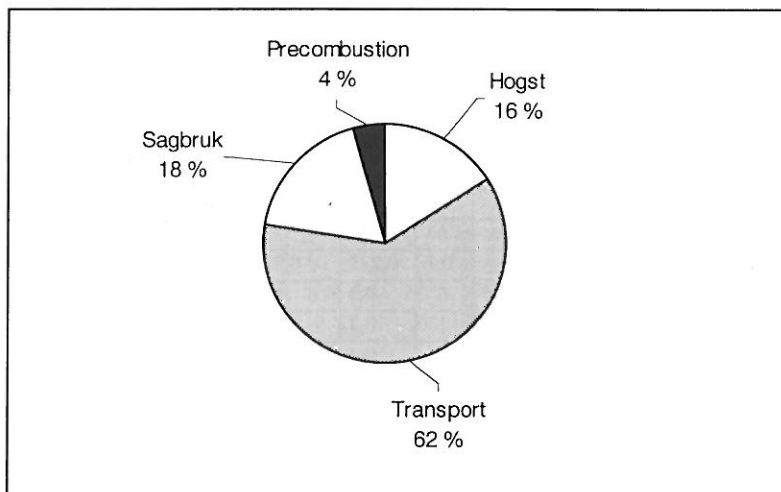


Fig.7. Klimagassutslipp fra framstilling av gulvbord i heltre eik fordelt på de ulike trinnene i framstillingsprosessen. CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial på 0%.

Hvis man ser nærmere på klimagassutslippene fra framstilling av gulvbord i heltre eik, ser man at transport står for to tredjedeler av utslippene (se figur 7). Deretter følger sagbruk og hogst med en andel på henholdsvis 18% og 16%.

Precombustion forårsaker 4% av klimagassutslippene fra framstilling. I disse resultatene er CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial tilsvarende 0% rente.

Følsomhetsanalyser

Det er mange forutsetninger i analysen. For de fleste er det funnet et laveste og høyeste anslag. I figur 6 og 7 er det de mest sannsynlige verdiene som er brukt. Tabell 10 viser endringen i resultat for klimagassutslipp fra framstilling av gulvbord i heltre eik, når alle forutsetninger er endret en for en.

Av tabell 10 ser vi at det er usikkerheten vedrørende om lastebilene kjører med returlass eller ikke, samt dieselforbruk ved lastebiltransport som gir størst usikkerhet. Også dieselforbruket til intern transport på sagbruket gir en del usikkerhet, fulgt av nyttelasten lastebilene kjører med. Når nyttelast reduseres med 9% endres resultatet mer enn når den økes med 9%. Det samme ser vi for dieselforbruk til intern transport på sagbruk. Årsaken til dette er forklart i kap.4. Tabell 10 viser også at når forutsetningene endres med 10% endres resultatet mindre enn 10%.

Tabell 10. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp fra framstilling av gulvbord i heltre eik*.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Drivstofforbruk hogstmaskin i liter/m ³	-	1	1,4	-	40	-	1	0	0
Drivstofforbruk lassbærer i liter/m ³	0,9	1	1,2	-10	20	0	0	0	0
Drivstofforbruk landbr.traktor i liter/m ³	1,65	2	-	-18	-	-1	-	-1	1
Drivstofforbruk motorsag i liter/m ³	0,1	0,275	0,5	-64	82	0	0	0	0
Andel avv. med hogstmaskin og lassbærer	-	0,2	1	-	400	-	0	-	-
Andel avv. med motorsag og lassbærer	-	0,2	1	-	400	-	-6	-	-
Andel avv. med motorsag og traktor	-	0,4	1	-	150	-	2	-	-
Transportavstand inn til sagbruk i km	40	50	60	-20	20	-1	1	-1	1
Dieselforbruk transport i liter/km	0,35	0,45	0,55	-22	22	-14	14	-6	6
Nyttelast i tonn	25	27,5	30	-9	9	6	-5	7	-6
Skurutbytte i prosent	20	25	30	-20	20	0	0	0	0
Årlig strømforbruk sagbruk i 1000 kroner	150	200	250	-25	25	0	0	0	0
Dieselforbruk på sagbruk i liter/m ³ trelast	1,0	2,3	3,2	-57	39	-11	7	-2	2
Årlig prod. sagbruk i 1000 m ³ tømmer	4	4,5	5	-11	11	0	0	0	0
Returlass	nei	halvt	ja	-	-	-19	19	-	-
Denstet gulvbord i kg/m ³	650	700	750	-7	7	-4	4	-6	6

*En og én forutsetning er endret fra basisverdi til henholdsvis minimums- og maksimumsverdi og den prosentvise endringen i resultatet er beregnet.

Tabell 11 viser hvordan klimagassutslippet fra avfallshåndtering 1, gulvbordene brennes og energien erstatter olje, forandres når laveste og høyeste estimat for forutsetningene settes inn. Virkningsgradene ved forbrenning av olje og trevirke betyr mye for hvor stort klimagassutslippet blir.

Tabell 11. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp ved avfallshåndtering 1, gulvbordene brennes og energien erstatter energi fra olje.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Brennverdi eik i kWh per m ³	2400	2500	2600	-4	4	-4	4	-10	10
Virkningsgrad, forbrenning av olje	0,65	0,80	0,90	-19	13	23	-11	11	-9
Virkningsgrad, forbrenning av tre	0,30	0,55	0,80	-45	45	-45	45	-10	10

Tabell 12 viser en følsomhetsanalyse for klimagassutslipp fra avfallshåndtering 2. Avfallshåndtering 2 er at gulvbordene forbrennes og at 30% av energien erstatter olje og 70% erstatter vannkraft. Også for dette resultatet er det virkningsgradene for forbrenning av olje og trevirke som gir størst endring.

Tabell 12. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp ved avfallshåndtering 2, gulvbordene brennes og 70% av energien erstatter energi fra vannkraft, 30% av energien erstatter energi fra olje.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Brennverdi eik i kWh per m ³	2400	2500	2600	-4	4	-4	4	-10	10
Virkningsgrad, forbrenning av olje	0,65	0,80	0,90	-19	13	23	-11	11	-9
Virkningsgrad, forbrenning av tre	0,30	0,55	0,80	-45	45	-45	45	-10	10

Tabell 13 viser en følsomhetsanalyse for klimagassutslippet fra avfallshåndtering 3, gulvbordene deponeres. Metanpotensialet, det vil si hvor stort metanutslipp trevirket forårsaker, er opphav til den største usikkerheten i klimagassutslipp fra nedbrytning.

Tabell 13. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp ved avfallshåndtering 3, gulvbordene deponeres.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med $\pm 10\%$	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Densitet eik i kg/m^3	650	700	750	-7	7	-7	7	-10	10
Dieselforbruk deponi i MJ/tonn avfall	100	450	800	-78	78	-77	77	0	0
Metanpotensial i kg	118	168	218	-30	30	-30	30	-10	10

I den neste følsomhetsanalysen er det undersøkt hvordan resultatene forandres når henholdsvis mest fordelaktige og minst fordelaktige estimat brukes for alle forutsetninger. Denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 14. Av tabellen ser vi at klimagassutslipp fra framstilling ligger mellom 0,4 og 0,8 kg CO_2 -ekvivalenter, mens det mest sannsynlige estimatet er på 0,7 kg CO_2 -ekvivalenter. For klimagassutslipp fra de tre alternativene for avfallshåndtering er usikkerheten i resultatet mellom 30 og 90%.

Tabell 14. Oversikt over variasjonsområdet for klimagassutslipp fra framstilling og ulike alternativ for avfallshåndtering for gulvbord per m^2 .

År		Klimagassutslipp i kg CO_2 -ekvivalenter			Endring i resultat i prosent
		Laveste estimat	Mest sannsynlige estimat	Høyeste estimat	
0	Framstilling	0,3	0,7	1,0	-55 33
40	Energi fra gulvbord substituerer olje	-18,4	-9,9	-4,6	86 -53
	Energi fra gulvbord subst. olje og vannkraft	-1,6	-0,9	-0,4	87 -54
	Limtre deponeres	17,7	27,3	38,0	-35 39

I den siste følsomhetsanalysen er alle forutsetninger henholdsvis økt og redusert med 10% for å få et uttrykk for elastisiteten. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 15. Elastisiteten er vist separat for framstilling og de ulike

alternativene for avfallsbehandling. Generelt ser vi av tabell 15 at 10% forandring i forutsetningene forårsaker mer enn 10% forandring i resultatet. Resultatene forandres også mer når alle forutsetninger økes med 10% enn når de reduseres med 10%.

Tabell 15. Prosentvis endring i klimagassutslipp av at alle forutsetninger i analysen økes/reduseres med 10%.

År		Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger reduseres med 10%	Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger økes med 10%
0	Framstilling	-25	29
40	Energi fra gulvbord substituerer olje	-19	21
	Energi fra gulvbord subst. olje og vannkraft	-19	21
	Limtre deponeres	-27	33

Diskonterte klimagassutslipp

Tabell 16 viser diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik med ulike scenarier for avfallshåndtering og rentekrav. Negativt tall betyr at klimagassutslipp unngås. Forskjellen mellom de ulike avfallshåndteringene er størst med lavt rentekrav for så å konvergere mot klimagassutslippet fra framstilling. Diskonterte klimagassutslipp i alternativet der energien fra gulvbordene utnyttes til å erstatte olje er negativ ved lavt rentekrav for så å øke med økende rentekrav. Der energien fra gulvbordene erstatter vannkraft og olje etter dagens fordeling, øker også diskonterte klimagassutslipp med økende rentekrav, men økningen er ikke så stor. For alternativet der gulvbordene deponeres er diskonterte klimagassutslipp veldig høy ved lav rentefot, men avtar med økende rentefot. Se også figur 6 som viser klimagassutslipp over livsløpet.

Tabell 16. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik med ulike avfallshåndteringer og rentekrav. CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Avfallshåndtering	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Energi fra gulvbord substituerer olje	-9	-3	-1	0	0
Energi fra gulvbord subst. vannkraft og olje	-2	0	0	1	1
Gulvbord deponeres	28	24	12	6	3

Forandring i diskonterte klimagassutslipp av å rekne med skogarealet i analysen

Figur 8 er lik figur 6, bortsett fra at CO₂ som bindes på skogarealet som ble frigitt da tømmeret til gulvbordene ble hogd er tatt med. Denne bindingen utgjør 0,4 kg per år og vises som en strek under x-aksen.

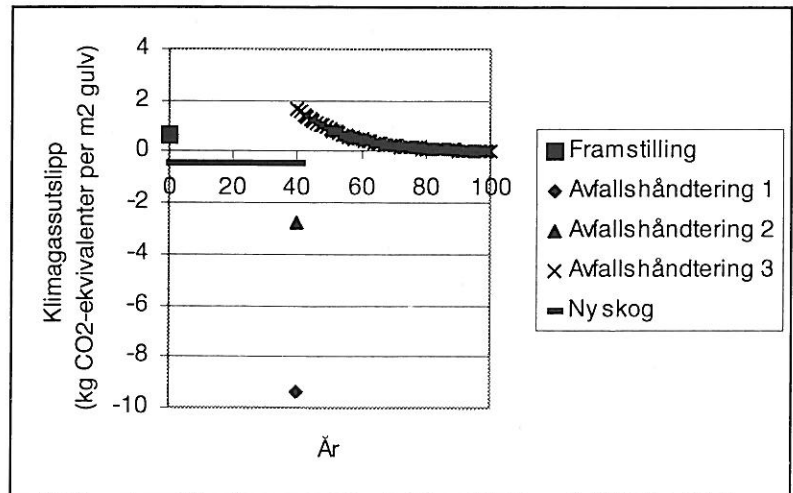


Fig.8. Klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik når karbonbinding i skog som vokser opp på det frigitte skogarealet reknes med. Avfallshåndtering 1 er forbrenning der energien erstatter olje. Avfallshåndtering 2 er forbrenning der energien erstatter 70% vannkraft og 30% olje. Avfallshåndtering 3 er deponering. Beregning av CO₂-ekvivalenter er gjort ut i fra DGWP, diskontert globalt oppvarmingspotensial, med rente 0%. Utslipp fra forbrenning skjer momentant mens utslipp fra nedbrytning og binding skjer gradvis og over flere år.

Tabell 17 viser summen av diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik ved de tre ulike alternativene for avfallshåndtering, når karbonbindingen på det frigitte skogarealet regnes med. Hvis man sammenligner med tabell 16, ser man at både forholdet mellom de ulike avfallshåndteringene og forandringen i diskonterte klimagassutslipp med ulike rentekrav er like. Men størrelsen på utslippene er betydelig lavere når karbonbindingen i skogen regnes med. Det unngås klimagassutslipp ved alle rentekrav i de to alternativene der gulvbordene brennes.

Tabell 17. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik for ulike avfallshåndteringer og rentekrav når karbonbinding på det frigitte skogarealet regnes med. CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Avfallshåndtering	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² takflate				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Energi fra gulvbord substituerer olje	-28	-16	-10	-7	-5
Energi fra gulvbord subst. vannkraft og olje	-21	-13	-9	-6	-5
Gulvbord deponeres	9	12	3	-1	-2

3.1.2 Skifer

3.1.2.1 Energiforbruk

Resultatet for energiforbruk over livsløpet til skifer er vist i figur 9. Energiforbruket er vist for framstilling og de to alternativene for avfallshåndtering hver for seg. Det samlede energiforbruket fra framstilling av skiferen er 29 kWh per m². Over halvparten av denne energien er fra fossilt brensel. Hvis skiferen deponeres etter bruk, forbrukes fossil energi på avfallsplassen. Hvis skifer brukes opp igjen er energiforbruket null. Det brukes ikke noe bioenergi i løpet av livsløpet.

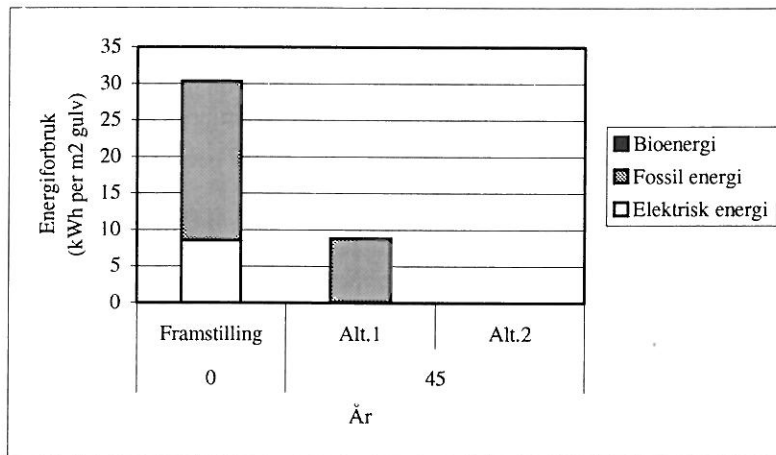


Fig.9. Energiforbruk over livsløpet til skifer. Søylen i år 0 viser energiforbruket til framstilling, mens de to søylene i år 45 viser energiforbruk ved de to alternativene for avfallshåndtering. Avfallshåndtering 1 er deponering. Avfallshåndtering 2 er gjenbruk.

