



Samfundsøkonomisk vurdering af råstofindvinding i Region Syddanmark

Oktober 2022



AARHUS UNIVERSITET

PlanMiljø

Bjørn Bauer (Projektleder), PlanMiljø
Simon Kaarsberg, PlanMiljø
Sara Lisa Egebæk, PlanMiljø
Berit Hasler, Aarhus Universitet

INDHOLD

1	INTRODUKTION	4
1.1	Formål	5
1.2	Samfundsøkonomisk metode	5
1.3	Råstofindvinding i Region Syddanmark	6
2	ALTERNATIVE SCENARIER TIL RÅSTOFINDVINDING	8
2.1	Undersøgte løsninger med potentiale for reduceret råstofindvinding	8
2.2	Udvalgte alternative tiltag som eksempler i den samfundsøkonomiske analyse	9
3	MILJØKONSEKVENSER	13
3.1	Miljøkonsekvenser fra råstofindvinding opgjort i VVM-rapporter.....	13
3.2	Miljøkonsekvenser fra råstofindvinding opgjort i Ökobaudat.....	15
3.3	Miljøkonsekvenser - alternative scenarier.....	16
3.4	Metode til opgørelse af miljøkonsekvenser ved alternative scenarier	16
3.5	Nøgletal for miljøpåvirkning	17
3.6	Sammenlignende nøgletal	19
3.7	Reduktionspotentialet ved 10% mindre indvinding i regionen	20
3.8	Metodemæssige begrænsninger	21
4	VÆRDISÆTNING	22
5	SAMFUNDSØKONOMISKE KONSEKVENSVURDERINGER	27
5.1	Sparede råstoffer ved substitution	27
5.2	Økonomiske data og beregningsforudsætninger	28
5.3	Samfundsøkonomisk beregning for råstoffer og alternativer	31
5.4	Illustrative eksempler.....	34
6	KONKLUSION	37
7	REFERENCELISTE	39
7.1	Billedhenvvisninger	43
7.2	Tabeloversigt.....	43

1 INTRODUKTION

Råstoffer i form af sand, grus, sten og ler er en forudsætning for vækst (Johannessen & Thorin 2020), og Danmark er stort set selvforsynende med råstoffer. I 2021 blev der indvundet 33,8 mio. m³ råstoffer i Danmark, ujævnt fordelt over regionerne og kommunerne (Danmarks Statistik 2022), og med 77% indvundet på land (Danske Regioner 2017); 82% af de indvundne råstoffer udgøres af sand, grus og sten (Danmarks Statistik 2021b).

Table 1: Råstofindvinding på land fordelt på råstofftyper: Kilde Danmarks Statistik (2021b)

	I alt	Sand, grus og sten	Kvarts-sand	Granit	Ler	Ekspanderende ler	Moler	Kalk og kridt	Tørv og sphagnum	Andre råstoffer
1.000m ³										
2011	27 921	23 017	297	202	377	244	201	2 362	200	1 022
2012	25 330	20 677	297	176	323	196	177	2 423	152	909
2013	25 069	20 395	244	146	337	225	205	2 571	154	787
2014	25 606	21 457	262	134	308	217	190	2 610	192	235
2015	27 808	23 647	298	140	378	198	204	2 549	156	239
2016	28 886	24 361	326	139	504	194	183	2 705	163	311
2017	30 560	25 497	348	170	492	266	176	2 864	107	640
2018	31 051	25 379	339	322	639	258	159	2 958	213	783
2019	29 847	24 811	372	140	476	261	174	2 850	103	660
2020	33 216	27 715	461	105	571	261	184	3 120	165	635
2021	33 750	27 814	526	279	534	607	193	3 130	165	502
2021 i pct.										
Øerne	23,3	24,1	0,0	100,0	4,7	45,8	0,0	14,2	0,0	27,5
Fyn	6,3	7,0	0,4	0,0	18,7	1,3	0,0	0,0	0,0	13,5
Jylland	70,4	68,9	99,6	0,0	76,2	52,9	100,0	85,8	100,0	59,2

Råstoffer er en billig ressource; materialeprisen er lav og transportudgiften forholdsvis begrænset, idet råstoffer ofte anvendes i nærheden af indvindingsstedet. Forbruget forventes stigende over de kommende år.

Figure 1: Den tilnærmede fremskrivning af det forventede råstofforbrug for Region Syddanmark. Kilde: Region Syddanmark (2021a).



Råstoffer er en ikke-fornybar ressource og for at sikre, at kommende generationer ikke stilles ringere end de nuværende, bør der økonomiseres med ressourcerne.

Landet over var der pr. 2017 ca. 400 sand-, grus- og stengrave i Danmark (Danske Regioner 2017), hvortil skal lægges et antal ler-råstofgrave; i alt er ca. 1% af Danmarks areal udlagt til råstofgrave (Danske Regioner 2018). Med en fortsat indvinding på det nuværende niveau, og særligt hvis efterspørgslen efter råstoffer vokser, kommer stadig flere levesteder for mennesker, planter og dyr under pres, ikke mindst i lyset af, at råstofområder med færrest interessekonflikter allerede er under indvinding eller udtømt (Region Syddanmark 2021a).

En komparativ samfundsøkonomisk vurdering kan bidrage til forståelsen af de samfundsmæssige konsekvenser ved råstofanvendelse og byggeri, herunder af hvilke effekter det vil have at erstatte dele af råstofindvindingen gennem forebyggelse eller substitution. Analysen tjener til at illustrere muligheden for at inddrage samfundsøkonomiske betragtninger i kommende råstofplaner og i indsatsen for at omstille til en mere cirkulær økonomi. Konsekvensvurderingen vil samtidig blotlægge udfordringer i forhold til Verdensmål 12 - Ansvarligt forbrug og produktion.

1.1 Formål

Det foreliggende projekt har haft til formål ud fra eksisterende datagrundlag at gennemføre en samfundsøkonomisk vurdering af indvinding af råstoffer i Region Syddanmark, opvejet mod udvalgte alternative scenarier.

1.2 Samfundsøkonomisk metode

Den samfundsøkonomiske konsekvensanalyse er en "cost-benefit analyse", hvor i princippet alle ulemper og fordele ved indvindingen af råstoffer og de specificerede alternativer (jf kapitel 8) kvantificeres og værdisættes. Metoden til beregning af de samfundsøkonomiske konsekvenser bygger på vejledninger fra bl.a. Finansministeriet (2017, 2021a og 2021b). Værdisætningen udføres så vidt muligt monetært, som en kroneværdi, for at kunne sammenligne fordele og ulemper ved udgangssituationen og alternativerne. En fuld samfundsøkonomisk analyse (eller cost-benefit analyse) fordrer altså, at alle konsekvenser kan kvantificeres og opgøres monetært.

Kroneværdien udtrykker de velfærdsændringer, der er ved hhv. indvinding og alternativerne; såfremt den beregnede nettonutidsværdi er positiv, er projektet fordelagtigt for samfundet.

De første trin i den samfundsøkonomiske analyse – kapitlerne 2 og 3 i denne rapport – er at definere formålet med projektet og at afgrænse analysen samt at opstille et basisscenarie, hvor tidsperioden for projektet fastsættes. Derefter opstilles relevante alternative tiltag til at opfylde målet.

Dernæst identificeres, kvantificeres og værdisættes fordele og ulemper for de enkelte alternativer, idet der søges data for både kort- og langsigtede effekter. Værdisætningen af effekterne og den efterfølgende omkostningsvurdering - hvor omkostninger og gevinster søges opgjort i kroneværdi - udgør en betydelig udfordring.

- For hvert alternativ værdisættes fordele og ulemper (omkostninger og gevinster), over tid og der beregnes en tilbagediskonteret værdi, dvs. nutidsværdien. Denne beregning følger de nævnte retningslinjer fra Finansministeriet.