I figur 10 er det vist hvordan energiforbruket ved framstilling av skifer fordeler seg på produksjon, transport og precombustion. Tre fjerdedeler av energien brukes i

produksjonen av skifer. Transport og precombustion av diesel utgjør den resterende fjerdedelen.

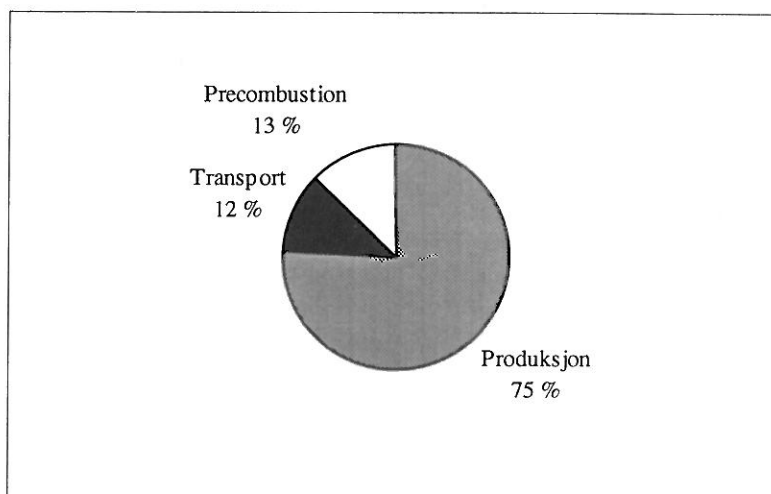


Fig.10. Energiforbruk ved framstilling av skifer fordelt på de ulike trinnene i framstillingsprosessen.

Følsomhetsanalyser

I den første følsomhetsanalysen har vi undersøkt hvor mye variasjonen i forutsetningene betyr for resultatet. Forutsetningene er endret en for en fra mest sannsynlige estimat til laveste/høyeste estimat. Resultatene fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 18.

Tabell 18. Følsomhetsanalyse for energiforbruk fra framstilling av skifer*.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med $\pm 10\%$	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Årlig strømforbruk i 1000 kWh	1000	1500	2000	-33	33	-9	9	-3	3
Årlig forbruk av diesel i 1000 liter	200	250	300	-20	20	-12	12	-6	6
Årlig produksjon i m ² skifer	150	175	200	-14	14	14	-11	10	-8
Dieselforbruk transport i liter/km	0,35	0,45	0,55	-22	22	-3	3	-1	1
Nyttelast på lastebil i 1000 kg	25	27,5	30	-9	9	1	-1	2	-1
Returlass	nei	halvt	ja	-	-	-5	5	-1	1
Vekt skifer i kg	55	57,5	60	-4	4	-1	1	-3	3

*En og én forutsetning er endret.

Fra tabell 18 ser vi at det er usikkerheten i årlig produksjon, forbruk av diesel og strøm som betyr mest for resultatet. For årlig produksjon er variasjonen i forutsetningen like stor i positiv retning som i negativ retning. Men å bruke laveste estimat forårsaker større endring i resultatet enn å bruke høyeste estimat. Årsaken til dette er diskutert i kap.4.1.2. Når forutsetningene endres med 10%, endres resultatet med mindre enn 10%.

I tabell 19 er forutsetningene bak utrekningen av energiforbruk ved deponering endret en for en for å se hvor stor virkning dette har på resultatet. Det viser seg at det er usikkerheten i dieselforbruket på avfallsplassen som har størst betydning. Usikkerheten er høyere når man setter inn høyeste estimat for dieselforbruket enn når man setter inn laveste estimat. Dette er diskutert i kap.4.1.2. For alternativet der skiferen gjenbrukes er det ikke beregnet noe energiforbruk.

Tabell 19. Følsomhetsanalyse for energiforbruk ved deponering av skifer*.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Dieselforbruk på deponi i MJ/kg	0,1	0,45	0,8	-78	78	-77	77	-10	10
Vekt skifer i kg	55	57,5	60	-4	4	-4	9	-10	10

*En og en forutsetning er endret.

I den andre følsomhetsanalysen er henholdsvis det mest fordelaktige og det mest ufordelaktige estimatet for alle forutsetningene satt inn i analysen. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 20. Vi ser at endring i resultat er høyere når man setter inn de høyeste estimatene enn når man setter inn de laveste estimatene.

Tabell 20. Oversikt over variasjonsområdet for energiforbruk for framstilling og ulike alternativ for avfallshåndtering skifer per m². Avfallshåndtering 1 er deponering. Avfallshåndtering 2 er gjenbruk.

År		Energiforbruk i kWh			Endring i resultat i prosent	
		Laveste estimat	Mest sannsynlige estimat	Høyeste estimat		
0	Framstilling	19	30	46	-37	51
40	Skifer deponeres	2	9	16	-78	85
	Skifer gjenbrukes	0	0	0	0	0

I den siste følsomhetsanalysen er alle forutsetninger henholdsvis økt og redusert med 10% for å få et uttrykk for hvor følsomt resultatet er for usikkerhet i forutsetningene. Dette er et ekstremt uttrykk for usikkerheten, en maksimal usikkerhet. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 21. Endringen i resultat er vist separat for framstilling og de ulike alternativene for avfallsbehandling. Tabellen viser at for framstilling medfører en endring i alle forutsetninger på 10% en endring mindre enn 10% i resultatet. For avfallshåndtering 1, deponering, medfører 10% endring i forutsetningene mer enn 10% endring i resultatet. Her forandres også resultatet mer når alle forutsetninger økes med 10% enn når de reduseres med 10%.

Tabell 21. Prosentvis endring i energiforbruk av at alle forutsetninger i analysen økes/reduseres med 10%.

År		Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger reduseres med 10%	Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger økes med 10%
0	Framstilling	-4	4
40	Skifer deponeres	-20	23
	Skifer gjenbrukes	0	0

3.1.2.2 Klimagassutslipp

Figur 11 viser klimagassutslipp over livsløpet til gulv i skifer. Tiden er vist langs x-aksen, mens klimagassutslipp er vist langs y-aksen. Framstilling skjer i år 0. Siden skifergulvet er forutsatt å være gjennom hele bygningens levetid skjer avfallshåndteringen i år 45. Det er vist to alternativer for avfallshåndtering: Deponering og gjenbruk. Siden det ikke er noe organisk materiale i skifer, skjer alle utslipp momentant. For å vekte klimagassene til CO₂-ekvivalenter er det i figuren brukt diskontert globalt oppvarmingspotensial med rente 0%.

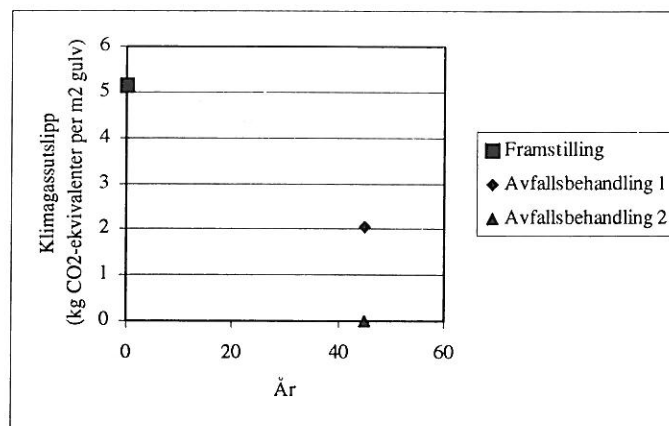


Fig.11. Klimagassutslipp over livsløpet til skifer. Avfallsbehandling 1 er deponering. Avfallsbehandling 2 er gjenbruk. Beregningene av CO₂-ekvivalenter er gjort ut i fra DGWP, diskontert globalt oppvarmingspotensial, med rente 0%. Alle utslipp er momentane.

Som det går fram av figur 11 er klimagassutslippet fra framstilling 5,1 kg CO₂-ekvivalenter. Klimagassutslippet fra deponering er 2,0 kg CO₂-ekvivalenter, mens det fra gjenbruk ikke er beregnet noen utslipp fordi skiferen da går over til et nytt produkt og eventuelle utslipp belastes ikke nåværende produkt. Alle tall er relatert til 1 m² gulv. Det er ingen negative utslipp, det vil si at klimagassutslipp unngås. Utslippet fra framstilling er høyere enn utslippet fra begge de to alternative avfallshåndteringene.

I figur 12 er det vist hvordan klimagassutslippene er fordelt på de ulike trinnene i framstillingen av skifer. Over tre fjerdedeler av klimagassutslippene kommer fra selve produksjonen. Transport og precombustion forårsaker til sammen 23% av klimagassutslippet.

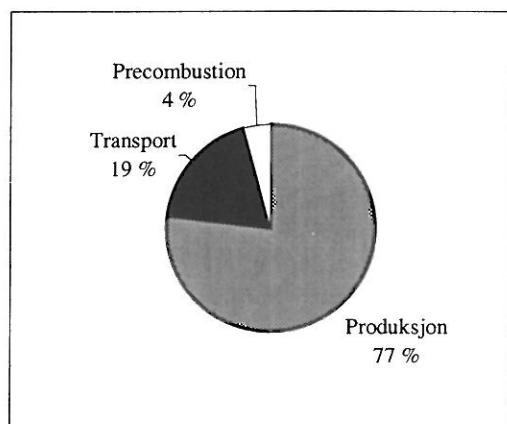


Fig.12.

Klimagassutslipp fra framstilling av skifer fordelt på de ulike trinnene i framstillingsprosessen.

Følsomhetsanalyser

I den første følsomhetsanalysen har vi undersøkt hvor mye usikkerheten i datamaterialet betyr for resultatet, og hvilke forutsetninger som betyr mest. Denne følsomhetsanalysen er gjennomført for framstilling og avfallshåndtering hver for seg. Alle forutsetninger er endret en for en for å se hvor stor endring dette ga i samlet klimagassutslipp. Resultatet fra følsomhetsanalysen for klimagassutslipp fra framstilling av skifer er vist i tabell 22. Det mest sannsynlige estimatet er angitt sammen med laveste og høyeste estimat for forutsetningen. Deretter er prosentvis endring i resultatet som følge av denne variasjonen beregnet.

Tabell 22. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp fra framstilling av skifer. En og en forutsetning er endret.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Årlig strømforbruk i 1000 kWh	1000	1500	2000	-33	33	0	0	0	0
Årlig forbruk av diesel i 1000 liter	200	250	300	-20	20	-16	16	-8	8
Årlig produksjon i m ² skifer	150	175	200	-14	14	13	-10	9	-7
Dieselforbruk transport i liter/km	0,35	0,45	0,55	-22	22	-4	4	-2	2
Nyttelast på lastebil i 1000 kg	25	27,5	30	-9	9	2	-2	2	-2
Returlass	nei	halvt	ja	-	-	7	-7	-2	2
Vekt skifer i kg	55	57,5	60	-4	4	-1	1	0	0

Av tabell 22 ser vi at det er usikkerheten i årlig forbruk av diesel, årlig produksjon og hvor stort returlass lastebilene kjører med som har størst betydning for resultatet. De andre forutsetningene har mindre betydning. For årlig produksjon er variasjonen i forutsetningen like stor i positiv som i negativ retning. Når man setter inn høyeste estimat for forutsetningen, endres imidlertid resultatet mindre enn når man setter inn laveste estimat. Når forutsetningene endres med 10%, endres resultatet med mindre enn 10%.

Den samme følsomhetsanalysen er gjennomført for klimagassutslipp fra deponering av skifer. Resultatene fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 23. Av tabellen ser vi at forandringen i resultat er lik variasjonen i forutsetningene.

Tabell 23. Følsomhetsanalyse for klimagassutslipp fra deponering av skifer. En og en forutsetning er endret.

Forutsetning	Reell variasjon i forutsetning			Variasjon i forutsetning i prosent		Endring i resultat i prosent		Endring i resultat i prosent når forutsetning endres med ±10%	
	min	basis	max	min	max	min	max	-10%	+10%
Dieselforbruk på deponi i MJ/kg	0,1	0,45	0,8	-78	78	-78	78	-10	10
Vekt skifer i kg	55	57,5	60	-4	4	-4	4	-10	10

I den andre følsomhetsanalysen er henholdsvis de mest fordelaktige og minst fordelaktige estimatene satt inn for alle forutsetningene samtidig. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 24. Klimagassutslippet ved framstilling av skifer ligger mellom 3 og 8 kg CO₂-ekvivalenter per m² med 6 kg CO₂-ekvivalenter som mest sannsynlige resultat. Klimagassutslipp ved avfallshåndtering 1, deponering, er fra 0-4 kg CO₂-ekvivalenter per m² skifer, med et mest sannsynlig estimat på 2 kg CO₂-ekvivalenter. For avfallshåndtering 2, gjenbruk, er det ikke beregnet noe klimagassutslipp. Verdiene for klimagassutslipp i tabellen er avrundet. Prosentvis endres resultatet mer når høyeste estimat brukes for alle forutsetninger enn når laveste estimat brukes for alle forutsetninger. Årsaker til dette er diskutert i kap. 4.1.2.

Tabell 24. Oversikt over variasjonsområdet for klimagassutslipp fra framstilling og ulike alternativ for avfallshåndtering av skifer per m².

År		Klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter			Endring i resultat i prosent	
		Laveste estimat	Mest sannsynlige estimat	Høyeste estimat		
0	Framstilling	3	5	8	-35	49
40	Skifer deponeres	0	2	4	-79	86
	Skifer gjenbrukes	0	0	0	0	0

I den siste følsomhetsanalysen er alle forutsetninger henholdsvis økt og redusert med 10% for å få et uttrykk for hvor følsomt resultatet er for usikkerhet i forutsetningene. Resultatet fra denne følsomhetsanalysen er vist i tabell 25. Endringen i resultat er vist separat for framstilling og de ulike alternativene for avfallsbehandling. Tabellen viser at for framstilling medfører en endring i alle forutsetninger på 10% en endring mindre enn 10% i resultatet. For avfallshåndtering 1, deponering, medfører 10% endring i forutsetningene mer enn 10% endring i resultatet. Både for framstilling og deponering forandres også resultatet mer når alle forutsetninger økes med 10% enn når de reduseres med 10%.

Tabell 25. Prosentvis endring i klimagassutslipp av at alle forutsetninger i analysen økes/reduseres med 10%.

År		Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger reduseres med 10%	Prosentvis endring i resultat når alle forutsetninger økes med 10%
		0	Framstilling
40	Skifer deponeres	-19	22
	Skifer gjenbrukes	0	0

Diskonterte klimagassutslipp

Tabell 26 viser diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til skifer med ulike avfallshåndteringer og rentekrav. Når skiferen deponeres, avtar summen av

diskonterte klimagassutslipp mot klimagassutslippet fra framstilling med økende rentefot. I alternativet der skifer gjenbrukes er nåverdien lik ved alle rentekrav.

Tabell 26. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til skifer med ulike avfallshåndteringer og rentekrav. CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Avfallshåndtering	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Skiferen deponeres	7	6	6	5	5
Skiferen gjenbrukes	5	5	5	5	5

3.1.3 Linoleum

Figur 13 viser klimagassutslipp over livsløpet til linoleum. Tallene er fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). Tiden er vist langs x-aksen mens klimagassutslipp er vist langs y-aksen. Det er brukt ulike levetider i de to undersøkelsene, 15 og 25 år. Vi ser av figuren at klimagassutslipp fra framstilling er mellom 1,5 og 3 kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv. Linoleum er laget av linfrøolje, et biologisk produkt, og nettoutsippet av CO₂ er null på samme måte som for trevirke. Klimagassutslipp fra avfallshåndtering, forbrenning der energien ikke utnyttes eller erstatter vannkraft, er derfor null.

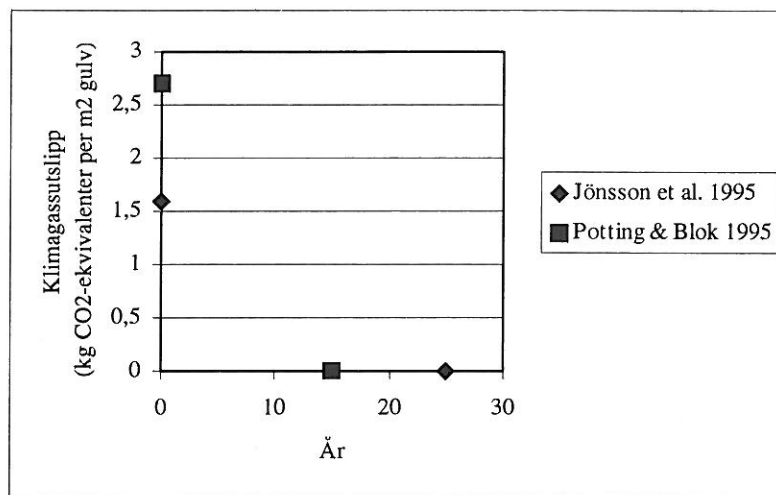


Fig.13. Klimagassutslipp over livsløpet til linoleum. Kilde: Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial på 0%.

Diskonterte klimagassutslipp

Tabell 27 viser diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til linoleum for ulike rentekrav og med data fra de to ulike undersøkelsene. Diskonterte klimagassutslipp forandres ikke med økende rentekrav for noen av alternativene. Med tall fra Jönsson et al. (1995) er summen lavere enn med tall fra Potting & Blok (1995).

Tabell 27. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til linoleum. Data fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Undersøkelse	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Jönsson et al. 1995	2	2	2	2	2
Potting & Blok 1995	3	3	3	3	3

3.1.4 Vinyl

Figur 14 viser klimagassutslipp over livsløpet til vinyl. Tallene for utslipp fra framstilling og avfallshåndtering, forbrenning der energien erstatter vannkraft, er fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). Utslipp fra framstilling er fra 2,0 til 2,6 kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv i begge undersøkelsene, mens utslipp fra avfallshåndtering er 2,2 kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv. Levetiden er forskjellig i de to undersøkelsene, 8 og 20 år, jamfør kap.2.

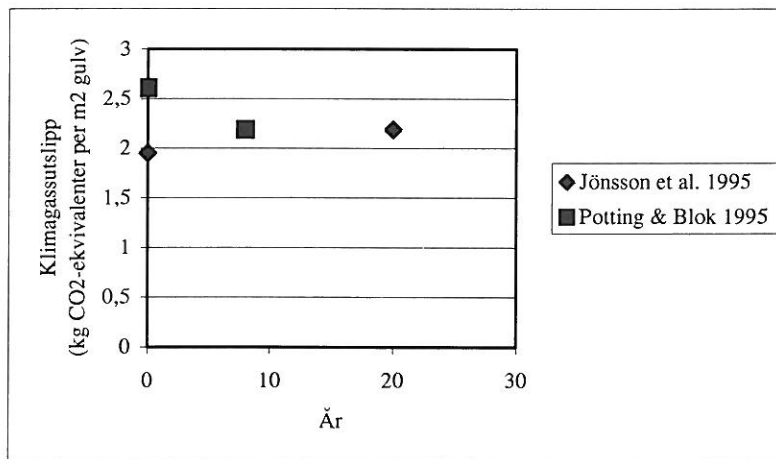


Fig.14. Klimagassutslipp over livsløpet til vinyl, fra de to undersøkelsene Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial på 0%.

Diskonterte klimagassutslipp

Tabell 28 viser diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til vinyl for ulike rentekrav og med data fra de to ulike undersøkelsene. Summen avtar når rentekravet øker. Med tall fra Jönsson et al. (1995) er diskonterte klimagassutslippene lavere enn med tall fra Potting & Blok (1995).

Tabell 28. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til vinyl. Data fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Undersøkelse	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Jönsson et al. 1995	4	3	3	3	2
Potting & Blok 1995	5	5	4	4	4

3.1.5 Teppe i ull og teppe i polyamid

Figur 15 viser klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull og teppe i polyamid. Tallene er hentet fra Potting & Blok (1995). Klimagassutslipp fra framstilling er mye høyere for teppe i ull enn for teppe i polyamid. Utslippene fra avfallshåndtering er litt høyere fra teppe i polyamid enn fra teppe i ull, men ikke mye.

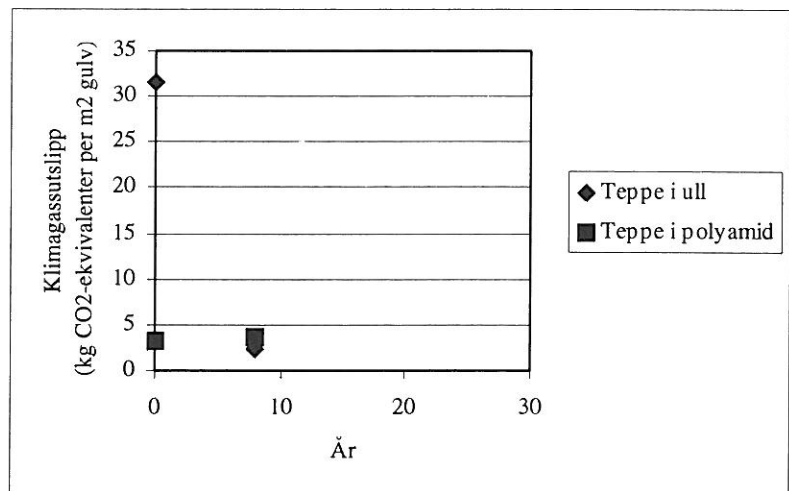


Fig.15. Klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull og teppe i polyamid. Kilde: Potting & Blok 1995. CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial på 0%.

Diskonterte klimagassutslipp

Tabell 29 viser diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull og teppe i polyamid for ulike rentekrav. Summen av diskonterte klimagassutslipp over livsløpet er høyere for teppe i ull enn for teppe i polyamid. For teppe i ull øker nåverdien med økende rentekrav, mens den avtar for teppe i polyamid. Årsaker til dette diskuteres i kap. 4.1.5.

Tabell 29. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull og teppe i polyamid. Data fra Potting & Blok (1995). CO₂-ekvivalenter er beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial.

Gulvbelegg	Diskonterte klimagassutslipp i kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Teppe i ull	34	87	123	148	168
Teppe i polyamid	7	6	6	6	5

3.2 Sammenligning av gulvkonstruksjoner

Kontantstrømmer for basisscenariet

En kort beskrivelse av basisscenariet (grundig beskrivelse i kapittel 2.2.2 om forutsetninger):

- Rentekrav 0, 2, 4, 6 og 8%.
- Ingen forskjell i pris for en løsning i skifer og en i tre.
- Etter riving forbrennes tregulvet og 70% av energien erstatter vannkraft, 30% erstatter olje.
- Etter riving deponeres skifergulvet.
- Mest sannsynlige estimater er brukt for energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet til gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer.
- Brukstida på terminalbygningen er satt til 45 år. Begge gulv-konstruksjonene antas å vare hele denne perioden.

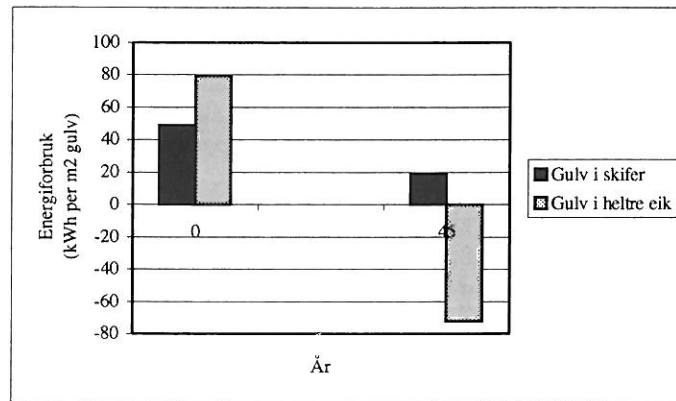


Fig.16. Energiforbruk over levetida til terminalbygningen på Gardermoen for gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjonen i skifer.

Figur 16 viser en sammenligning av energiforbruket for en gulvkonstruksjon i tre og en gulvkonstruksjon i skifer. Konstruksjonene er betraktet over en periode på 45 år. Der energiforbruket er negativt, betyr det at energi spares. Det kreves mer energi til framstilling av konstruksjonen i tre enn den i skifer. I avfallshåndteringa sparer man derimot energi med konstruksjonen i helte eik, mens det kreves energi for å håndtere skiferkonstruksjonen.

Figur 17 viser klimagassutslipp over livsløpet til en gulvkonstruksjon i tre og en i skifer. Framstilling av gulvkonstruksjonen i skifer forårsaker over dobbelt så store klimagassutslipp som framstilling av gulvkonstruksjonen i tre. I avfallshåndteringa spares klimagassutslipp med konstruksjonen i tre mens avfallshåndteringa av konstruksjonen i skifer forårsaker utslipp.

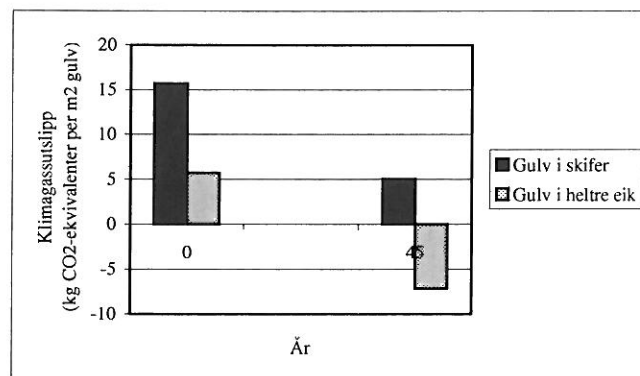


Fig.17. Klimagassutslipp over levetida til terminalbygningen på Gardermoen for en gulvkonstruksjon i skifer og en gulvkonstruksjon i tre. CO₂-ekvivalenter beregnet med diskontert globalt oppvarmingspotensial med rente lik 0%.

Nærmere om framstilling

Figur 18 viser hvor mye av energien som brukes i framstillingen av gulvkonstruksjonene som er fra bioenergi, fossilt brensel og elektrisitet. Likedan som i figur 16, energiforbruk over livsløpet, ser vi at det trengs mer energi for å framstille gulvkonstruksjonen i tre enn det som trengs til gulvkonstruksjonen i skifer. En tredjedel av energien brukt for å framstille gulvkonstruksjonen i tre kommer fra bioenergi, mens det ikke brukes bioenergi i framstilling av materialene i gulvkonstruksjonen i skifer.

Figur 19 viser hvordan energiforbruket til gulvkonstruksjonen i skifer fordeler seg på materialene som inngår i konstruksjonen. Vi ser at om lag to tredjedeler av energien går med til å produsere skifer, mens om lag en tredjedel går med til mørtel. Armeringsjern står for 3 % av energiforbruket.

I figur 20 er det samme vist for klimagassutslipp fra framstilling av materialene som inngår i konstruksjonen. Det viser seg at mørtelproduksjonen forårsaker om lag to tredjedeler og skiferproduksjon en tredjedel. Armeringsjern står for 2% av klimagassutslippet.

Figur 21 viser hvordan energiforbruket til framstilling av gulvkonstruksjonen i tre fordeler seg på de ulike materialene som inngår i konstruksjonen. Kryssfineren forårsaker nesten tre fjerdedeler av energiforbruket. Framstilling av lim står for 14% av energiforbruket mens framstilling av gulvbord i heltre eik står for 12%.

Figur 22 viser hvordan klimagassutslippene fra framstilling av gulvkonstruksjonen i tre fordeler seg på de ulike materialene som inngår. Kryssfineren forårsaker over to tredjedeler av klimagassutslippene, deretter kommer lim og framstilling av gulvbord i heltre eik.

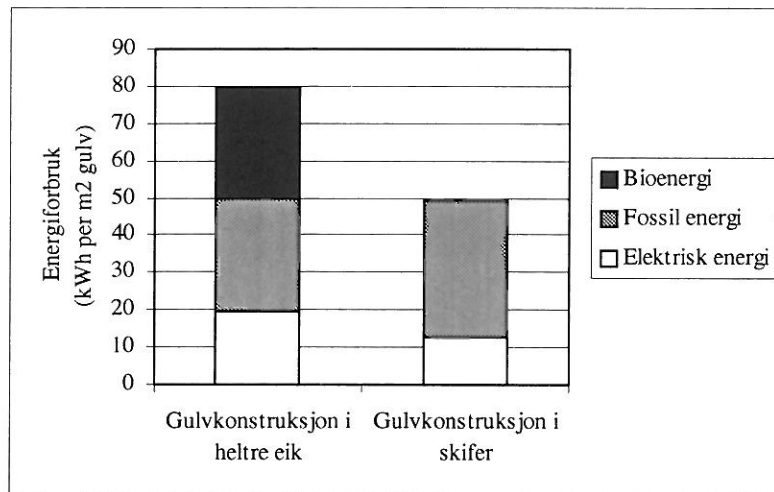


Fig.18. Energiforbruk og energikilder til framstilling av gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer.

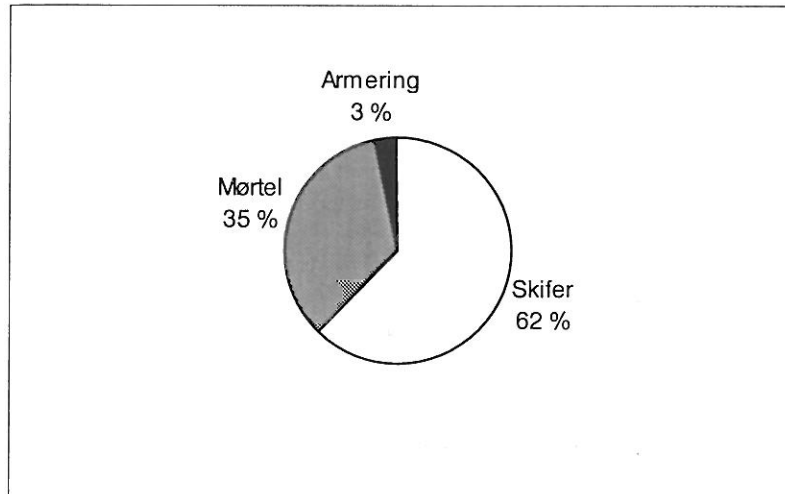


Fig.19. Energiforbruk til framstilling av gulvkonstruksjon i skifer fordelt på de ulike materialene som inngår i konstruksjonen.