- *Gevinsterne* ('B') omfatter indtægterne fra salg af produkterne, (råstoffer, beton, mursten, CLT og stampet jord) og de evt. ikke markedsomsatte gevinster.
- *Omkostningerne* ('C') dækker over produktionsomkostningerne, der består af kapitalinvesteringer (maskiner, bygninger), materialer og arbejds løn. Omkostningerne er opgjort i markedspriser (faktorpriser justeret med afgifter, moms mv., hvilket gøres ved at justere faktorprisen med nettoafgiftsfaktoren (Finansministeriet 2017)).
- I nærværende beregninger er anvendt årlige priser, og nettogevinsten eller -omkostningen beregnes derfor som en årlig værdi for de gevinster vi kan opføre, fratrukket summen af omkostningerne for hvert alternativ (B-C).
- Nettoafgiftsfaktoren er beregnet af Finansministeriet og er p.t. 1,28. De opgjorte faktoromkostninger ganges med nettoafgiftsfaktoren, sådan at både omkostninger og gevinster er beregnet i markedspriser.
- Der foretages desuden en opgørelse af de ikke-markedsomsatte omkostninger, som kan værdisættes, fx værdien af CO₂-emissioner. Denne pris er en proxy for en markedspris.

Nogle af de anvendte beregningsforudsætninger, fx for CO₂, er usikre, og der er ligeledes betydelig usikkerhed ved visse data for produktionsomkostninger, fx for råstofindvindingen, hvor både omkostninger og indtægter varierer meget mellem lokaliteter og regioner. Der foretages følsomhedsberegninger, så betydningen af de anvendte forudsætninger kan bedømmes for det samlede resultat.

1.3 Råstofindvinding i Region Syddanmark

Regionerne planlægger i råstofplanerne forsyningen for mindst 12 år og udlægger typisk områder med ressourcer til længere tid end dette. En ny råstofplan trådte i kraft i Region Syddanmark i juni 2021, gældende de næste 12 år.

Erhvervsmæssig råstofindvinding kræver tilladelse fra regionen. En sådan tilladelsesproces indledes med en screening og en eventuel miljøkonsekvensvurdering inklusiv høringer af relevante parter. Ved meddelelse af tilladelser nedsætter regionen vilkår for de påvirkninger, en råstofgrav vil have på dens omgivelser.

I Region Syddanmark blev der i 2020 indvundet 7,14 millioner m³ råstoffer til bl.a. betonproduktion, asfalt, anlægs -og vejmateriale svarende til 26% af den samlede indvinding i landet. 71% af de indvundne råstoffer i regionen anvendes til anlægs- og vejmateriale (inklusive asfalt), og 29% som betontilslagsmateriale. Yderligere blev der indvundet 0,31 mio. m³ ler tilsigtet teglproduktion, svarende til 56% af den samlede indvinding i landet (se tabel 2).

Tabel 2: Indvinding af råstoffer i Region Syddanmark og hele landet fordelt på anvendelsesområde. Kilde: Danmarks Statistik (2021b)

Sand, grus og sten. (Enhed = 1.000 m³)	Region Syddanmark	Hele landet
Anlægs- og vejmateriale	4.949	20.072
Asfalmateriale	101	582
Betontilslagsmateriale	2.050	6.291
Anden eller ukendt anvendelse	44	735
I alt	7.144	27.680
Ler	-	-
Tegl	313	555
Anden anvendelse	1	0
I alt	314	555
Kalk og kridt	-	-
I alt	0	3.119
Alle råstoffer sammenlagt	7.458	31.354

Indvindingen af råstoffer er ikke jævnt fordelt over regionen, fx har indvindingen i Aabenraa Kommune gennem de sidste ti år udgjort over en tredjedel af indvindingen i hele regionen (Region Syddanmark 2021a).

91% af den mængde sand, sten og grus, som blev indvundet i Region Syddanmark i 2020, blev også brugt inden for regionens grænser. 1% transporteres til andre regioner, og 8% transporteres ud af landet (COWI 2022). Råstofferne, som bliver i regionen, transporteres i gennemsnit 25 km fra råstofgrav til anvendelse (COWI 2022).

2 ALTERNATIVE SCENARIER TIL RÅSTOFINDVINDING

Projektets underliggende ræsonnement er, at det ved ændret byggepraksis, genbrug og genanvendelse er muligt at reducere behovet for ikke-fornybare råstoffer. Med sigte på at udvælge de mest relevante og interessante alternativer til den foreliggende analyse er der indsamlet viden om et stort antal løsninger, som på forskellig vis kan bidrage til at mindske behovet for råstoffer. Følgende løsninger er præsenteret for Region Syddanmark, som sammen med konsulenten har udvalgt tre løsninger til nærmere analyse og samfundsøkonomisk vurdering.

2.1 Undersøgte løsninger med potentiale for reduceret råstofindvinding

Der er inden for fem hovedgrupper i alt identificeret 15 tiltag:

- Reduceret råstofbehov
- Substitution
- Genbrug
- Genanvendelse
- Politikker og instrumenter

2.1.1 Reduceret råstofbehov

Reduceret behov for råstoffer kan opnås ved at bygge i mindre dimensioner, ved samlet set at bygge mindre, ved at bygge til længere holdbarhed eller med større tilpasningsdygtighed til skiftende behov, og ved en række andre cirkulære strategier. I projektet er undersøgt følgende muligheder:

- Design for tilpasningsdygtighed og renovering
- Mere intens brug af eksisterende konstruktioner
- Færre veje – mere offentlig transport og minimering af transportbehovet

2.1.2 Substitution

Substitution af råstofbaserede byggevarer kan ske, når der allerede på designstadiet tages beslutning herom, så de alternative løsninger indgår i planlægning mht. dimensioner, styrke, æstetik og alle andre relevante forhold. Der er undersøgt tre forskellige muligheder med potentiale for at substituere byggematerialer indeholdende råstoffer:

- Krydslamineret tømmer, kendt som CLT (cross laminated timber)
- Stampet jord/stampet lerjord ('rammed earth')
- Brændt kalk som vejfyld.

2.1.3 Genbrug

Ved genbrug af residuale byggematerialer bliver produkterne ikke ændret, men brugt til (omtrent) samme formål i et nyt byggeri. Genbrug er forbundet med en række udfordringer, som hindrer det fulde udbytte af denne tilgang til residuale byggematerialer: Byggevarer kan indeholde kemikalier, som i dag er underlagt forbud eller restriktioner (European Commission 2015), eller byggevarer kan være blevet kontamineret med skadelige kemikalier (USEPA 2017). Byggevarerne kan også

have lidt skade under brugen (Belgian Building Research Institute and Centre Scientifique et Technique du Bâtiment 2021) eller mangle teknisk dokumentation (Egebæk et al. 2019). I projektet er undersøgt tre genbrugsalternativer:

- Genbrug af mursten
- Genbrug af strukturelle elementer i bygninger
- Genbrug af tegltagsten.

2.1.4 Genanvendelse

Genanvendelse er en affaldsbehandlingsproces, hvor brugte materialer bearbejdes med sigte på at indgå som sekundære råvarer i ny produktion. Allerede i dag genanvender eller udnytter vi i Danmark op mod 90 % af byggemateriale-affaldet (Miljøstyrelsen 2020), størstedelen nedknuses og bliver til vejfyld, mens en mindre del indgår i fremstillingen af nye byggevarer (hvilket miljømæssigt er klart at foretrække - Johannessen & Thorin 2020b). Der er i projektet undersøgt to former for genanvendelse:

- Anden endelig materialenyttiggørelse af beton som vejfyld
- Genanvendelse af beton til produktionen af ny beton.

2.1.5 Fremtidige forhold / politikker med indvirkning på råstofindvindingens omfang

Mindsket brug af råstoffer kan på sigt opnås ved at indføre politikker, styringsinstrumenter og værktøjer, som ikke i sig selv rent teknisk indebærer mindre råstofindvinding, men som over tid kan bidrage til at skubbe materialeforbruget i en ønsket retning. Der er analyseret fire alternativer:

- Ressourcekortlægning
- Bygnings- og materialepas
- Oversigter over elementer i veje og anlæg
- Affaldsplaner og design for dekonstruktion

2.2 Udvalgte alternative tiltag som eksempler i den samfundsøkonomiske analyse

Region Syddanmark og konsulentholdet har på baggrund af følgende kriterier udvalgt de mest relevante alternativer til den videre analyse:

- Alternativer med potentiale for yderligere udnyttelse
- Alternativer som går ud over det allerede kendte
- Alternativer som både dækker simpel reduktion af råstofforbruget og substitution

På denne baggrund blev det besluttet af udføre den samfundsøkonomiske analyse på følgende alternativer, som beskrives nærmere nedenfor:

1. Reduktion af den indvundne mængde råstoffer
2. Substitution af mursten ved genbrug af gamle mursten
3. Substitution af beton med CLT
4. Substitution af beton med stampet morænejord.