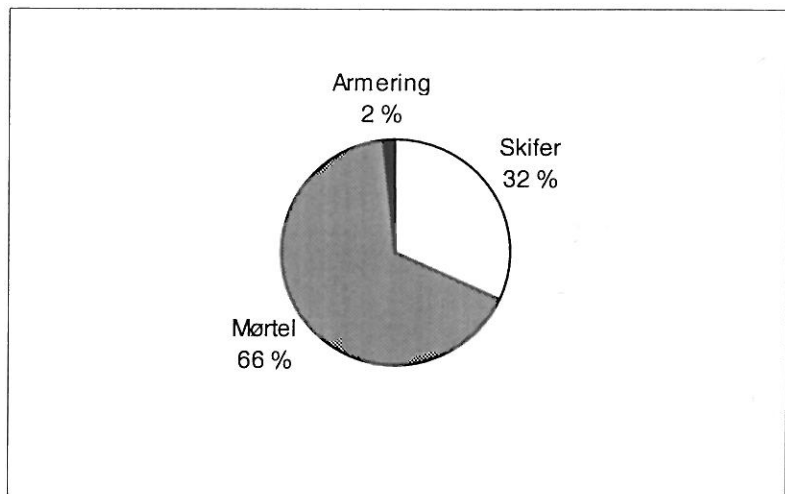


Fig.20. Klimagassutslipp fra framstilling av gulvkonstruksjon i skifer fordelt på de ulike materialene som inngår i konstruksjonen.

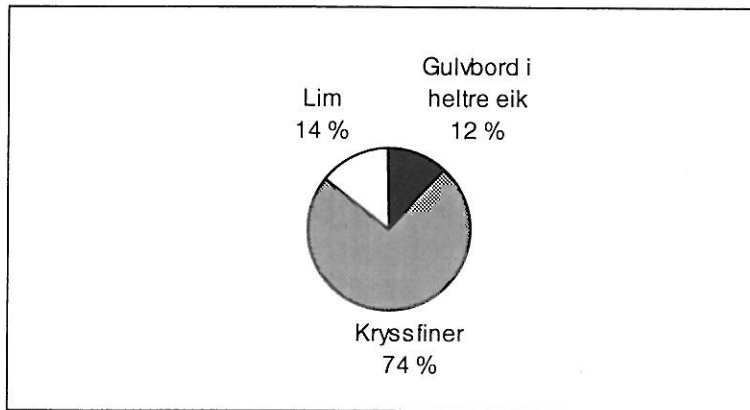


Fig.21. Energiforbruk til framstilling av gulvkonstruksjon i tre fordelt på de ulike materialene som inngår i konstruksjonen.

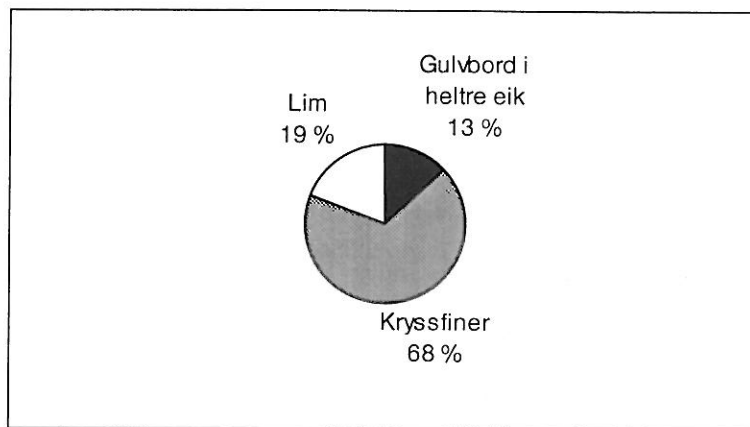


Fig.22. Klimagassutslipp fra framstilling av gulvkonstruksjon i tre fordelt på de ulike materialene som inngår i konstruksjonen.

Diskonterte klimagassutslipp

Summen av diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til de to gulvkonstruksjonene er vist i tabell 30. Summen er beregnet med laveste, mest sannsynlige og høyeste estimat for klimagassutslipp. For begge gulvkonstruksjonene konvergerer diskonterte klimagassutslipp mot det mest sannsynlige estimatet med økende rentekrav. For gulvkonstruksjonen i tre øker de diskonterte klimagassutslippene med økende rentekrav, for skiferkonstruksjonen avtar de. Dette skyldes at avfallshåndteringen av trekonstruksjonen bidrar til å spare klimagassutslipp mens håndteringen av skiferkonstruksjonen forårsaker utslipp.

Tabell 30. Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer.

		Diskonterte klimagassutslipp (kg CO ₂ -ekvivalenter)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Gulvkonstruksjon i tre	Laveste estimat	-8	0	3	4	5
	Mest sannsynlige estimat	-1	5	6	6	6
	Høyeste estimat	3	5	5	6	6
Gulvkonstruksjon i skifer	Laveste estimat	17	15	15	14	14
	Mest sannsynlige estimat	21	18	17	16	16
	Høyeste estimat	25	21	20	19	19

Sparte klimagassutslipp på grunn av substitusjon

Tabell 31 viser hvor store klimagassutslipp som spares når tregulv substituerer gulv i skifer i terminalbygningen på Gardermoen. I basisscenariet er sparte utslipp fra 10-22 kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv avhengig av rentekrav. Sammenlignet med basisscenariet øker differansen i diskonterte klimagassutslipp når energien fra tregulvet brukes til å substituere olje etter bruk. Hvis tregulvet deponeres, er sparte utslipp negative ved lave rentekrav. Det vil si at gulvkonstruksjonen i skifer forårsaker mindre utslipp enn konstruksjonen i tre. Hvis gulvet i skifer gjenbrukes i stedet for å deponeres, reduseres sparte klimagassutslipp. Effekten av å endre avfallshåndteringen av begge gulvkonstruksjonene avtar med økende rentekrav, differansen mellom diskonterte klimagassutslipp konvergerer mot basisscenariet.

Hvis karbonbindingen på skogarealet der tømmeret til gulvbordene og kryssfineren ble hogd reknes med, øker sparte utslipp av å bruke tregulv betraktelig. Denne økningen fra basisscenariet avtar med økende rentefot.

Å sette inn laveste og høyeste estimat for klimagassutslipp over livsløpet for gulvkonstruksjonen i tre, henholdsvis øker og reduserer tallet for sparte klimagassutslipp. Forskjellen blir mindre med økende rentekrav. Det er også satt inn laveste og høyeste estimat for klimagassutslipp over livsløpet til gulvkonstruksjonen i skifer. Differansen i diskonterte klimagassutslipp henholdsvis avtar og øker når disse blir brukt. Ved høye rentekrav er forandringen fra basisscenariet større når man setter inn laveste/høyeste estimat for gulvkonstruksjonen i skifer enn når man gjør det samme for konstruksjonen i tre.

Tabell 31. Sparte klimagassutslipp på grunn av substitusjon mellom gulvkonstruksjon i tre og skifer (kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv). Forutsetninger i basis-scenariet er endret en for en.

	Sparte klimagassutslipp (kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv)				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Basis-scenarie	22	13	11	11	10
Energi fra tregulv substituerer olje	39	16	12	11	10
Tregulv blir deponert	-47	-10	6	10	10
Skifer blir gjenbrukt etter riving	17	11	10	10	10
Karbonbinding i ny skog inkludert	71	45	34	27	23
Gulvkonstruksjon i tre, laveste estimat	29	18	14	12	11
Gulvkonstruksjon i tre, høyeste estimat	18	13	11	10	10
Gulvkonstruksjon i skifer, laveste estimat	19	11	9	9	8
Gulvkonstruksjon i skifer, høyeste estimat	27	17	14	13	13

Hvor mange tonn CO₂-ekvivalenter som spares per m³ treprodukt

I tabell 32 er det vist hvor mange tonn CO₂-ekvivalenter som spares per m³ treprodukt som inngår i gulvkonstruksjonen som erstatter en gulvkonstruksjon i skifer. Med treprodukt menes ferdig produserte gulvbord og kryssfiner. I basis-scenariet spares det fra 0,184-0,396 tonn CO₂-ekvivalenter per m³ treprodukt avhengig av rentekrav. Endringene for ulike rentekrav og forutsetninger følger ellers det samme mønsteret som nåverdien av sparte klimagassutslipp i tabell 31.

Tabell 32. Sparte klimagassutslipp per m³ treprodukt som brukes i gulvkonstruksjonen som erstatter en gulvkonstruksjon i skifer. Vist for basis-scenariet og for ulike avvik fra basis-scenariet.

	Antall tonn CO ₂ -ekvivalenter spart per m ³ treprodukt				
	Rentefot				
	0%	2%	4%	6%	8%
Basis-scenarie	0,396	0,238	0,199	0,188	0,184
Energi fra tregulv substituerer olje	0,700	0,290	0,208	0,189	0,184
Tregulv blir deponert	-0,846	-0,180	0,116	0,172	0,181
Skifer blir gjenbrukt etter riving	0,306	0,201	0,184	0,181	0,181
Karbonbinding i ny skog inkludert	1,263	0,806	0,598	0,485	0,417
Gulvkonstruksjon i tre, laveste estimat	0,511	0,321	0,244	0,212	0,199
Gulvkonstruksjon i tre, høyeste estimat	0,324	0,236	0,200	0,185	0,179
Gulvkonstruksjon i skifer, laveste estimat	0,335	0,194	0,162	0,153	0,150
Gulvkonstruksjon i skifer, høyeste estimat	0,473	0,296	0,250	0,236	0,230

3.3 Sammenligning av gulvbelegg

I dette kapittelet er resultatene fra sammenligningen av klimagassutslipp over livsløpet til ulike gulvbelegg presentert. Gulvbordene i heltre eik er sammenlignet med linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

Tabell 33 viser differansen i diskonterte klimagassutslipp mellom heltre eik og andre gulvbelegg over en periode på 45 år. Størrelsen på de sparte utslippene er liten for linoleum. Differansen avtar også med økende rentekrav. For vinyl er differansen i diskonterte klimagassutslipp høyere enn for linoleum ved lave rentekrav, men avtar med økende rentekrav. Sparte klimagassutslipp av å bruke heltre eik i stedet for linoleum og vinyl er høyere når man bruker resultatene for klimagassutslipp over livsløpet fra Potting & Blok (1995) og kort levetid, enn når man bruker resultatene fra Jönsson et al. (1995) og lang levetid.

Differansen i diskonterte klimagassutslipp mellom heltre eik og teppe i polyamid er høyere enn differansen mellom heltre eik og linoleum og vinyl. Disse differansene avtar med økende rentekrav. Sparte klimagassutslipp når man bruker heltre eik i stedet for teppe i ull, skiller seg ut ved å være mye høyere enn for de andre substitusjonene. I dette tilfellet øker sparte klimagassutslipp for så å avta igjen med økende rentekrav. Årsaker til dette er diskutert i kap.4.3.

Tabell 33. Sparte klimagassutslipp på grunn av substitusjon mellom heltre eik og andre gulvbelegg (kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv)¹⁾.

Gulvbelegg	Levetid	Sparte klimagassutslipp (kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	2	2	2	1	1
Linoleum 2	15 år	7	5	4	4	3
Vinyl 1	22,5 år	8	5	3	3	2
Vinyl 2	9 år	23	15	11	8	6
Teppe i polyamid	9 år	34	22	16	12	9
Teppe i ull	9 år	168	312	340	336	324

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

Figur 34 viser nåverdien av kostnaden ved å bruke heltre eik i stedet for andre gulvbelegg. Når heltre eik substituerer linoleum eller vinyl øker nåverdien av kostnaden med økende rentekrav. Nåverdien av kostnaden er lavest for de gulvbeleggene som har kortest levetid, nemlig vinyl 1, teppe i polyamid og teppe i ull. For teppe i ull og teppe i polyamid er kostnaden negativ ved lave rentekrav, det vil si at heltre eik er billigere. Med økende rentekrav øker kostnaden og blir positiv. Dette er diskutert i kap. 4.3.

Tabell 34. Kostnad ved å bruke heltre eik i stedet for andre gulvbelegg¹⁾. Nåverdi i kroner per m² gulv²⁾.

Gulvbelegg	Levetid	Nåverdi av kostnad (kroner per m ² gulv)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	378	417	442	458	469
Linoleum 2	15 år	267	345	393	423	443
Vinyl 1	22,5 år	370	411	436	453	464
Vinyl 2	9 år	25	185	280	339	377
Teppe i polyamid	9 år	-600	-267	-69	55	135
Teppe i ull	9 år	-600	-267	-69	55	135

¹⁾ Pris per m² for gulv i heltre er 600 kr.

²⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

Kostnadseffektiviteten, pris per tonn sparte CO₂-ekvivalenter som følge av substitusjon, er vist i tabell 35. Prisen på sparte klimagassutslipp er svært høy for linoleum og vinyl. For alle gulvbeleggene øker prisen med økende rentekrav. Prisen er negativ ved lave rentekrav for teppe i ull og teppe i polyamid, det vil si at gulv i heltre både forårsaker mindre klimagassutslipp og er billigere. Ved høye rentekrav er prisen på sparte klimagassutslipp ved å bruke heltre eik i stedet for teppe i ull lav. Prisen på sparte klimagassutslipp ved å bruke heltre i stedet for teppe i polyamid er høy når rentekravet er høyt, selv om den er lavere enn for linoleum og vinyl.

Tabell 35. Pris per tonn CO₂-ekvivalenter ved å bruke heltre eik i stedet for andre gulvbelegg.¹⁾²⁾

Gulvbelegg	Levetid	Pris (kroner per tonn CO ₂ -ekvivalenter)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	153687	220717	289086	352993	408133
Linoleum 2	15 år	36337	63429	91881	119439	144397
Vinyl 1	22,5 år	49075	85866	131194	180309	227957
Vinyl 2	9 år	1075	11987	25656	41303	58034
Teppe i polyamid	9 år	-17698	-12062	-4429	4708	14759
Teppe i ull	9 år	-3564	-856	-202	163	416

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

²⁾ Pris per m² for gulv i heltre er 600 kr.

Hvor mye klimagassutslipp som spares per m³ trelast som brukes til gulvbelegg er vist i tabell 36. Teppe i ull skiller seg ut med svært høye verdier. Med rentekrav fra 0 til 4% øker størrelsen på sparte utslipp per m³ trelast, for så å avta når rentekravet økes ytterligere. For alle de andre gulvbeleggene avtar sparte klimagassutslipp med økende rentekrav. Sparte klimagassutslipp per m³ trelast er lav når trelasten substituerer linoleum 1. For linoleum 2 og vinyl 1 er den noe høyere. Deretter kommer vinyl 2 og teppe i polyamid.