2.2.1 Reduktion af råstofindvinding

Reduktion dækker over effekten af tiltag, der kan medvirke til at mindske behovet for byggematerialer og derigennem sikre mindre brug og indvinding af råstoffer i fremtiden. Som regneeksempel besluttede arbejdsgruppen at anvende en reduktion på 10 % af den nuværende mængde indvundet råstof – en arbitrær værdi, som alene tjener som eksempel til at belyse den samfundsøkonomiske effekt ved reduktion af råstofforbruget.

2.2.2 Genbrug af mursten

Med genbrug af mursten fra nedrevne bygninger vurderes det, at man kan erstatte 12% af den samlede mængde nye mursten, der produceres i Danmark (Miljøstyrelsen 2016). Mursten til genbrug opbevares allerede i depoter, og der eksisterer firmaer, der er specialiserede i at rense og videresælge brugte mursten. Genbrugte mursten anvendes hovedsageligt til renoveringer og restorationer inden for relativ nærhed af nedrivningslokaliteten (Icibaci 2019). Der er nye metoder til genbrug af mursten under udvikling ift. både nedtagning og rensning, hvor bl.a. hele murstykker forsøges genbrugt (Sørensen et al. 2019a).

I praksis fremstår der flere udfordringer for storskala-genbrug af mursten, herunder:

- Det er i udgangspunktet ikke muligt at genbruge mursten, der er sat sammen med cementmørtel, hvilket gælder for de fleste bygninger opført siden 1960 (Trafik- og Byggestyrelsen 2015), idet der dog er metoder under udvikling til at skille stenene ad, uden at de ødelægges (Zhou et al. 2020).
- Rensningen af murstenene risikerer at ødelægge stenen ift. ny anvendelse, og ikke alle mursten har kvalitet til at blive genbrugt (Sørensen et al. 2019a)
- Mursten fra skorstene kan ikke genbruges, da de er blevet misfarvede af røgen (Deweerd & Mertens 2020)
- De brugte mursten kan være forurenede med giftige kemikalier fra fx fuger ved vinduer og dørkarme (Miljøstyrelsen 2016)
- Logistiske forhold kan komplicere nedrivning og sortering af mursten til genbrug og øge de økonomiske omkostninger ved at genbruge murstenen frem for at anvende dem til køreunderlag og derefter nedknusning (Miljøstyrelsen 2019).

Brugte mursten kan i Danmark CE-mærkes, og dermed er der få barrierer for genbrug, når det kommer til kvalitet, ansvarsfordeling, dokumentation og sporbarhed. Ofte vurderes murstenene at have højere værdi og pris end nye mursten som resultat af de brugte stens patina og historik (Miljøstyrelsen 2016).

Nye mursten erstattes af brugte mursten i volumenforholdet 1:1 som angivet af Miljøstyrelsen (2019).

2.2.3 Substitution af betonelementer med træ

Ifølge Institut For Byggeri, By og Miljø (BUILD) ved Aalborg Universitet findes et stort uudnyttet potentiale i at anvende træ til byggeriet. Der er ingen regulativer, der begrænser byggeri med træ, men bestemmelser om lyd og brand er dog med til at sætte en barriere for brugen af træ til nyt byggeri (Rasmussen et al. 2020). I Danmark udgør træ gennemsnitligt ca. 8% af byggematerialerne, mens man i andre skandinaviske lande anvender træ i langt højere grad, og

hvor fx i Sverige ca. 80-90% af enfamiliehusene er opført i træ - og i Norge omkring 90% (Rasmussen et al. 2020).

Krydslamineret tømmer, eller CLT (Cross Laminated Timber), kan anvendes som alternativ til beton i fx indervægge, ydervægge, etagedæk og tagkonstruktioner, men med begrænsninger når det kommer til beton til fundamenter og konstruktioner under terræn (Pedersen et al. 2021). Der findes bl.a. eksempler på CLT-elementer i Knudrisrækkerne i et femetagers træbyggeri i Aarhus midtby, mens man i Norge har erfaring med byggeri i op til 18 etager i CLT.

CLT er betydeligt lettere end beton (hhv. 470 og 2.400 kg/m³), men har en høj bæreevne målt i forhold til vægten og kan således vægtmæssigt principielt erstatte beton i forholdet 0,7:1. Kombineret med andre trækonstruktioner kan opnås endnu bedre vægtmæssig reduktion af byggeriet (Chen 2020; Hofmeister 2015). Baseret på kilder og interviews (bl.a. Koch 2022) er det ikke muligt at opstille en gennemsnitlig faktor for volumenrelationen mellem CLT og beton i byggeri, men nylige undersøgelser indikerer, at der kan være 13-41% klimagevinst opnåelig ved at udskifte primære og sekundære konstruktion i beton med byggevarer af træ (Rambøll 2020b), eller gennemsnitligt ca. 30%. Baseret på EPD'ernes klimaprofil af byggematerialerne svarer dette til en volumenmæssig korrelation beton:CLT = 1:3 - og det er valgt at anvende denne fordelingsnøgle i beregningerne.

Figur 2. Mjøstårnet, Norge. Træhus i 18 etager, 85 m højt.



2.2.4 Substitution af beton med stampet jord

Stampet jord (på engelsk: Rammed Earth) er samlet set det mest populære byggemateriale globalt set og har også historisk været meget anvendt i Danmark, fx ved lerklining i bindingsværk. I mange industrialiserede lande er det for nuværende ikke en udbredt metode (Dobson 2015).

Stampet jord opnås ved at komprimere naturlige råmaterialer - sand, grus, sten, ler og silt - til mur, gulv eller lerblokke. Byggemetoderne spænder fra at stampe råmaterialet bag en forskalling (kendt som *pisé*) eller i form (kendt som *adobe*), over mere vandige opløsninger til fx lerklining eller

støbning, til præfabrikerede elementer¹. Stampet lerjord har mange egenskaber, herunder mulighed for genanvendelse efter endt brug, godt indeklima, god akustik og æstetik.

Den primære gevinst for klima og miljø ved brug af stampet jord i stedet for konventionelle byggematerialer opnås i kraft af, at byggematerialet ikke brændes, og at man dermed sparer store mængder energi og dertil-relateret udledning af klimagasser. Der er desuden potentiale for yderligere gevinster for økonomi og klima, såfremt jorden hentes direkte på byggepladsen. I princippet kan man hermed samtidigt reducere behovet for at skille sig af med overskudsjord fra byggepladsen (Bæredygtigt Byggeri DK 2022); dette kræver dog at byggematerialet produceres in situ og ikke som præfabrikerede elementer, hvilket omvendt øger behovet for manuelt arbejde.

I denne rapport antages det, at den stampele lerjord produceres in situ, og at man dermed reducerer behovet for transport til og fra byggepladsen. Beton erstattes af stampet jord i volumenforholdet 1:1, idet stampet jord til de relevante byggelementer skønnes at kunne opnå samme bæreevne som beton.

Figur 3: Historisk eksempel på et bindingsværkshus fra Odense i stampet jord (lerklining)



¹ Se fx et udvalg af produkter fra forhandleren ERDEN på: <https://www.erden.at/>

3 MILJØKONSEKVENSER

Miljøkonsekvenser ved råstofindvinding er nedenfor belyst ved to metoder, gennemgang af et stort antal miljøkonsekvensrapporter og analyse af data fra den tyske database Öekobaudat der indeholder data for emissioner forbundet med indvindingen og den tidlige forarbejdning af råstoffer som sand, grus, sten og ler.

3.1 Miljøkonsekvenser fra råstofindvinding opgjort i VVM-rapporter

En entreprenør, som ønsker at iværksætte råstofindvinding, skal udarbejde en ansøgning og miljøscreening til regionen, herunder et screeningsskema med information om projektets karakteristika og potentielle indvirkning på miljøet. Regionen vurderer ansøgningen og kan give tilladelse til råstofindvinding, såfremt der ikke er tale om væsentlig indvirkning på miljøet eller såfremt eventuelle væsentlige indvirkninger kan imødekommes med afværgeforanstaltninger i form af vilkår. Vurderer regionen derimod, at der er risiko for, at projektet kan få en væsentlig indvirkning på miljøet, stilles der krav til, at der skal udarbejdes en miljøvurdering i form af en miljøkonsekvensrapport (VVM). Rapporterne udarbejdes typisk af specialiserede konsulentfirmaer.

Faktaboks 1 - Miljøvurderinger

En miljøvurdering skal sikre, at der tages hensyn til de sandsynlige og væsentligt indvirkninger på miljøet, som et råstofgraveområde kan forårsage, herunder: "(...) den biologiske mangfoldighed, befolkningen, menneskers sundhed, flora, fauna, jordbund, jordarealer, vand, luft, klimatiske faktorer, materielle goder, landskab, kulturarv, herunder kirker og deres omgivelser og arkitektonisk og arkæologisk arv, større menneske- og naturskabte katastroferisici og ulykker og ressourceeffektivitet og det indbyrdes forhold mellem disse faktorer." (Miljøvurderingsloven 2021).

Med sigte på at opstille en bruttoliste over relevante miljøpåvirkninger ved råstofindvinding er der gennemgået ti miljørapporter for forskellige graveområder, der alle har fået meddelt en tilladelse på baggrund af enten en screening eller en miljøkonsekvensrapport. Rapporterne er identificeret i samarbejde med Region Syddanmark og omfatter indvindingsområder inden for Region Syddanmark suppleret med enkelte rapporter fra andre regioner i landet. De analyserede miljørapporter er fra 2019 og fremefter, således at der er taget højde for de seneste ændringer i reguleringer på området. En tilladelse fra regionen er som standard gældende for ti år (Råstofloven 2017) og kan fornyes efter udløb, så konsekvenserne beskrevet i de anvendte rapporter vil være relevante for praksis i en længere årrække frem.

Screeninger og miljøkonsekvensrapporter udtrykker resultat af analyser af et udstukket område, hvor der endnu ikke er gravet - dvs. de opgjorte konsekvenser omhandler en eventuel fremtidig råstofindvinding på området og ikke en igangværende. Miljøkonsekvensrapporten udtrykker sig således ikke om observerede konsekvenser i praksis, men om potentielle konsekvenser, baseret på erfaring fra andre råstofgrave og fremskrivninger af scenarier. Vi antager dog i dette projekt, at de opgjorte konsekvenser reelt udtrykker råstofindvindingens faktiske miljøkonsekvenser.

I opgørelsen nedenfor er alene medtaget konsekvenser fra rapporter for områder, der er blevet *godkendt til råstofindvinding*. Et afslag af en indvindingsansøgning medfører naturligvis, at indvindingen ikke finder sted, hvorfor de identificerede potentielle konsekvenser ikke vil blive faktuelle. Disse potentielle konsekvenser indgår således ikke i opgørelsen af råstofindvindingens konsekvenser.

Den konkrete opsætning og udformning af VVM'er afhænger af den udførende konsulent, og der forekommer forskelle mellem rapporterne, som vanskeliggør en direkte sammenstilling af fx effektkategorier. Derudover er der divergerende vurderinger af væsentligheden af specifikke

konsekvenser ift. det enkelte projekt, afhængig af det enkelte projekt, hvem der har udført rapporten og ift. hvilken region, der har godkendt indvindingen.

I miljøkonsekvensrapporterne vurderes specifikke potentielle konsekvenser som 'uvæsentlige' eller 'væsentlige' ud fra tekniske og evt. politiske eller samfundsmæssige kriterier. I de anvendte rapporter er mange af konsekvenserne vurderet uvæsentlige – evt. med forbehold for krav til afværgeforanstaltninger nu eller ved bestemte fremtidige scenarier. Hvis konsekvenserne er vurderet 'væsentlige' må man antage, at projekterne ikke ville blive godkendt eller at der skulle iværksættes mere omfattende afværgeforanstaltninger. Af hensyn til at skabe så fuldstændigt et overblik over råstofindvindingens miljøkonsekvenser som muligt, indgår i den foreliggende analyse såvel væsentlige som uvæsentlige påvirkninger og konsekvenser.

Alle konsekvenser fra de analyserede ti rapporter er opgjort i en samlet Excel-tabel vedlagt denne rapport, hvorved der er etableret en samlet oversigt over konsekvenser ved råstofindvinding. Mange konsekvenser går igen på tværs af rapporter (transport, støj ift. omkringboende etc.), mens andre er stærkt lokalitetsspecifikke og kvalitative (fx oddere eller salamandre i nærområdet). Nogle konsekvenser beskrives som *risici* eller *potentielle konsekvenser*, idet screeninger og VVM'er ikke med sikkerhed afgør, om disse konsekvenser vil indtræffe i tilfælde af råstofindvinding (fx risiko for biluheld pga. den øgede trafik en råstofgrav medfører; eller risiko for spild fra maskiner under indvindingen med tilhørende risiko for at forurene grundvand eller overfladevand mv.). Da der ikke forefindes tilgængelige miljøanalyser af igangværende råstofgrave, har det ikke været muligt at indsamle data til nærmere belysning af disse risici.

Nedenstående Tabel 3 viser en oversigtlig typologisering af de opgjorte konsekvenser – for detaljer henvises til den vedlagte Excel-fil.

Tabel 3. Typologisering og beskrivelse af opgjorte konsekvenser af råstofindvinding

1.	Risici og potentielle konsekvenser	Risiko for ødelæggelse af arkæologiske værdier - særligt ved indvinding i områder med høj risiko for fund af fortidsminder
2.		Øget risiko for trafikuheld
3.		Risiko for spild fra maskiner, der kan sive til grundvand
4.		Risiko for negativ påvirkning på fredede dyre- og plantearter
5.		Risiko for vandforurening (overfladevand)
6.		Risiko for negativ påvirkning af overfladevand (økosystemer)
7.	Kultur- og naturværdier	Gravning i område udlagt med landskabelig bevaringsværdi og geologisk bevaringsværdi og som del af Nationalt Geologisk Interesseområde samt del af UNESCO Global Geopark Vestjylland.
8.		Brydning med bevaringsværdige landskaber (bl.a. med jordbunkere)
9.		Bortgravning af beskyttede diger
10.		Fortidsmindebeskyttelseslinje brydes
11.		Flytning af beskyttede natur og dyrearter
12.		Gennembrud af beskyttede sten- og jorddiger med kulturhistorisk, landskabelig og biologisk værdi samt forringelse af digernes landskabelige betydning på lang sigt.
13.		Væsentlig negativ påvirkning på landskabet i driftsfasen
14.		Moderat til markant landskabelige påvirkning efter endt indvinding inklusiv større fragmentering og færre oprindelige arealer
15.		Ændringer i bevaringsværdige landskaber, der ikke må bygges på eller forringes visuelt.

16.		Indvinding i bevaringsværdige landskaber tæt ved rekreative områder / turistattraktioner
17.		Gravning i område med delvist udgravet oldtidslandsby
18.		Påvirkning på en række Bilag IV-arter
20.	Naturressourcer	Brug af vanding for at mindske støv
21.		Skovrydning
22.		Øgning af pesticidesårbarhed i grundvandet - særligt problematisk ved indvinding i 'Område med Særlige Drikkevandsinteresser'.
23.		Påvirkning på økologiske forbindelser
24.		Minskelse af naturlig beskyttelse af grundvandet ved indvinding af sand- og gruslag.
28.		Støj, støv og Maskiner
29.	Kortvarige overskridelser af grænseværdier for støj	
30.	Støv	
31.	Vibrationsgener	
32.	Luftforurening	
33.	Øget trafik	
34.	Påvirkning på jordbrugerhvervet/landbrugsdrift i et kategoriseret 'særlig værdifuldt landbrugsområde'.	
35.	Negativ påvirkning på landbrugsdrift i indvindingsperioden/-perioderne	
36.	CO ₂ -udledning	

3.2 Miljøkonsekvenser fra råstofindvinding opgjort i Ökobaudat

Råstofindvinding fører til udledning af CO₂ fra gravemaskiner og transport.