Tabell 36. Sparte klimagassutslipp per m³ trelast som substituerer andre gulvbelegg¹⁾.

Gulvbelegg	Levetid	Tonn CO ₂ -ekvivalenter spart per m ³ trelast				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	0,061	0,047	0,038	0,032	0,029
Linoleum 2	15 år	0,184	0,136	0,107	0,089	0,077
Vinyl 1	22,5 år	0,188	0,120	0,083	0,063	0,051
Vinyl 2	9 år	0,582	0,385	0,272	0,205	0,162
Teppe i polyamid	9 år	0,848	0,554	0,388	0,290	0,228
Teppe i ull	9 år	4,208	7,802	8,512	8,404	8,100

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

Virkning av å rekne med karbonbinding på frigitt skogareal

Det er undersøkt hvordan det virker inn på resultatene når karbonbindingen på arealet der tømmeret til gulvbordene ble hogd reknes med. De samme analysene som ovenfor er utført, med karbonbindingen inkludert.

Sparte klimagassutslipp som følge av substitusjon mellom heltre eik og andre gulvbelegg når karbonbindingen på skogarealet reknes med, er vist i tabell 37. Sammenlignet med tabell 33 er størrelsen på de sparte klimagassutslippene høyere når karbonbindingen på skogarealet reknes med. Men forskjellen avtar med økende rentekrav. Ellers er mønsteret for forskjeller og forandringer likt enten karbonbindingen reknes med eller ikke.

Tabell 37. Sparte klimagassutslipp på grunn av substitusjon mellom heltre eik og andre gulvbelegg (kg CO₂-ekvivalenter per m² gulv), når karbonbinding på frigitt skogareal reknes med^{1),2)}.

Gulvbelegg	Levetid	Sparte klimagassutslipp (kg CO ₂ -ekvivalenter per m ² gulv)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	20	14	10	8	6
Linoleum 2	15 år	25	17	13	10	8
Vinyl 1	22,5 år	25	17	12	9	7
Vinyl 2	9 år	41	27	19	15	12
Teppe i polyamid	9 år	52	34	24	18	14
Teppe i ull	9 år	186	324	349	342	329

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

Kostnaden ved å bruke heltre eik i stedet for andre gulvbelegg er den samme om karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med. Denne kostnaden ble vist i tabell 34. Prisen per tonn klimagasser som spares er derimot ulik og er vist i tabell 38. Sammenlignet med prisen når karbonbindingen ikke reknes med, se tabell 34, er prisen mye lavere, men fremdeles svært høy for linoleum og vinyl. For teppe i polyamid og teppe i ull er prisen negativ ved lave rentekrav, men øker og blir positiv med økende rentekrav.

Tabell 38. Pris per tonn CO₂-ekvivalenter ved å bruke heltre eik i stedet for andre gulvbelegg, når karbonbinding på frigitt skogareal reknes med¹⁾²⁾.

Gulvbelegg	Levetid	Pris (kroner per tonn CO ₂ -ekvivalenter)				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	18727	30589	44668	59981	75587
Linoleum 2	15 år	10649	20082	31083	42826	54561
Vinyl 1	22,5 år	14645	24839	37317	51174	65461
Vinyl 2	9 år	610	6798	14510	23292	32652
Teppe i polyamid	9 år	-11622	-7881	-2878	3045	9503
Teppe i ull	9 år	-3225	-825	-197	160	410

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

²⁾ Pris per m² for gulv i heltre er 600 kr.

I tabell 39 er det vist hvor store klimagassutslipp som unngås per m³ trelast som brukes til gulvbelegg når karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med. I forhold til når karbonbindingen ikke reknes med, tabell 36, er disse verdiene høyere. Forskjellen avtar med økende rentekrav. Ellers er mønsteret i forandringer og forskjeller likt det i tabell 36 hvor karbonbindingen ikke er reknet med.

Tabell 39. Sparte klimagassutslipp per m³ trelast som substituerer andre gulvbelegg, når karbonbindingen på skogarealet som ble frigitt da tømmeret ble hogd reknes med¹⁾.

Gulvbelegg	Levetid	Tonn CO ₂ -ekvivalenter spart per m ³ trelast				
		Rentefot				
		0%	2%	4%	6%	8%
Linoleum 1	22,5 år	0,505	0,341	0,247	0,191	0,155
Linoleum 2	15 år	0,627	0,430	0,316	0,247	0,203
Vinyl 1	22,5 år	0,632	0,413	0,292	0,221	0,177
Vinyl 2	9 år	1,025	0,679	0,482	0,364	0,289
Teppe i polyamid	9 år	1,291	0,847	0,598	0,449	0,355
Teppe i ull	9 år	4,651	8,095	8,722	8,562	8,226

¹⁾ For linoleum 1 og vinyl 1 er datamaterialet fra Jönsson et al. (1995). For linoleum 2 og vinyl 2 er datamaterialet fra Potting & Blok (1995).

4 Diskusjon

4.1 Energiforbruk og klimagassutslipp over livsløpet

4.1.1 Gulvbord i heltre eik

4.1.1.1 Energiforbruk

Det samlede energiforbruket til framstilling av gulvbord i heltre eik er i vår analyse 10 kWh per m². Jönsson et al. (1995) fant at energiforbruket ved framstilling av 1 m² gulv i heltre furu var 14 kWh. Jönsson et al. (1995) brukte gjennomsnittstall for svensk trelast. Sagbruket hvor gulvbordene i heltre eik er produsert, har ikke barkfyringsanlegg, noe som er vanlig på større sagbruk. I denne undersøkelsen er 7 kWh fra elektrisk energi og 3 kWh fra fossil energi. I Jönsson et al. (1995) fant de at 2 kWh var fra elektrisk energi, 2 kWh fra fossil energi og 10 kWh fra bioenergi. Størrelsesorden på energiforbruket i denne undersøkelsen er derfor den samme som i Jönsson et al. (1995), men fordelingen på energikilder er ulik.

Ved å brenne gulvbordene etter bruk kan man spare om lag tre ganger så mye energi som det som trengs til framstillingen. Man sparer mer energi dersom energien fra gulvbordene erstatter olje enn om de erstatter vannkraft og olje. Det skyldes at det er beregnet effektiv energi, det vil si at varmetapet ved forbrenning av olje er inkludert mens vannkraft ikke har noe slikt varmetap. Ved deponering forbrukes litt energi på avfallsplassen. Det er helt klart forbrenning som er den mest fordelaktige avfallshåndteringen av gulvbord i heltre eik.

At nesten tre fjerdedeler av energien til framstilling forbrukes på sagbruket, skyldes at tørking av trelast er energikrevende. Ellers viser det seg at det er riktig å ha med precombustion i analysen fordi den utgjør 6% av energien til framstilling.

I den første følsomhetsanalysen der alle forutsetninger for energiforbruk ved framstilling er endret en for en, viser det seg at noen av forutsetningene der variasjonen er like stor i begge retninger gir en endring i resultat som ikke er like stor i begge retninger. Det gjelder skurutbytte og årlig produksjon på sagbruket i tømmer.

Skurutbyttet bestemmer hvor mye tømmer som må hogges og transporteres til sagbruket. Energiforbruket ved hogst og transport er igjen lineært avhengig av mengden tømmer. Hvor mye tømmer som må hogges gis av volumet av gulvbord per m² gulv, som er konstant, dividert på skurutbytte. Denne sammenhengen er ikke lineær. Derfor øker energiforbruket mer når skurutbyttet reduseres med 5% enn hva det avtar når skurutbyttet økes med 5%.

Forbruk av elektrisk energi per enhet trelast er beregnet ut i fra årlig elektrisitetsforbruk dividert på årlig produksjon. Når alle andre forutsetninger holdes konstante, vil derfor endringen i energiforbruk være større når årlig produksjon reduseres med 500 m³ enn når den økes med 500 m³.

Det er disse ikke-lineære sammenhengene mellom enkelte av forutsetningene som gjør at endringen i resultat blir forskjellig når alle forutsetninger økes med 10% og når de reduseres med 10%. Når henholdsvis mest fordelaktige og mest ufordelaktige estimat settes inn for alle forutsetninger samtidig, er ikke variasjonen i forutsetningene like stor i begge retninger, og forandringen i resultat blir ikke like stor i begge retninger.

4.1.1.2 Klimagassutslipp

I denne undersøkelsen viser resultatet at framstilling av 1 m² gulvbord i heltre eik forårsaker utslipp av 0,7 kg CO₂-ekvivalenter. I Jönsson et al. (1995) kom de fram til et utslipp av 0,424 kg CO₂. Resultatet i denne undersøkelsen er altså litt høyere. Dette kan forklares med at også utslipp av CH₄ og N₂O fra forbrenning samt CO₂-utslipp fra precombustion er inkludert i denne analysen. I tillegg forbrukes mer fossil energi på sagbruket i denne undersøkelsen enn hva som var tilfelle i Jönsson et al. (1995).

Sammenlignet med framstilling er størrelsesorden på sparte klimagassutslipp/klimagassutslipp fra avfallshåndtering høye. Klimagassutslipp fra deponering skyldes at karbonet i trevirke omdannes til CH₄ når det er underskudd på oksygen. CH₄ er en sterkere klimagass enn CO₂. Hvor stort utslippet er, målt i CO₂-ekvivalenter, avhenger av valg av rentefot fordi vektingsfaktorene, diskontert globalt oppvarmingspotensial, blir høyere med økende rentefot.

Alle klimagassutslippene fra framstilling er fra forbrenning av diesel. Siden den største mengden diesel går med til transport utgjør denne to tredjedeler av samlet klimagassutslipp fra framstilling. Det er riktig å inkludere CO₂-utslipp fra precombustion siden det viser seg at dette utgjør 4% av samlede utslipp.

Hvis man hadde brukt diskontert globalt oppvarmingspotensial tilsvarende andre rentekrav enn 0%, ville fordelingen av klimagassutslipp på de ulike trinnene i framstillingen blitt annerledes enn i figur 7. Forandringen ville ikke blitt stor siden klimagassutslippene både fra transport, sagbruk og hogst er fra forbrenning av diesel. For forbrenning av diesel er CH₄ og N₂O regnet med og de samme utslippsfaktorene er brukt. Precombustion ville utgjort en mindre andel fordi bare CO₂-utslipp er kjent fra denne prosessen, og CO₂ er referansegassen.

Om det kjøres med returlass eller ikke, og variasjonen i dieselforbruk, gir størst endring i resultatet. Dette kan forklares med at transport står for en stor andel av samlede klimagassutslipp fra framstilling. Nyttelast kan variere mellom 25 og 30 tonn, og det er brukt et gjennomsnitt på 27,5 tonn i analysen. Resultatet endres mer når nyttelasten forandres til 25 tonn enn når den forandres til 30 tonn. Dette skyldes at sammenhengen mellom nyttelast og dieselforbruk per tonn og km ikke er lineær.

Det er ikke-lineære sammenhenger som gjør at endringen i resultat blir forskjellig når man reduserer alle forutsetninger med 10% og når man øker dem med 10%. En annen forklaring er selve beregningene som kan medføre at effekten blir større når flere forutsetninger økes samtidig enn når de reduseres. For eksempel er formelen for spart energi fra olje: (volum*brennverdi*virkningsgrad trevirke)/virkningsgrad olje. Når alle disse forutsetningene økes med 10% øker resultatet med $(1,1*1,1*1,1)/1,1 = 1,1^2 = 1,21$. Når alle forutsetningene reduseres med 10% vil resultatet reduseres med $0,9^2 = 0,81$.

Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet er svært forskjellig med de ulike avfallshåndteringene ved lave rentekrav. Når rentekravet økes, konvergerer de mot klimagassutslippet fra framstilling. Det er fordi avfallshåndteringen tillegges mindre vekt ved høye rentekrav. Når karbonbindingen i den nye skogen reknes med, blir diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til gulvbord i heltre eik mindre. Når rentekravet økes, avtar forskjellen, og summen blir mer lik det den var når karbonbindingen i den nye skogen ikke ble reknet med. Det er fordi karbonbindingen skjer gjennom hele perioden, og med høye rentekrav blir karbonbindingen i en fjern

framtid tillagt mindre vekt. I analysen er karbonbindingen på det frigitte skogarealet beregnet ut i fra karbonbinding i gran. For eik er denne karbonbindingen høyere fordi eik har høyere densitet enn gran.

4.1.2 Skifer

4.1.2.1 Energiforbruk

Resultatet for framstilling viser at det forbrukes mye fossil energi i skiferproduksjon, antakelig i steinbruddet. Hvis man antar at skiferen deponeres på en avfallsplass, forbrukes også en del fossil energi fordi skiferen er tung, og energiforbruket på avfallsplassen avhenger av vekt. Dersom skiferen gjenbrukes, er det ikke beregnet noe energiforbruk fordi den da defineres som et nytt produkt. Man kan også betrakte gjenbruk som en forlengelse av levetida, det vil si at energiforbruket ved deponering skyves ut i tid.

Det er store usikkerheter i datamaterialet brukt i beregningen av energiforbruk over livsløpet til skifer. Når forutsetningene endres en for en, gir ikke disse usikkerhetene så stort utslag som variasjonen i forutsetningen skulle tilsi. Det er årlig produksjon, årlig dieselforbruk og årlig strømforbruk som slår ut mest. Så skyldes også 75% av energiforbruket uttak og produksjon av skifer.

Variasjonen i årlig produksjon er lik i negativ og positiv retning. Resultatet endres derimot mer når laveste estimat brukes enn når høyeste estimat brukes. Det skyldes at årlig produksjon brukes til å beregne gjennomsnittlig strømforbruk og dieselforbruk per m² gulv. Siden denne sammenhengen ikke er lineær, vil gjennomsnittlig energiforbruk øke mer når årlig produksjon reduseres enn hva det vil reduseres når årlig produksjon økes.

Når alle forutsetningene enten økes eller reduseres med 10% samtidig, kommer ikke disse ikke-lineære sammenhengene til syne. For avfallshåndteringen der skiferen deponeres virker beregningene inn slik at en økning på 10% slår ut mer enn en reduksjon på 10%.

4.1.2.2 Klimagassutslipp

Siden det brukes mye diesel i skiferproduksjon, er det en del klimagassutslipp knyttet til framstilling. Det vises også ved at 77% av klimagassutslippene ved framstilling er fra skiferproduksjonen. Klimagassutslipp fra eventuell deponering av skiferen er også fra forbrenning av diesel. Som nevnt under "energiforbruk" er det ikke beregnet verken energiforbruk eller klimagassutslipp for alternativet der skiferen gjenbrukes.

Det er variasjonen i forutsetningene om årlig forbruk av diesel og årlig produksjon som gir størst endring i resultatet for framstilling. Årlig strømforbruk betyr ingenting for klimagassutslippene. Av samme årsak som beskrevet under energiforbruk endres ikke resultatet like mye når årlig produksjon reduseres som når den økes selv om variasjonen i forutsetningen er like stor i begge retninger.