Miljøkonsekvensrapporterne giver et indblik i det antal maskiner, der arbejder på hver enkelt råstofindvinding, men giver ikke information om antallet af gravetimer, forbruget af brændstof eller udledning af CO₂ for graveområdet.

Til supplement af miljøkonsekvensrapporterne er derfor gennemført en analyse af data fra den tyske database Ökobaudat – se faktaboks 2.

De udvalgte data til den samfundsøkonomiske analyse omhandler selve indvindingen af råstoffer, transporten af råstofferne fra råstofgrav til materialeproduktion eller brug samt produktionen af materialer, hvor råstofferne indgår. Indenfor LCA-analysemetode dækkes de for dette projekt relevante data af livscyklusfasen 'Produktion' og de underliggende byggefasen A1-A3. Ökobaudat anvender de samme miljøkategorier som de, der

Faktaboks 2 - Ökobaudat

Databasen Ökobaudat (www.oekobaudat.de) indeholder bl.a. generisk data for emissioner forbundet med indvindingen og den tidlige forarbejdning af råstoffer som sand, grus, sten og ler. Databasens data stammer fra livcyklusvurderinger (LCA) og følger standarden DIN EN 15804. Ofte er LCA'en udarbejdet i en tysk kontekst, men der vurderes ikke at være væsentlig forskel til den danske kontekst, hvilket også er rationale bag danske værktøjer som fx LCAbyg (www.lcabyg.dk), der bygger på Ökobaudat.

(Kilde: Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2022)

anvendes i Environmental Product Declarations (EPD'er), som i dette projekt anvendes til at vurdere miljøkonsekvenserne ved byggeprodukter.

Table 4: Byggeriets byggefaser fra vugge til grav. Baseret på livscyklus-stadierne i standarden EN 15643

Produktions-fase			Konstruktions-fase		Brugsfase							Bortskaffelsesfase				Næste produkt-system
Udvinding af råstoffer	Transport til fremstilling	Materialefremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Ibrugtagning	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til opvarmning og bygningsdrift	Vandforbrug	Nedrivning	Transport til affaldsbehandling	Affaldsbehandling	Deponi	Genbrugs-/genanvendelses-/el. genindvindingspotentiale
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Miljøkonsekvenserne fra Ökobaudat er i projektet sammenholdt med data fra Danmarks Statistik, der viser de samlede mængder af råstoffer indvundet i Region Syddanmark fordelt på råstofftype med sigte på at kunne beregne miljøkonsekvenserne for råstofindvinding i regionen.

3.3 Miljøkonsekvenser - alternative scenarier

Opgørelsen af miljøkonsekvenser ved råstofindvinding er udgangspunkt for den samfundsøkonomiske analyse af omkostninger ved råstofindvinding. Med sigte på at kunne sammenligne konsekvenserne ved råstofindvinding og alternative tilgange opgøres i dette afsnit miljøkonsekvenserne ved de tre udvalgte alternative scenarier (idet miljøkonsekvenserne ved reduktion af råstofforbrug er opgjort i afsnit 3.7).

3.4 Metode til opgørelse af miljøkonsekvenser ved alternative scenarier

De miljømæssige konsekvenser er opgjort ved at uddrage data fra Environmental Product Declarations, EPD'er, udarbejdet specifikt for de udvalgte byggematerialer – se faktaboks 3.

En EPD bliver udarbejdet for en specifik vare fra en producent og ikke for en generisk kategori som fx mursten. Et første skridt i analysen er derfor at udvælge specifikke produkter, der vurderes at være repræsentative for den danske byggebranche. Til dette formål er anvendt Byggeriets Materialepyramide fra 2019 (Vandkunsten og Det Kongelige Akademi 2019), hvor byggeprodukter med stor markedsandel for det givne produkt er udvalgt ud fra branchedata fra brancheforeninger og understøttet af interviews med fagfolk. Disse produkter er i Materialepyramiden (se faktaboks 4) direkte linket til deres respektive danske EPD'er – og hvor der ikke eksisterer en dansk EPD, er der identificeret en sammenlignelig nordisk eller tysk EPD. I enkelte tilfælde er der refereret til den tyske database Ökobaudat, hvis der ikke eksisterer en EPD for produktet.

Faktaboks 3 - EPD

En EPD for et byggemateriale er baseret på en LCA, udarbejdet i henhold til standarden DIN EN15804 (EPD Danmark & BUILD 2021). EPD'er er dermed relativt troværdige redegørelser for byggevarers miljøeffekter og giver et sammenligningsgrundlag på tværs af byggematerialer. EPD'er er deklarative uden at være normative, dvs. at de ikke udtrykker om effekterne er positive eller negative, men alene deklarerer miljøeffekterne – tilsvarende en varedeklaration på fødevarer. Med standardiseret LCA som værktøj bag EPD'erne anvender EPD'erne samme miljøeffekt-kategorier som man kender dem fra en LCA'er i andre sammenhænge, herunder potentialet for global opvarmning, ozonnedbrydning, forsurningspotentialet, nærings saltsbelastning, fotokemisk ozondannelse, abiotisk ressourceudtømning mm. (læs en uddybende beskrivelse af de relevante miljø-kategorier i faktaboks 5)

Faktaboks 4 - Materialepyramiden

Materialepyramiden (<https://kglakademi.dk/case/materialepyramiden>) er udarbejdet med inspiration fra madpyramiden og sammenholder visuelt 64 forskellige byggematerialer ud fra udvalgte miljø-kategorier i forhold til materialernes indvindings- og produktionsfaser – den del af livscyklusvurderingen som er indrammet i tabel 4, der går under 'produktionsfaser' og omfatter A1-A3 (materialepyramiden.dk). Den digitale udgave af materialepyramiden gør det muligt at tilgå de bagvedliggende data, som hentes via udvalgte EPD'er, som vurderes at være repræsentative for den danske byggesektor.

3.5 Nøgletal for miljøpåvirkning

Bag de danske EPD'er for byggematerialerne ligger en hel del antagelser, som gør EPD'erne anvendelige som grundlag for mere generisk opgørelse af data om byggematerialer. Dette gør dem velegnede til rapportens formål, som netop er at producere gennemsnitsværdier. I tabel 5 er emissionerne til miljø og klima fra 1m³ af de undersøgte byggematerialer samlet i en oversigt, som efterfølgende benyttes til at beregne potentialerne ved substitution af beton mm.

Tabel 5: Nøgletal for emissionerne forbundet med produktionen af 1m³ af hvert enkelt af de respektive byggematerialer. Se beskrivelse af enheder i faktaboks 5 nedenfor

	Beton	Røde nye mursten	Brugte mursten	Stampet jord	CLT	
Kilde	Fabriksbetonforeningen (2021)	Randers Tegl A/S (2018)	Gamle Mursten ApS (2017)	Ökobaudat (2018)	Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien (2021)	Enhed
Global opvarmning (GWP)	282,00	172,05	1,48	9,35	67,00	kg CO ₂ -ækv./m ³
Ozonnedbrydning (ODP)	0,0034	0,0003	0,0000	0,0000	0,0043	g R11-ækv./m ³
Forsuring (AP)	0,4360	0,5468	0,0338	0,0313	0,3280	kg SO ₂ -ækv./m ³
Nærings saltsbelastning (EP)	0,1400	0,1129	0,0074	0,0074	0,2210	kg PO ₄ -ækv./m ³
Fotokemisk ozondannelse (POCP)	0,0159	0,0284	-0,0041	0,0053	0,0372	kg Ethene-ækv./m ³
Abiotisk ressourceudtømning, grundstoffer (ADPE)	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	kg Sb-ækv./m ³
Abiotisk ressourceudtømning, fossil (ADPF)	1.360,00	2.043,84	150,14	123,50	1.200,00	MJ/m ³

Note til tabellen: Det fremgår af tabellens række 3, at beton er det mest klimabelastende byggemateriale målt per m³. Når ADPF er høj for CLT, så skyldes det bl.a., at man i Danmark estimerer en transportafstand til produktionsfaciliteterne på 1.400 km. For mursten og beton skyldes de tilsvarende høje værdier, at materialerne skal opvarmes under høje temperaturer. Abiotisk ressourceudtømning af grundstoffer er især marginal, da denne primært vægter metaller og særlige mineraler (og ikke basale råstoffer). Se henvisning til

Faktaboks 5 - Beskrivelse af miljøkategorierne

Global opvarmning (Global warming potential, GWP)

GWP angiver potentialet for at bidrage til den globale drivhuseffekt målt i CO₂-ækvivalenter. Følgende gasarter betragtes som drivhusgasser; Carbondioxid, Methan, Nitrogenoxid, CFC'er, HCFC'er, HFC'er, Haloner, Tetrachlormethan, 1,1,1-Trichlorethan og Carbonmonoxid (Stranddorf et al. 2005).

Ozonnedbrydning (Ozone Depletion Potential, ODP)

ODP benytter R11 som referencestof til at beskriver potentialet for nedbrydning af ozonlaget fra et stof relativt til trichlorofluoromethane (R11 eller CFC-11) (Birgisdottir & Rasmussen 2015). Ozonlaget beskytter flora og fauna ved at forhindre den livstruende UV-C-stråling og ved at reducere den skadelige UV-B-stråling. ODP afhænger bl.a. af stoffets indhold af klor og brom, samt den kemiske og fotokemiske stabilitet (Stranddorf et al. 2005).

Fotokemisk ozondannelse (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)

POCP angiver potentialet for dannelsen af jordnær ozon, som er skadelig for luftvejene og vegetation. POCP angives i R11-ækvivalenter (Birgisdottir & Rasmussen 2015). De primære forløbere til dannelsen af den jordnære ozon er NO_x, VOC'er inklusiv CH₄ samt CO (Stranddorf et al. 2005).

Forsuring (Acidification potential, AP)

Potentialet for forsuring angives i SO₂-ækvivalenter, og er en regional miljøeffekt. Stoffer har en forsuringseffekt, hvis de tilfører eller frigør brintioner (H⁺) i miljøet (Hauschild & Wenzel; i Stranddorf et al. 2005). Disse stoffer reagerer med vand i troposfæren og falder som sur regn, der ødelægger bl.a. bygninger og konstruktioner (Birgisdottir & Rasmussen 2015; Stranddorf et al. 2005). Den gradvise akkumulerende forsuring af havet udgør ligeledes en global problemstilling idet at forsuring udgør en trussel for det marine liv, samt nedsætter havets evne til at optage CO₂. Forsuring forekommer primært som konsekvens af forbrænding af fossile brændsler (Danmarks Naturfredningsforening 2020).

Nærings saltsbelastning (Eutrophication potential, EP)

Potentialet for nærings saltsbelastning angives i PO₄- eller NO₃-ækvivalenter. EP angiver udledningen af næringsstof til sarte recipienter, som medfører uønsket akvarist plantevækst, der medvirker til reduktion af vandkvaliteten og eutrofiering (iltsvind og fiskedød). Udledningen af nitrogen, fosfor, NO_x og NH₃ er medvirkende til næringsstofbelastning (Stranddorf et al. 2005).

Abiotisk ressourceudtømning, grundstoffer (Abiotic depletion potential for non fossil resources, ADPE)

ADPE angives i Sb-ækvivalenter relativt til grundstoffet antimon. ADPE angiver potentialet for udtømningen af tilgængelige grundstoffer, fx metaller eller mineraler, og udgør en problemstilling i forhold til forsyningssikkerhed, da der er tale om ikke-fornybare ressourcer (Stranddorf et al. 2005). **De råstoffer, som denne rapport belyser, vægtes ikke i ADPE** (Van Oers et al. 2020).

Abiotisk ressourceudtømning, fossil (Abiotic depletion potential for fossil resources, ADPF)

ADPF angives i enheden joule (J) (i tabellen MJ, hvilket svarer til 1.000.000 joule), som normal benyttes til at beregne energiforbrug. ADPF, dvs. forbruget af abiotiske (ikke-biologiske) ressourcer, angiver potentialet for at bidrage til udtømningen af den tilgængelige energi indlejret i fossile brændsler (Stranddorf et al. 2005).

3.6 Sammenlignende nøgletal

En sammenligning af to produkter skal ideelt set ske i forhold til en funktionel enhed, fx bæreevne. Ved sammenligningen af de udvalgte byggematerialer er i denne undersøgelse² – baseret på kilder – benyttet følgende omregningsformler ift. bæreevne (se kapitel 2):

- Nye mursten erstattes af brugte mursten i volumenforholdet³ 1:1
- Beton erstattes af CLT i volumenforholdet 1:3
- Beton erstattes af stampet jord i volumenforholdet 1:1.

I nedenstående tabel er opgjort potentialet for at reducere miljøeffekterne i forhold til de udvalgte substitutions-alternativer.

Tabel 6: De samlede reduktionspotentialer ved brugen af alternative byggematerialer, set ift. bæreevne og volumen

	Genbrugte mursten i stedet for mursten (1:1)	Stampet lerjord i stedet for beton (1:1)	CLT i stedet for beton (3:1)	
Global opvarmning (GWP)	170,58	272,65	81,00	kg CO ₂ -ækv./m ³
Ozonedbrydning (ODP)	0,00028	0,00335	0,00	g R11-ækv./m ³
Forsuring (AP)	0,51	0,40	-0,55	kg SO ₂ -ækv./m ³
Næringssaltsbelastning (EP)	0,11	0,13	-0,52	kg PO ₄ -ækv./m ³
Fotokemisk ozondannelse (POCP)	0,03	0,01	-0,10	kg Ethene-ækv./m ³
Abiotisk ressourceudtømning, grundstoffer (ADPE)	0,00014	0,00007	0,00	kg Sb-ækv./m ³
Abiotisk ressourceudtømning, fossil (ADPF) *	1.893,70	1.236,50	-2240,00	MJ/m ³

*: For ODP, ozonedbrydning, er enheden angivet i gram/m³, og for abiotisk ressourceudtømning i MJ/m³

Tabel 6 viser for hver miljøkategori reduktionspotentialer ved at substituere en m³ konventionelt byggemateriale med et alternativt byggemateriale med tilsvarende bæreevne – se beskrivelse af enheder i faktaboks 5 ovenfor). Det ses, at betydelige miljøgevinster findes for global opvarmning og ressourceudtømning, mens miljøgevinsten for de øvrige parametre er begrænset.

- I første kolonne ses, at der ved substitution af 1m³ konventionelle røde mursten med 1m³ brugte mursten er et potentiale for at opnå en reduktion på 170,58 kg CO₂-ækvivalenter til fordel for klimaet (primært fordi de genbrugte mursten ikke skal brændes) og samtidig et relativt højt potentiale for at reducere brugen af fossile brændstoffer (ADPF).
- I anden kolonne ses tilsvarende reduceret udledning af klimagasser (idet stampet jord ikke brændes som beton) og abiotisk ressourceudtømning af fossile brændsler.
- I tredje kolonne ses en mindre klimagevinst for CLT sammenlignet med beton, fordi CLT på trods af dets mere klimavenlige kvaliteter behøver højere volumen for at opnå en