Årsakene til at resultatet ikke endres like mye når alle forutsetninger økes med 10% som når de reduseres med 10%, er forklart under "energiforbruk". Når mest fordelaktige og minst fordelaktige estimer for alle forutsetninger settes inn i kalkylen, får man en oversikt over variasjonsområdet til resultatet.

Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til skifer avtar mot klimagassutslipp fra framstilling med økende rentekrav når skiferen deponeres. Det er fordi klimagassutslipp fra avfallshåndteringen blir tillagt mindre vekt. Hvis skiferen forutsettes å gjenbrukes, er det ingen klimagassutslipp fra avfallshåndtering og summen av diskonterte utslipp er lik klimagassutslipp fra framstilling uansett rentekrav.

4.1.3 Linoleum

Det er bare klimagassutslipp som er betraktet for linoleum. Datamaterialet fra Potting & Blok (1995) viser høyere klimagassutslipp fra framstilling enn Jönsson et al. (1995). Det er fordi klimagassutslipp fra produksjon av elektrisitet er reknet med, og i Nederland er mye av elektrisiteten fra kull. Klimagassutslippet fra forbrenning er null fordi linoleum er laget av fornybare ressurser som binder CO₂ gjennom veksten.

De bruker ulik varighet for linoleum i de to undersøkelsene. Dette har ingen betydning for nåverdien siden klimagassutslippet fra forbrenning er null. Nåverdien av klimagassutslipp forandres derfor ikke med forandring i rentekrav.

4.1.4 Vinyl

Det er bare klimagassutslipp som er betraktet for vinyl. Datamaterialet fra Potting & Blok (1995) viser høyere klimagassutslipp fra framstilling enn Jönsson et al. (1995). Det er fordi klimagassutslipp fra produksjon av elektrisitet er reknet med, og i Nederland er mye av elektrisiteten fra kull. Klimagassutslipp fra avfallshåndtering er like fordi de er beregnet ut i fra samme vekt og brennverdi.

Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet avtar mot utslippet fra framstilling med økende rentekrav. De bruker ulike levetid i de to undersøkelsene, 8 år i Potting & Blok (1995) og 20 år i Jönsson et al. (1995). Med høyt rentekrav er summen av diskonterte klimagassutslipp over livsløpet det samme som for framstilling med tall fra Jönsson et al. (1995). Det skyldes at utslipp fra avfallshåndtering ikke blir tillagt vekt fordi det skjer langt fram i tid. Med tall fra Potting & Blok (1995) avtar ikke summen så mye fordi avfallshåndteringen er nærmere i tid.

4.1.5 Teppe i ull og teppe i polyamid.

Klimagassutslipp fra framstilling av teppe i ull er mye høyere enn klimagassutslipp fra framstilling av teppe i polyamid. Dette skyldes i følge Potting & Blok (1995) metanutslipp fra sauehold. CH₄ er en sterkere drivhusgass enn CO₂ og utgjør derfor mer i CO₂-ekvivalenter. Sammenlignet med linoleum og vinyl er klimagassutslipp både fra framstilling og forbrenning av de to teppekvalitetene høye.

Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til teppe i ull skiller seg ut med å være svært høy. Den øker også med økende rentekrav. Siden avfallshåndtering blir tillagt mindre vekt ved høye rentekrav, skulle man vente at summen av diskonterte klimagassutslipp avtok med økende rentekrav. Grunnen til at den ikke gjør det, er at vektingsfaktoren som brukes til å rekne CH₄ om til CO₂-ekvivalenter øker med

økende rentekrav, og effekten av dette overskygger at klimagassutslipp fra avfallshåndtering tillegges mindre vekt.

Diskonterte klimagassutslipp over livsløpet til teppe i polyamid avtar med økende rentekrav, men kommer ikke ned i størrelsen på klimagassutslipp fra framstilling. Levetida er kort, og høyere rentekrav gjør ikke at klimagassutslipp fra avfallshåndtering blir tilnærmet null.

4.2 Sammenligning av gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer

Energiforbruket fra framstilling av gulvkonstruksjonen i tre er 60% høyere enn for gulvkonstruksjonen i skifer. Klimagassutslippene fra framstilling er derimot 65% lavere for konstruksjonen i tre. Dette kommer av at CO₂-utslippene fra produksjon av mørtel er høye. I tillegg er mengden fossil energi brukt til framstilling av trekonstruksjonen mindre enn hva den er for skiferkonstruksjonen.

Gulvkonstruksjonen i tre må skiftes ut etter 40 år mens skiferkonstruksjonen varer hele perioden. I basisscenariet brukes den uttjente gulvkonstruksjonen i tre som brensel og energien erstatter vannkraft og olje. I år 40 får man derfor energiforbruk og klimagassutslipp fra framstilling av nytt tregulv og i tillegg sparer man energi og utslipp ved å utnytte den gamle til energi. Både energiforbruk og klimagassutslipp fra framstilling overstiger spart energi og utslipp fra avfallshåndtering, derfor får man et netto energiforbruk/klimagassutslipp i år 40.

Mengdene av eikevirke, kryssfiner og skifer brukt under de faktiske forhold er angitt av leverandørene. Når det kommer til lim og mørtel, ble dette anslått av entreprenørene og er sannsynligvis beheftet med en viss usikkerhet. Særlig mørtel utgjør en stor andel av både energiforbruk og utslipp fra gulvet i skifer, og at mengden ikke er korrekt angitt, er en svakhet men størrelsesorden på variasjonen er kartlagt.

For lim er det brukt data for en annen limtype enn den som faktisk ble anvendt. Det er lite trolig at et vannbasert lim forårsaker høyere utslipp og energiforbruk enn fenol-resorcinol-lim, så påvirkningen fra limet er ikke undervurdert. Usikkerheten i mengden lim som ble brukt, er en svakhet, siden lim utgjør 14% av energiforbruket til framstilling og 19% av klimagassutslippet.

Mengden armeringsjern i skiferkonstruksjonen er hentet fra en annen undersøkelse av en gulvkonstruksjon (Jarnehammar 1998). Siden armeringsjernet står for en liten andel av forbruk og utslipp betyr ikke usikkerheten i mengden mye.

Spiker og plastfolie er utelatt i analysen fordi forbrukt mengde var umulig å anslå. Mengdene er sannsynligvis små, kombinert med at materialene ikke er spesielt energikrevende å framstille, jamfør Norfolier as & co (1999) og Tillman et al. (1991) for plast, Fossdal (1995) og Björklund et al. (1996) for armeringsjern. At disse er utelatt, har derfor ingen betydning for resultatet. Ingen data var tilgjengelige på mesterolje og pleieolje, men mengdene av disse er også små.

Kvaliteten på resultatet fra livsløpsanalysen av gulvbord i heltre eik er diskutert i kapittel 4.1.1. Tallene for skifer er omtrentlige, men usikkerheten er vist i tabell V.3.1 i vedlegg 3. Det finnes ingen følsomhetsanalyse for noen av de andre materialene som inngår i konstruksjonene. Dette er en svakhet. For mørtel og

armeringsjern er det brukt gjennomsnittstall fra to ulike kilder, noe som gir et visst uttrykk for usikkerheten.

Kun to trinn i livsløpet inngår i analysen, framstilling og avfallshåndtering, samt at transport til byggeplass er inkludert der transportavstanden er kjent. Energiforbruk ved selve leggingen er sannsynligvis nokså lik, eller muligens litt høyere for skiferkonstruksjonen på grunn av høyere vekt. Tregulvet må behandles med olje med jevne mellomrom. Bortsett fra energi og utslipp fra framstilling av denne oljen betyr nok dette arbeidet lite. Energiforbruk ved riving er ukjent. Det samme gjelder for transportavstander til deponi/ny byggeplass/forbrenningsanlegg. Disse trinnene er sannsynligvis like for de to konstruksjonene. Gulvkonstruksjonen i tre skiftes ut en gang i løpet av perioden, derfor er energiforbruk og klimagassutslipp knyttet til bygging og riving høyere for denne konstruksjonen.

Diskonterte klimagassutslipp per m² gulv ved å bruke en gulvkonstruksjon i tre i stedet for en i skifer er 22 kg CO₂-ekvivalenter med et rentekrav på 0% for så å avta til 10 kg CO₂-ekvivalenter når rentekravet økes. Grunnen til at tallet avtar, er at klimagassutslipp fra utskifting av tregulv samt avfallshåndtering av begge gulvkonstruksjonene tillegges liten vekt med høyt rentekrav.

Hvis trekonstruksjonen brukes til å erstatte olje etter bruk, øker nytten ved lave rentekrav. Nåverdien konvergerer mot basisscenariet med økende rentekrav fordi de sparte klimagassutslippene fra avfallshåndteringen da får mindre betydning.

Hvis gulvkonstruksjonen i tre blir deponert etter bruk blir sparte klimagassutslipp negative ved rentekrav på 0 og 2% p.a. Det vil si at skiferkonstruksjonen er bedre med hensyn på klimagasser. De høye klimagassutslippene fra deponering skyldes at karbonet i trevirket omdannes til metan når det er underskudd på oksygen. Metan er en sterkere drivhusgass enn CO₂. Verdiene konvergerer mot basisscenariet med økende rentekrav fordi avfallshåndteringen da tillegges mindre vekt.

Hvis skifergulvet brukes om igjen etter bruk, avtar sparte klimagassutslipp i forhold til basisscenariet ved lave rentekrav. Med økende rentekrav er dette alternativet likt basisscenariet. Det skyldes at størrelsen på klimagassutslippene fra avfallshåndtering av både skifer og tre i basisscenariet er så lave at de er tilnærmet null ved høye rentekrav. Derfor blir det ingen stor forskjell om klimagassutslipp fra avfallshåndtering antas å være null når det blir brukt om igjen.

Når karbonbindingen i den nye skogen reknes med, øker nytten av å bruke en gulvkonstruksjon i tre i stedet for en i skifer betraktelig. Effekten avtar imidlertid med økende rentekrav fordi framtidig karbonbinding blir tillagt liten vekt. Selv med et rentekrav på 8% er nåverdien av sparte klimagassutslipp over det dobbelte av hva det er i basisscenariet.

Når henholdsvis lavest mulige og høyest mulige estimat for nåverdien av klimagassutslipp over livsløpet til gulvkonstruksjonen i tre brukes, henholdsvis øker og reduseres sparte klimagassutslipp ved lave rentekrav. Summen av diskonterte klimagassutslipp konvergerer mot basisscenariet med økende rentekrav fordi de største usikkerhetene er for avfallshåndtering som tillegges liten vekt ved høye rentekrav.

Hvis henholdsvis lavest mulige og høyest mulige estimat for klimagassutslipp over livsløpet til skiferkonstruksjonen settes inn, forandres nåverdien av sparte klimagassutslipp mer enn hva den gjorde når laveste og høyeste estimat for

gulvbordene i tre ble brukt. Det skyldes at det er større usikkerhet i datamaterialet for skiferkonstruksjonen, og særlig mengden mørtel har betydning.

Sparte klimagassutslipp per m³ treprodukt (gulvbord og kryssfiner) som inngår i konstruksjonen, kan være opp i 1,263 tonn.

4.3 Sammenligning av gulvbelegg

I sammenligningen mellom ulike gulvbelegg er det bare sett på klimagassutslipp over livsløpet. Det er tydelig at sparte klimagassutslipp ved å bruke heltre i stedet for linoleum og vinyl øker når levetida på linoleum og vinyl er kort. Differansen i diskonterte klimagassutslipp er høyest ved lave rentekrav for så å avta med økende rentekrav. Det skyldes at ved høye rentekrav tillegges framtidige klimagassutslipp liten vekt og forskjell i levetid får liten betydning.

For linoleum, vinyl og teppe i polyamid avtar sparte klimagassutslipp med økende rentekrav. Tallet nærmer seg sparte klimagassutslipp fra framstilling av gulvbelegg og gulvbord i heltre eik ved høye rentekrav. Det er fordi linoleum, vinyl og teppe i polyamid skiftes ut oftere enn heltre og dermed forårsaker mer klimagassutslipp utover i perioden. Ved lave rentekrav blir disse framtidige klimagassutslippene tillagt mer vekt enn ved høye rentekrav.

Man skulle vente at også sparte klimagassutslipp ved substitusjon mellom teppe i ull og heltre avtok med økende rentekrav siden teppe i ull har samme levetid som teppe i polyamid og vinyl fra Potting & Blok (1995). Sparte klimagassutslipp øker derimot med økende rentekrav. Det kommer av at en stor andel av klimagassutslippene fra framstilling er metan fra fordøyelsen hos sauene som produserer ulla. Metan er en sterkere drivhusgass enn CO₂ og utgjør derfor mer i CO₂-ekvivalenter. Vektingsfaktoren som er brukt for å rekne om CH₄ til CO₂-ekvivalenter, diskontert globalt oppvarmingspotensial, øker med økende rentekrav. Effekten av dette overskygger effekten av at klimagassutslipp fra utskifting av gulvbelegget tillegges mindre vekt. Det er også på grunn av metanutslippene fra sauehold at sparte klimagassutslipp ved substitusjon mellom heltre og teppe i ull blir høyere enn ved de andre substitusjonene.

Nåverdien av kostnaden ved å bruke heltre i stedet for linoleum og vinyl fra Jönsson et al. (1995) øker med økende rentekrav. Det er fordi tregulvets lengre levetid tillegges mindre vekt med høye rentekrav, og kun forskjellen i pris i år null har betydning.

Nåverdien av kostnadene ved å bruke heltre i stedet for teppe i ull og teppe i polyamid er negativ ved lave rentekrav, det vil si at heltre er billigere enn tepper. Med økende rentekrav øker kostnaden og blir positiv. Det er fordi nåverdien til kostnadene med å bruke teppegulv i perioden avtar mer enn nåverdien av kostnadene knyttet til å bruke tre med økende rentekrav.

Prisen per tonn sparte klimagasser ved å bruke tre i stedet for linoleum og vinyl er veldig høy. Dette skyldes at gulv i heltre er over 400 kr dyrere per m². I forhold til hvor store klimagassutslipp som spares ved substitusjonen blir prisen per tonn sparte CO₂-ekvivalenter så høy at det heller lønner seg å satse på andre klimatiltak. For teppe i polyamid og teppe i ull er prisen negativ ved lave rentekrav. Det vil si at heltre både er billigere og forårsaker mindre klimagassutslipp. Dette skyldes at

prisforskjellen mellom gulv i heltre og teppegulv ikke er særlig stor, slik at det er billigere å legge gulv i heltre hvis man har lave rentekrav.

Per m³ trelast er derimot spart mengde klimagasser for 1 m² gulv høye for vinyl med kort levetid, teppe i ull og teppe i polyamid. For teppe i ull kan det spares opp i 8,512 tonn klimagasser per m² gulv med å bruke heltre.

Dersom karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med, øker nåverdien av sparte klimagassutslipp som følge av substitusjonene og prisen per spart tonn CO₂-ekvivalenter går ned. Likevel er prisen for å erstatte vinyl og linoleum med tre veldig høy. For tepper er prisen negativ med rentekrav på 0, 2 og 4%. Med rentekrav på 6 og 8% er prisen nokså lik det den var når karbonbindinga ikke var reknet med fordi få av årene med karbonbinding blir tatt i betraktning. Antall tonn CO₂-ekvivalenter som spares per m³ trelast som brukes som gulvbelegg, øker selvsagt også når karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med. Forskjellen fra eksemplet der karbonbindingen ikke er reknet med, avtar med økende rentekrav fordi framtidig karbonbinding blir tillagt liten vekt med høye rentekrav.