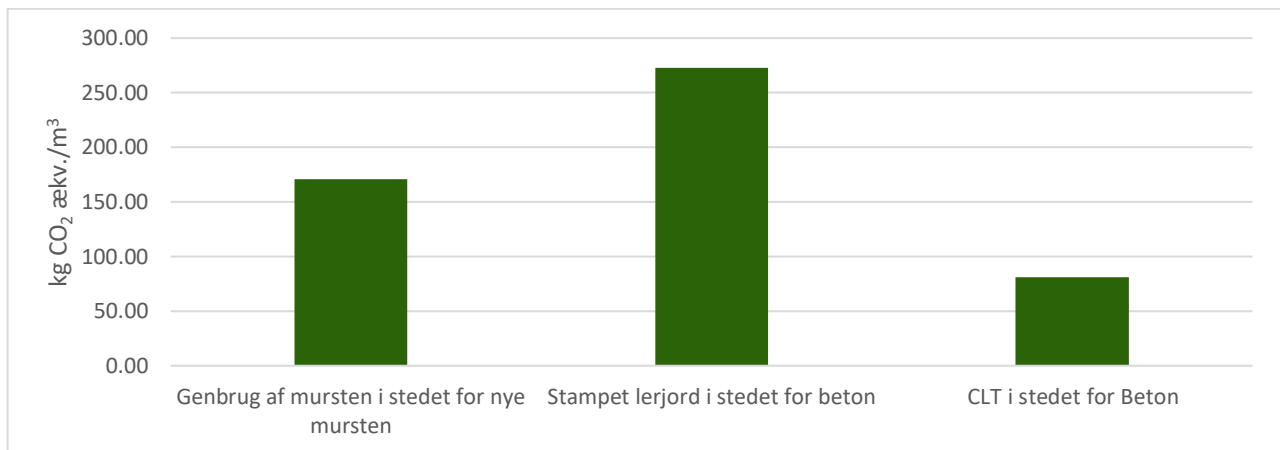
² Dette projekt forholder sig til nationale effekter og medtager derfor ikke import og eksport fx over havet i analysen. Her er elementer som olieudslip og CO₂ udledning fra transporten relevante faktorer, men også indtjening og arbejdskraft ville være elementer der kunne inddrages i en større undersøgelse.

³ Hvor en miljøeffekt er opgjort i relation til produktets vægt, baseres omregningen til rumfang ved hjælp af den opgjorte massefylde i EPD'en.

sammenlignelig bæreevne. Af samme grund, og fordi træ transporteres over større afstande (typisk fra Sverige), er der en højere ressourceudtømming af fossile brændsler for CLT⁴ (Bemærk at det biogene karbon ikke medregnes, sådan at træ får en negativ udledning).

- CO₂-reduktionspotentialer, som er samfundsøkonomisk væsentligt (kapitel 5) ved de tre alternativer er illustreret i figuren forneden:

Figur 4: Klimabesparelserne per kubikmeter substitueret byggemateriale. Egen model



3.7 Reduktionspotentialer ved 10% mindre indvinding i regionen

Igennem sammenkoblingen af generiske datasæt fra Ökobaumat og data om råstofindvinding i Region Syddanmark fra Danmarks Statistik (tabel 2), kan miljøkonsekvenserne ved indvinding i regionen beregnes. Ligeledes kan udregnes reduktionspotentialer for miljøparametrene ved 10 % reduceret indvindingen af råstoffer (se henvisning til bagvedliggende data i tabeloversigten).

Indvinding og forarbejdning af sand, grus og sten sker ved processer såsom indvinding, tørring, sortering, nedknusning, vask og transport til forarbejdningslokation på 10km (den estimerede transportlængden i de generiske data fra Ökobaumat). For ler er forarbejdningen væsentlig mere energikrævende, da der er flere industritunge processer, såsom formaling, granulering, nedkøling, oprensning, mm. Således er emissionerne af CO₂-ækvivalenter næsten en faktor 10 gange større for indvinding og forarbejdning af ler, end den er for sten og grus, som omvendt er en faktor 10 gange større end indvinding og forarbejdning af sand.

⁴ Den beregnede besparelse afhænger af systemafgrænsningen. Indtænkes det biogene karbon, (dvs. den CO₂, som træet har lagret i materialet under produktionen, og under den forudsætning at der plantes et nyt træ i stedet), så kan man nå frem til et resultat, hvor der kan bespares om mod 372 kg CO₂ ækv./m³ substitueret beton med CLT. Det er heller ikke medregnet, at byggeri i træ er mindre tungt, og at man dermed kan nedjustere både krav til materialernes bæreevne og behovet for maskineri i byggefasen.

Tabel 7 - Emissioner og reduktionspotentiale relateret til råstofindvinding fra Region Syddanmark 2020

Miljøkategori	Emissioner fra indvinding af sand, grus, sten og ler i Region Syddanmark	Reduktionspotentiale ved 10% mindre indvinding	Enhed
Global opvarmning (GWP)	328.947.496	32.894.750	kg CO ₂ -ækv.
Ozonedbrydning (ODP)	0,00427	0,00043	g R11-ækv.
Forsuring (AP)	1.387.506	138.751	kg SO ₂ -ækv.
Næringssaltsbelastning (EP)	95.486	9.549	kg PO ₄ -ækv.
Fotokemisk ozondannelse (POCP)	80.491	8.049	kg Ethene-ækv.
Abiotisk ressourceudtømmning, grundstoffer (ADPE)	52,87	5,29	kg Sb-ækv.
Abiotisk ressourceudtømmning, fossil (ADPF)	4.605.078	460.508	GJ

Sammenkoblingen af data om råstofindvindingen i regionen (tabel 2) med data om den generelle miljøpåvirkning forbundet med indvindingen af de enkelte råstoffer viser, at indvinding og den indledende forarbejdning af 7.144.000 m³ sand, grus og sten i Region Syddanmark i 2020 har medført en udledning af 158.986 ton CO₂-ækvivalenter, mens tallet er 169.962 ton CO₂-ækvivalenter for de 314.000 m³ ler.

Hvis regionen reducerede indvinding og forarbejdning af råstoffer med 10% sammenlignet med 2020, så ville der kunne opnås en reduktion på ca. 32.895 ton CO₂-ækvivalenter, hvilket svarer til 1935 danskeres årlige CO₂ fodaftryk, medregnet offentligt byggeri & anlæg (Concito 2022). Yderligere ville forsuringspotentialet reduceres med 138.751 kg SO₂-ækvivalenter, hvilket ville reducere den lokale belastning på byggede konstruktioner i regionen og øge den marine kvalitet. Den marine kvalitet ville yderligere forbedres af en reduceret næringsstofbelastning svarende til knap 10 ton PO₄ ækv., hvilket ville mindske dannelsen af tang og plankton og dermed forbedre levebetingelserne for fisk. Også den jordnære ozondannelse ville reduceres med omkring 8 ton ethene ækv., til fordel for menneskers helbred og vegetation i området. De øvrige emissioner til miljø og klima er relativt marginale.

3.8 Metodemæssige begrænsninger

Sammenligningen ovenfor mellem de traditionelle byggematerialer og alternativerne baserer sig alene på ønsket om at opnå samme bæreevne og er ikke nødvendigvis i overensstemmelse med øvrige vigtige kvalitetskriterier for byggematerialer. For bygherren er materialevalg til bygninger en balancegang mellem mange hensyn - herunder bæreevne, pris og omkostninger, energieffektivitet, indeklima, levetid, brandsikkerhed, æstetik mv. Sammenligningen af alternativer kan imidlertid ikke inddrage alle disse hensyn.

Dertil er det også vigtigt at have for øje, at EPD'er samt generiske dataset som Ökobaudat, og dermed datagrundlaget for vores beregninger, også er hæftet med en vis usikkerhed, idet at der kan være store udsving i LCA-resultaterne for samme type materiale alt efter hvilken kilde man vælger (Jørgensen et al 2021). De udvalgte LCA-resultater baserer sig på den såkaldte "attributional LCA-metode" frem for "konsekvens LCA-metoden", hvilket betyder, at der tages udgangspunkt i eksisterende processer frem for at inkludere konsekvenser ved øget forbrug, fx for arealanvendelse, skovenes kulstoflagre, markedsbalancer mm. Dette er ikke i overensstemmelse med EU Kommissionens vejledning til meso/macro beslutningsprocesser, men skyldes at der foreligger meget få LCA-studier i Danmark, som benytter konsekvens LCA-metoden (Pedersen 2021).