Klimagassutslipp fra bygging og riving er antatt å være lik for alle gulvbeleggene. For de gulvbeleggene som har kortest levetid, vil klimagassutslippene fra bygging og riving bli høyere, men dette utgjør trolig lite i forhold til klimagassutslipp fra framstilling og avfallshåndtering.

5 Konklusjon

Framstilling av en gulvkonstruksjon i tre krever 60% mer energi og forårsaker 65% mindre klimagassutslipp enn framstilling av en gulvkonstruksjon i skifer. Avfallshåndteringa kan enten være fordelaktig eller ufordelaktig for gulvkonstruksjonen i tre. Hvis den brennes og energien utnyttes, spares energi og klimagassutslipp unngås. Hvis den deponeres, blir klimagassutslippene høye p.g.a. metanutslipp. I beregningene av sparte klimagassutslipp er derfor valg av avfallshåndtering viktig. Andre forutsetninger som er viktige for resultatet, er om karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med, og hvilket rentekrav som legges til grunn.

Det er en del usikkerhet i estimatet for klimagassutslipp over livsløpet til konstruksjonene, spesielt for gulvkonstruksjonen i skifer. Denne usikkerheten betyr lite ved høye rentekrav fordi mesteparten av usikkerheten er knyttet til avfallshåndteringa.

I sammenligningen mellom heltre og ulike gulvbelegg er det klart at prisen per spart tonn CO₂-ekvivalenter er veldig høy når gulvbord i tre substituerer linoleum og vinyl. Det er brukt datamateriale for klimagassutslipp over livsløpet til linoleum og vinyl fra to undersøkelser som står for ytterpunkter i levetid og utslipp, så dette resultatet er relativt pålitelig.

Heltre er et rimeligere alternativ enn teppe i ull og teppe i polyamid ved lave rentekrav slik at sparte klimagassutslipp er gratis. Teppe i ull er en rimelig måte å spare klimagassutslipp på også ved høye rentekrav.

Hvis karbonbindingen på det frigitte skogarealet reknes med, blir prisene per spart tonn CO₂-ekvivalenter mye lavere, men de er fremdeles svært høye både for linoleum og vinyl. I forhold til hvor mange m³ trelast som brukes som gulvbelegg, kan det imidlertid spares store klimagassutslipp når trelasten erstatter vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

6 Litteratur

- Björklund, T., Å. Jönsson & A.-M. Tillman 1996: LCA of Building Frame Structures. Environmental Impact over the Life Cycle of Concrete and Steel Frames. Report 1996:8. Technical Environmental Planning. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Björklund, T. & A.-M. Tillman 1997: LCA of Building Frame Structures. Environmental Impact over the Life Cycle of Wooden and Concrete Frames. Report 1997:2. Technical Environmental Planning. Chalmers University of Technology. Göteborg, Sweden.
- Dyno Technology Centre 1999: Life Cycle Inventory S-199. Notat.
- ECON 1995: Klimamessige virkninger av økt bruk av trevirke. Rapport 342/95.
- Engberg, P. & E. Eriksson 1998: LCA av sliprar – en jamförande livscykelanalys av betong- og tråsliper. 1998:2. CIT Ekologik. Chalmers Industriteknikk.
- Engelbertsson, T. 1997: Livscykelvärdering av alternativa takkonstruksjoner i bandyhall. Examensarbete 73, Stålbyggnad 1997. Kungliga tekniska högskolan, Institutionen för byggkonstruktion.
- Erlandsson, M. 1996: Methodology for Environmental Assessment of Wood-Based Products. General and specific questions related to the life cycle inventory. Rapport 1 96080 70. Träteck.
- Fossdal, S. 1995: Energi- og miljøregnskap for bygg. Fremstilling av byggematerialer. Regnskap for boliger og kontorbygg. Byggforsk. Norges byggforskningsinstitutt. Prosjektrapport 173-1995.
- Heje/Nygaard 1998: Norsk skoghåndbok.
- Hoehn, H.F. & B. Solberg 1994: Potential and Economic Efficiency of Carbon Sequestration in Forest Biomass Through Silvicultural Management. Forest Science, Vol.40, No.3, pp.429-451.
- Holtskog, S. & K.Rypdal 1997: Energibruk og utslipp til luft fra transport i Norge. Rapporter 97/7. Statistisk sentralbyrå. 40 s. + vedlegg.
- Jarnehammar, A. 1998: Jamförande livscykelanalys. Bjälklag och ytterväggar. Träteck, rapport P9812095.
- Jensen, J.E.F., T. Williksen & J. Bartnes 1999: Beregningsmodell for utslipp av metangass fra norske deponier- historiske og framtidige utslippsmengder. Rapport 99:16. SFT.
- Jönsson, Å., A.-M. Tillman & T. Svensson 1995: Life-cycle assessment of flooring materials. A comparison of linoleum, vinyl flooring and solid-pine flooring. Report A5:1995. Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
- Künniger, T. & K. Richter 1998: Comparative Life Cycle Assessment of Swiss Railroad Sleepers. Paper prepared for The International Research Group on Wood Preservation.
- Landbruksdepartementet 1997: Skog og klima. Skog og treproduktens potensiale for å motvirke klimaendringer. Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Landbruksdepartementet.
- Lunnan, A., S. Navrud, P.K. Rørstad, K.Simensen & B. Solberg 1991: Skog og skogproduksjon i Norge som virkemiddel mot CO₂-oppbygning i atmosfæren. Aktuelt fra skogforsk. Nr.6.
- Marutzky, R. & E. Schriever 1986: Emissionen bei der Verbrennung von Holzspanplattenresten. *Holz als Roh- und Werkstoff* 44: 185-191.

- MD, Miljøverndepartementet, 1995: Om norsk politikk mot klimaendringer og utslipp av nitrogenoksider (NOx). Stortingsmelding nr 41.
- Nordic Council of Ministers 1995: Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment. Nord 1995:20.
- Norfolier as & co 1999: Notat.
- NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 1990: Energiressurs - Regnskap for trevirke som bygningsmateriale. Oppdragsrapport. 10s+vedlegg.
- NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 1997a: Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Hovedrapport. Rapport nr 37.
- NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 1997b: Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Bilag til hovedrapport. Rapport nr 37.
- NTI, Norsk Treteknisk Institutt, 1997c: Miljødeklarasjon av treindustriens produkter. Sammenfatning med miljødeklarasjoner. Rapport nr 37.
- NYTEK 1996: Nye fornybare energikilder. Norges forskningsråd i samarbeid med Norges vassdrags- og energiverk.
- Potting, J. & K. Blok 1995: Life-cycle assessment of four types of floor covering. *J. Cleaner Prod.* Vol.3, No 4: 201-213.
- Rypdal, K. 1993: Anthropogenic emissions of the greenhouse gases CO₂, CH₄ and N₂O in Norway. A documentation of methods og estimation, activity data an emission factors. Rapport 93/24. Statistisk sentralbyrå.
- Sandberg, E. 1990: Energibruk og energibalanser i trelastindustrien : erfaring fra forsøk ved Trysil-Tre 82/83.
- SETAC, Society of Environmental Toxicology and Chemistry, 1993: Guidelines for Life-Cycle Assessment. A «Code of Practice». 57s +vedlegg.
- SFT 1996: Utslipp ved håndtering av kommunalt avfall. Rapport nr. 16.
- Solberg, B. 1997: Forest biomass as carbon sink - economic value and forest management/policy. *Economics of Carbon Sequestration in Forestry*. Edited by R.A. Sedjo, R.N. Sampson & J. Wisniewski. s.323-333.
- SSB, Statistisk sentralbyrå, 1999a: Statistisk årbok.
- SSB, Statistisk sentralbyrå, 1999b: Naturressurser og miljø 1999.
- Syigna, L., J. S. Fuglestvedt & A. Aaheim 1999: Metodar for å samanlikne utslepp av klimagassar - GWP-konseptet og alternative metodar. Working paper 1999:11. CICERO.
- Tillman, A.-M., H. Baumann, E. Eriksson & T. Rydberg 1991: Livscykelanalyser för förpackningsmaterial. Beräkning av miljöbelastning. Bilagedel til förpackningsutredningens slutbetänkande. Statens offentliga utredningar nr.77. Miljödepartementet. Sverige.
- Transportbrukernes fellesorganisasjon 1998: Avvirkning og uttransport fra skogen. Transport og miljø i skognæringen. Rapport 3.
- Trätec 1997: Miljødeklaration av träbaserade skivor, 15 med mer konstruktionsplywood, Vänerply AB. NR 9709079.

Vedlegg 1.

Energiinnhold, virkningsgrader og utslippsfaktorer

Dette vedlegget viser forutsetninger som er brukt i alle analysene. Det gjelder energiinnhold i drivstoff og trevirke, virkningsgrader og utslippsfaktorer ved forbrenning, samt diskontert globalt oppvarmingspotensiale.

Energiinnhold

Tabell V.1.1 viser energiinnhold for diesel, bensin og trevirke, samt tetthet for diesel og bensin.

Tabell V.1.1. Energiinnhold og tetthet for ulike brensler.

	Kilde	Energiinnhold	Tetthet ved 15°C
Diesel	SSB 1999b	36,2 MJ per liter	0,84 kg per liter
Bensin	SSB 1999b	32,5 MJ per liter	0,74 kg per liter
Gran, tørket trelast		2000 kWh per m ³	
Bark	Sandberg 1990	718-2070 kWh per fm ^{3 1)}	

¹⁾ Beregnet ut i fra gjennomsnittlig løsmasseprosent, fuktighet og brennverdi for fersk og lagret bark.

Virkningsgrader

Tabell V.1.2 viser vanlige virkningsgrader ved forbrenning for ulike brensler og teknologier. Ut i fra dette er virkningsgraden ved forbrenning av trevirke satt til 30-80% i analysen, mens virkningsgraden ved forbrenning av olje er satt til 65-90%. I de mest sannsynlige estimatene er det brukt gjennomsnitt.

Tabell V.1.2. Vanlige virkningsgrader ved forbrenning (Heje & Nygaard 1998)¹⁾.

Olje i villakjel	65-80%
Olje i større forbrenningsanlegg	90%
Kull i større forbrenningsanlegg	90%
Skogsbrensel og torv i større forbrenningsanlegg	80%
Ved i vedovn	30-70%
Ved i villakjel	40-75%
Flisfyrt sentralvarmeanlegg	60-75%

¹⁾ Tap ved overføring av varmen kommer i tillegg.

Utslippskoeffisienter

For forbrenning av flytende brennstoff og kull finnes det internasjonalt aksepterte utslippsfaktorer for CO₂ som beskriver det gjennomsnittlige karboninnholdet (Rypdal 1993). Ved forbrenning av trevirke beregnes vanligvis ikke CO₂-utslipp fordi de forutsetter at en tilsvarende mengde CO₂ bindes i skogen gjennom tilveksten. Denne tilnærmingen er også anbefalt av IPCC. Utslipp av CH₄ og N₂O fra forbrenning er teknologiavhengig (SFT, pers. medd.). Kunnskapen om disse utslippsfaktorene er begrenset (Rypdal 1993). En oversikt over utslippsfaktorer som er brukt i beregningene, er gitt i tabell V.1.3. Der det foreligger flere verdier, er de nyeste valgt. Verdier for utslipp fra tungtransport er gjennomsnittstall for tung-

transport i Norge. I tillegg er metanutslipp fra forbrenning av biomasse 0,3 kg/GJ (ECON 1995).

Tabell V.1.3. Utslipp av CO₂, CH₄ og N₂O i kg per tonn brensel.

Brensel	Teknologi	Kilde	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Diesel	Lastebiler, nyttelast 11 tonn eller mer	Holtskog & Rypdal 1997	3170	0,04	0,44
	Jernbane	Rypdal 1993	3170	0,1	0,2
Fyringsolje	Kjeler i industrien	Rypdal 1993	3170	0,1	0,6

Diskontert globalt oppvarmingspotensial, DGWP

Tabell V.1.4 viser verdier for diskontert globalt oppvarmingspotensiale, DGWP, ved ulike rentekrav. DGWP er en vektingsfaktor, og strålingspådrivet fra CO₂ brukes som basis. Som man ser av tabell V.1.4 øker DGWP for både CH₄ og N₂O med økende rentefot, men økningen er mye større for CH₄. Dette skyldes at CH₄ har kort levetid i atmosfæren sammenlignet med CO₂ og N₂O. Med et høy diskonteringsrente vil strålingspådrivet fra CH₄ være mye høyere enn fra CO₂. Levetiden for CO₂, CH₄ og N₂O er henholdsvis

Tabell V.1.4. Diskontert globalt oppvarmingspotensial for ulike renteføtter (Sygna et al. 1999).

Rentefot	DGWP for CH ₄	DGWP for N ₂ O
0%	11,6	270,1
2%	32,6	315,1
4%	46,9	324,1
6%	57,2	327,9
8%	64,9	330,1

Vedlegg 2.

Forutsetninger brukt i livsløpsanalyse for gulvbord i heltre eik

I dette vedlegget er forutsetningene brukt i livsløpsanalysen for gulvbord i heltre eik i kap.2.2.1. beskrevet i detalj. Det er tatt utgangspunkt i nummereringen i flyt-skjemaet i figur 2, og hver fase/prosess er beskrevet for seg. Mer generelle forutsetninger som energiinnhold, virkningsgrader og utslippsfaktorer er oppgitt i vedlegg 1.

1. Utvinning av olje og produksjon av diesel (precombustion).

Fra Statoil ble det oppgitt at for diesel er energiforbruket til utvinning av olje, raffinering og transport til bensinstasjon 0,06 MJ per MJ diesel. Utslipet av CO₂ er 3,3 g per MJ diesel. Tillman et al. (1991) kom fram til et energiforbruk på ≈0,07 MJ per MJ diesel, og 3,992 g CO₂ per MJ diesel. Det ble valgt å bruke tallene fra Statoil fordi disse er de nyeste. Siden diesel og fyringsolje er ganske like er disse tallene også brukt for fyringsolje (Statoil, pers.medd.).

2. Hogst og terrengtransport.

For hogst og terrengtransport kan man tenke seg tre alternativ som vil gi ulike drivstofforbruk:

1. Avvirkning med hogstmaskin og framkjøring med lastbærer
2. Avvirkning med motorsag og framkjøring med lastbærer
3. Avvirkning med motorsag og framkjøring med landbrukstraktor

Tall for forbruk av diesel og bensin til hogst og framkjøring av tømmer er hentet fra Transportbrukernes Fellesorganisasjon (1998) og er gjengitt i tabell V.2.1. Eiketømmeret som leveres til Øydna Sagbruk er i hovedsak fra Aust- og Vest-Agder. I Aust- og Vest-Agder blir 57% og 41% av tømmeret hogd av entreprenør (Heje & Nygaard 1998). 16% og 13% blir kjørt fram med lassbærer, mens 68% og 62% blir kjørt fram med landbrukstraktor og vinsj. I analysen er det forutsatt at 20% blir hogd med hogstmaskin og kjørt fram med lassbærer, 20% blir hogd med motorsag og kjørt fram med lassbærer, og at 60% blir hogd med motorsag og kjørt fram med landbrukstraktor.

Tabell V.2.1. Diesel- og bensinforbruk for hogst og terrengtransport (Transportbrukernes Fellesorganisasjon 1998).

	Brukt i analysen	Variasjon
Hogstmaskin	1,1 liter diesel per m ³	1,0-1,4 liter per m ³
Lassbærer	1,0 liter diesel per m ³	0,9-1,2 liter per m ³
Landbrukstraktor	2,0 liter diesel per m ³	1,65-2,0 liter per m ³
Motorsag	0,275 liter bensin per m ³	0,1-0,5 liter per m ³

3. Transport

NTI (1990) anslår drivstofforbruket til å være 4,5 liter per mil. Fossdal (1995) oppgir et drivstofforbruk på 4-5 liter per mil for en lastebil på denne størrelsen pluss et merforbruk på 0,25-0,75 liter per mil med en henger. Holtskog & Rypdal (1997)

bruker et drivstofforbruk på 4,8 liter per mil for lastebiler med nyttelast 13,0 tonn eller over. SSB (1999b) oppgir et forbruk på 3,2 liter per mil for tung godstrafikk. Dette tallet er et gjennomsnitt av alle teknologier og kjøremåter og er fra 1997. Drivstofforbruket vil være mindre når bilen kjører tom. Forbruket av diesel per mil avhenger altså av om bilen har returlass eller ikke. I analysen har vi benyttet et drivstofforbruk på 4,5 liter per mil, med en variasjon på 3,5-5,5 liter per mil.

En lastebil kan transportere 25-30 tonn (NTI 1990). Rådensiteten for eik er 1000 kg per m³ (Heje/Nygaard 1998). Fuktigheten på gulvbord skal være som møbelkvalitet, 6-8%. I analysen er det forutsatt at ferdig tørkede gulvbord veier 700 kg/m³.

All transport skjer med bil. For tømmerbiler må man regne drivstofforbruk både på tur og returtransporter siden de ikke har returlass. For transport av ferdige produkter kan man anta at det er en realitet med halvt returlass. Det er gjort i denne analysen.

Transport inn til sagbruk.

Avstanden er normalt fra 40-60 km. I analysen er det brukt en transportavstand på 50 km.

Transport til Gardermoen.

Avstanden er om lag 400 km.

Transport til sted for avfallshåndtering.

Ukjent, men antas å være liten.

4. Sagbruk

Skurutbyttet ved produksjon av gulvbord i eik er 25%, men kan variere mellom 20% og 30%. Det er forutsatt at hele skurutbyttet brukes til gulvbord, det vil si at det er av samme kvalitet. Spon og flis leveres til Norsk Wallboard AS og brukes til produksjon av trefiberplater.

Det årlige strømforbruket ved sagbruket er på om lag 200.000 kroner. Ut i fra dette er det antatt at forbruket varierer mellom 150.000 og 250.000 kroner. Gjennomsnittsprisen på elektrisitet var i 1998 54,5 øre per kWh (SSB 1999b). Det brukes kun elektrisitet på sagbruket, og det har ikke barkfyringsanlegg. Siden størstedelen av energien går til tørking er ikke elektrisitetsforbruket allokert mellom gulvbord og flis. Årlig produksjon ved sagbruket er på 4500 m³ tømmer.

Det var vanskelig for sagbruket å anslå forbruk av diesel til intern transport og det er derfor brukt tall fra NTI (1997a) for dette. I denne rapporten kom de fram til at det ble brukt fra 1,0 til 3,2 liter diesel per m³ ferdig trelast, med et gjennomsnitt på 2,3 liter.

5. Bygging

I sammenligningen mellom gulv i heltre eik og skifer og i sammenligningen mellom gulvbelegg i heltre eik, linoleum og vinyl er energiforbruk og klimagassutslipp fra legging antatt å være likt. Gulvbordene i heltre eik ble behandlet med olje etter

legging. En liter olje var nok til 10-15 m² (Tremiljø Prosjekt AS, pers.medd.). Det er sett bort fra energiforbruk og klimagassutslipp fra produksjon av denne oljen.

6. Bruk

Levetiden avhenger av renhold og vedlikehold, eller eventuelt av bygningens funksjonelle levetid. Oppvarming er ikke en del av funksjonen gulvet skal fylle i noen av analysene, og det er sett bort fra denne faktoren i analysene. Gulvbordene bør behandles jevnlig med pleieolje. Det er sett bort fra dette i analysen fordi mengdene olje er små, en liter olje rekker til mer enn 10-15 m² gulv (Tremiljø Prosjekt AS, pers.medd.).

7. Riving

Energiforbruk, og dermed utslipp av klimagasser, er antatt å være lik både i sammenligningen av gulvkonstruksjon i tre og gulvkonstruksjon i skifer, og i sammenligningen av ulike gulvbelegg.

8. Avfallshåndtering

Forbrenning med utnyttelse av energien.

Det er forutsatt at trevirket forbrennes fullstendig med tilstrekkelig tilgang på oksygen. Ved fullstendig forbrenning omdannes trevirke til energi, aske, karbondioksid og vann (Marutzky & Schriever 1986). I tradisjonelle vedovner er temperaturen for lav til at forbrenningen blir fullstendig. I tillegg er ikke oksygentilførselen stor nok. Dette fører til at det dannes karbonmonoksid og andre skadelige stoffer. Det er nå utviklet nye ovner som gir god forbrenning også ved lav varmelast, såkalte katalysatorovner og tokammerovner (NYTEK 1996). Det er derfor sett bort fra andre utslipp enn CO₂. Effekten av oljen gulvbordene behandles med er ukjent, og er i analysen satt til null.

Virkningsgrader og energiinnhold, samt utslipp ved forbrenning for trevirke og fyringsolje er vist i tabell 41 og 42 i vedlegg 1.

Deponering

Ved deponering vil nedbrytningen delvis foregå under anaerobe forhold og karbon vil frigjøres som CH₄. Jensen et al. (1999) kom fram til en halveringstid for trevirke på 11 år. Det teoretiske metanpotensialet er 168 kg (Jensen et al. 1999). Usikkerheten i disse bergningene er på ±30%. Forbruk av diesel på avfallsplass er 100-800 MJ per tonn avfall (SFT 1996). Forbruk av elektrisitet er 0,001 kWh per tonn avfall (SFT 1996).

Vedlegg 3.

Forutsetninger brukt i livsløpsanalysen for skifer

I dette vedlegget er forutsetningene brukt i livsløpsanalysen for skifer i kap.2.2.2. beskrevet i detalj. Det er tatt utgangspunkt i nummereringen i flytskjemaet i figur 3, og hver fase/prosess er beskrevet for seg. Mer generelle forutsetninger som energiinnhold, virkningsgrader og utslippsfaktorer er oppgitt i vedlegg 1.

1. Utvinning av olje og produksjon av diesel (precombustion)

Fra Statoil ble det oppgitt at for diesel er energiforbruket til utvinning av olje, raffinering og transport til bensinstasjon 0,06 MJ per MJ diesel. Utslipet av CO₂ er 3,3 g per MJ diesel. Tillman et al. (1991) kom fram til et energiforbruk på ≈0,07 MJ per MJ diesel, og 3,992 g CO₂ per MJ diesel. Det ble valgt å bruke tallene fra Statoil fordi disse er de nyeste. Siden diesel og fyringsolje er ganske like er disse tallene også brukt for fyringsolje (Statoil, pers.medd.).

2. Transport

NTI (1990) anslår drivstofforbruket til å være 4,5 liter per mil. Fossdal (1995) oppgir et drivstofforbruk på 4-5 liter per mil for en lastebil på denne størrelsen pluss et merforbruk på 0,25-0,75 liter per mil med en henger. Holtskog & Rypdal (1997) bruker et drivstofforbruk på 4,8 liter per mil for lastebiler med nyttelast 13,0 tonn eller over. SSB (1999b) oppgir et forbruk på 3,2 liter per mil for tung godstrafikk. Dette tallet er et gjennomsnitt av alle teknologier og kjøremåter og er fra 1997. Drivstofforbruket vil være mindre når bilen kjører tom. Forbruket av diesel per mil avhenger altså av om bilen har returlass eller ikke. I analysen har vi benyttet et drivstofforbruk på 4,5 liter per mil, med en variasjon på 3,5-5,5 liter per mil.

En lastebil kan transportere 25-30 tonn (NTI 1990). Skiferen veier 60 kg per m². Det er forutsatt at transporten skjer med bil. For transport av ferdige produkter kan man anta at det er en realitet med halvt returlass. Det er gjort i denne analysen.

Transport til Gardermoen.

Avstanden fra Otta til Gardermoen er om lag 250 km.

Transport til sted for avfallshåndtering.

Ukjent, men antas å være liten.

3. Steinbrudd og slipegate

Opplysninger vedrørende bryting og sliping av stein er gitt i tabell V.3.1.

Tabell V.3.1. Framstilling av ottaskifer, energiforbruk og produksjon. Kilde: Skifer og naturstein, pers.medd.

		Antatt usikkerhet
Årlig elektrisitetsforbruk	1,5 millioner kWh	1-2 millioner kWh
Årlig dieselforbruk	250.000 liter	200.000-300.000 liter
Årlig produksjon	175.000 m ² skifer	150.000-200.000 m ² skifer

4. Bygging

Som under avsnitt 5, bygging, i vedlegg 2.

5. Bruk

Gulv i skifer krever ikke annet vedlikehold enn vanlig renhold og utbedring av eventuelle skader. Ellers som under punkt 6, bruk, i vedlegg 2.

6. Riving

Som under punkt 7, riving, i vedlegg 2.

7. Avfallshåndtering**Deponering.**

Forbruk av diesel på avfallsplass er 100-800 MJ per tonn avfall (SFT 1996). Forbruk av elektrisitet er 0,001 kWh per tonn avfall (SFT 1996).

Gjenbruk.

Dersom skiferen brukes om igjen etter riving, er det ikke beregnet noe energiforbruk eller noen klimagassutslipp. Bruksområdene det er snakk om, er fyllmasse og lignende.

Vedlegg 4.

Forutsetninger brukt i livsløpsanalyse for linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid

I dette vedlegget er forutsetningene for klimagassutslipp over livsløpet til linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid beskrevet i detalj. Alle data er hentet fra Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). Siden resultatene for klimagassutslipp over livsløpet er summert var det nødvendig å rekne seg tilbake for å få utslippene fordelt på framstilling og avfallshåndtering. Først er klimagassutslipp fra avfallshåndtering beregnet, deretter klimagassutslipp fra framstilling.

Framstilling

For linoleum og vinyl finnes tall både i Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995). Disse er gjengitt i tabell V.4.1 og tabell V.4.2, og tallene er summen av klimagassutslipp over hele livsløpet. Det er brukt ulike levetider i de to undersøkelsene. I Potting & Blok (1995) har de også rechnet med CO₂-utslipp fra elektrisitetsproduksjon. Elektrisiteten er forutsatt å komme fra kullkraft, og forskjellen i klimagassutslipp fra framstilling i Jönsson et al. (1995) og Potting & Blok (1995) består stort sett av utslippene fra denne elektrisitetsproduksjonen. I sammenligningen mellom ulike typer gulvbelegg er levetidene justert noe for å oppnå optimal bruk over levetida til bygningen, som forklart i kap. 2.2.3.

Tabell V.4.1. Oversikt over samlet utslipp av klimagasser gjennom livsløpet til linoleum og vinyl, samt levetid. Det er forutsatt at materialene brennes etter bruk. Utslipp fra produksjon av elektrisitet er ikke inkludert. Kilde: Jönsson et al. (1995).

	CO ₂ (gram)	CH ₄ (gram)	N ₂ O (gram)	Levetid
Linoleum	1600	0	0	25
Vinyl	4140	3,08	0	20

Tabell V.4.2. Oversikt over samlet utslipp av klimagasser gjennom livsløpet til linoleum og vinyl, samt levetid. Det er forutsatt at materialene brennes etter bruk. Utslipp fra produksjon av elektrisitet er inkludert. Kilde: Potting & Blok (1995).

	CO ₂ (gram)	CH ₄ (gram)	N ₂ O (gram)	Levetid
Linoleum	2560	0	0	15
Vinyl	9100	0	1,0	8
Teppe i ull	8500	5060	0,4	8
Teppe i polyamid	13400	0	0,4	8

Utslipp fra avfallshåndtering

Tallene for klimagassutslipp over livsløpet til linoleum, vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid fra Potting & Blok (1995) er for en periode på 15 år. Med den varigheten som er antatt, vil det si at gulvbelegg i vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid skiftes ut 1 gang i løpet av disse 15 årene. Før man kan rekne ut hvor mye av utslippene som er fra avfallshåndtering, må man derfor dividere de summerte tallene med 2 for vinyl, teppe i ull og teppe i polyamid.

Deretter må CO₂-utslipp fra forbrenning av gulvbeleggene kalkuleres. For linoleum og vinyl er verdiene i tabell V.4.3 brukt. For teppe i ull og teppe i polyamid er CO₂-utslippene fra forbrenning beregnet ut i fra opplysningene i tabell V.4.4. I tillegg må det for alle tall fra Potting & Blok (1995) reknas om for å kunne brukes i en sammenligning, blant annet må de korrigeres for at 40% av gulvbeleggene blir brent og resten deponert. Energien fra forbrenningen brukes til å produsere elektrisitet med en virkningsgrad på 15%, og denne energien substituerer annen elektrisitet. Dermed unngås utslipp fra annen elektrisitetsproduksjon. I Potting & Blok (1995) har de brukt en utslippsfaktor på 71 kg CO₂ per GJ elektrisitet.

Når resultatene for utslipp fra avfallshåndtering av materialene i de to undersøkelsene er kalkulert, trekkes denne verdien fra det samlede utslippet og man finner utslippet fra framstilling.

Tabell V.4.3. Utslippsfaktorer for forbrenning av linoleum og vinyl, samt brennverdi og vekt per m². Kilde: Jönsson et al. (1995).

	CO ₂ fra forbrenning (g/kg)	Brennverdi (MJ/kg)	Vekt (kg/m ²)
Linoleum	0	12,5	2,556
Vinyl	1516	18,9	1,444

Tabell V.4.4. Innhold av ulike stoffer i tepper i ull og tepper i polyamid, samt CO₂-utslipp og energiinnhold i disse stoffene (Potting & Blok 1995).

	Ull	Polyamid	Polypropylen	Styren butadien gummi	Kalsiumkarbonat
Innhold i teppe i ull i g/m ²	950	0	120	430	1100
Innhold i teppe i polyamid i g/m ²	0	600	120	430	1100
CO ₂ -utslipp fra forbrenning i g/kg	0	2340	3145	3310	440
Energiinnhold i MJ/kg	15	28,7	44	43	0