4 VÆRDISÆTNING

Mange effekter (både positive og negative) fra menneskelig aktivitet har ikke en markedspris i kraft af, at de ikke sælges og købes, men har ikke desto mindre en værdi for samfundet. Disse værdier kan opgøres ved flere metoder:

- Man kan beregne omkostningerne ved at etablere goden eller effekten et andet sted
- man kan beregne og bruge værdien af et tilknyttet gode, fx ved at bruge rejseomkostninger for Besøgende gæster til at beregne værdien af rekreative områder (ud fra hvad befolkningen er villig til at betale for at opleve det konkrete gode)
- Man kan spørge befolkningen til deres betalingsvilje, fx hvor meget de er villige til at betale for rent grundvand eller forbedrede betingelser for biodiversitet (her findes avancerede metoder til at sikre, at den opgjorte betalingsvillighed bedst muligt svarer til den reelle villighed i en betalingssituation).

I nærværende projekt bygger værdisætningen på studier, opgørelser og vejledninger for, hvordan ikke-markedsomsatte effekter relateret til råstofindvinding kan værdisættes for at indgå i de samfundsøkonomiske vurderinger og opgørelser. Finansministeriet, Transportministeriet og Miljøministeriet har etableret nøgletal for værdien af specifikke goder, som fx for fjernelsen af et ton CO₂-ækvivalenter. Sådanne enhedspriser (nøgletal) kan ofte med fordel benyttes i samfundsøkonomiske vurderinger og analyser, der med ens forudsætninger opnår øget sammenlignelighed. Der findes dog ikke nøgletal eller enhedspriser for alle konsekvenser forbundet med råstofindvinding.

Baseret på tabel 3 er mulighederne for at værdisætte effekterne fra råstofindvindingen beskrevet i tabel 8 med henvisning til studier, der har værdisat de forskellige effekter. Tabel 8 beskriver også, om det er tilrådeligt at anvende disse resultater til værdisætning af effekter fra råstofindvinding og alternativer, ligesom det vurderes om kvantitative beskrivelser er muligt, da dette er påkrævet, hvis effekterne skal kunne værdisættes og indgå i sammenligningen af fortsat råstofindvinding kontra alternativerne.

Tabel 8. Effektskema for råstofindvinding med beskrivelse af mulighed for værdisætning

Effekt-kategori	Miljøgode eller tjeneste	Mulighed for værdisætning, præcisering og evt. kvantificering
Risici og potentielle konsekvenser	Risiko for ødelæggelse af arkæologiske værdier - særligt ved indvinding i områder med høj risiko for fund af fortidsminder	Beskyttelse af fortidsminder er værdisat af Lundhede et al. (2005) specifikt for et geografisk område (store Åmose). Værdierne kan ikke generaliseres til andre områder, men studiet viser, at beskyttelse af fortidsminder har stor værdi for befolkningen.
	Øget risiko for trafikuheld	Iht. de transportøkonomiske enhedspriser kan trafikuheld ved lastbilkørsel opgøres til 2,12 DKK per kørte km (2022 priser). Denne pris er beregnet af DTU og publiceret af Transportministeriet (2022) som enhedspris. Prisen ved trafikuheld omfatter både den omkostning, der opstår ved forsinkelse (tidstab) (Christensen 2019) og prisen for skader på mennesker (tilskadekomst og tab af liv, samfundsøkonomisk beregnet (Transportministeriet 2022).
	Risiko for spild fra maskiner, der kan sive til grundvand	Værdien af rent grundvand er værdisat i Hasler et al. (2005), men værdien kan ikke relateres direkte til grundvandets indhold af spildstoffer eller specifikke hændelser. Studiet

		viser, at befolkningen tillægger rent grundvand stor værdi som ressource for rent drikkevand.
	Risiko for negativ påvirkning på fredede dyre- og plantearter	Jacobsen et al. (2008) opgør værdien af en forøgelse af såvel det generelle som det truede dyreliv i og omkring de danske enge og vandløb. Befolkningens betalingsvilje for 50 procent bestandsforøgelse af det generelle dyreliv i Danmark beregnes til cirka 160 DKK/husstand/år. Betalingsviljen for en forbedring af levevilkårene for en truet art som odderen er beregnet til 440 DKK/husstand/år, hvis tilstandsklassifikationen som konsekvens af betalingen ændres fra <i>truet</i> til <i>almindelig</i> (Schou et al. 2019). Værdien kan ikke generaliseres til andre arter. I Schou et al. (2019) er der anvendt en enhedsværdi for forbedring af biodiversitet på 68 DKK/person/år. Dette er ikke en enhedsværdi, der er anvendt af Miljøministeriet. For at anvende værdierne for hhv., odder og biodiversitet skal vi vide hvor mange husstande, hhv. personer, der er berørt af ændringerne i det konkrete område for råstofindvindingen, og også i hvilken udstrækning at råstofindvindingen, hhv. reetableringen af området, fører til forringede forhold for odderen som bestand, og i hvilken grad biodiversiteten i området forbedres.
	Risiko for vandforurening (overfladevand) og for negativ påvirkning af overfladevand (økosystemer)	Værdien af vandforurening/negativ påvirkning af akvatiske økosystemer er opgjort som værdien af god vandkvalitet iht. vandrammedirektivet (Zandersen et al. 2022). Værdien af ændringer fra en statusklasse til en bedre kan bestemmes, dvs. at påvirkningen af vandkvaliteten på en bestemt lokalitet skal være kendt for at kunne anvende værdifunktionen fra Zandersen et al. (ibid.).
Kultur- og naturværdier	Gravning i område udlagt med landskabelig bevaringsværdi og geologisk bevaringsværdi og som del af Nationalt Geologisk Interesseområde samt del af UNESCO Global Geopark Vestjylland samt brydning med bevaringsværdige landskaber (bl.a. med jordbunker)	Etablering af nationalparker er blevet værdisat af Jacobsen et al. (2006), men denne værdi er ikke generel for alle områder med landskabelige værdier.
	Bortgravning af beskyttede diger	Uggeldahl og Olsen (2019) har beregnet en betalingsvilje for randzoner langs vandløb, værdierne er beregnet/region i Danmark. For Region Syddanmark er den beregnet til 474 DKK/år/person for en randzone på 9 meter og 485 DKK/år/person for en randzone på 20 meter. Randzonerne er ikke umiddelbart ens med beskyttede diger, men studiet giver en indikation af, at der er værdier associeret med fjernelse af diger.
	Fortidsmindebeskyttelseslinje brydes	Som beskrevet ovenfor indikerer Lundhede et al. (2005) at befolkningen tillægger beskyttelse af fortidsminder værdi, og dette gælder også hvis man ikke kan se eller opleve fortidsminderne, fx hvis de bevares under jorden uden at blive gravet op.
	Flytning af beskyttede natur og dyrearter	Hvis en art kan flyttes og dermed bevares, vil værdien af dette kunne opgøres som værdien af at beskytte arten. Se beskrivelse fra Jacobsen et al. (2008) ovenfor. For odderen

		kan en indikativ værdi være 440 DKK/år/husstand i det område der bliver berørt.
	Gennembrud af beskyttede sten- og jorddiger med kulturhistorisk, landskabelig og biologisk værdi samt forringelse af digernes landskabelige betydning på lang sigt.	Denne værdi er ikke opgjort.
	Væsentlig negativ påvirkning på landskabet i driftsfasen	Denne værdi er ikke opgjort.
	Moderat til markant landskabelige påvirkning efter endt indvinding inklusiv større fragmentering og færre oprindelige arealer	Denne værdi er ikke opgjort.
	Ændringer i bevaringsværdige landskaber, der ikke må bygges på eller forringes visuelt.	Etablering af nationalparker er blevet værdisat af Jacobsen et al. (2006), men denne værdi er ikke generel for alle områder med landskabelige værdier.
	Indvinding i bevaringsværdige landskaber tæt ved rekreative områder / turistattraktioner	Forringelse af rekreative værdier kan beregnes ved anvendelse af rekreationsnøgletalsfunktion (Zandersen et al. 2020).
	Gravning i område med delvist udgravet oldtidslandsby	Fortidsminder er værdisat i Lundhede et al. 2005, og værdien anses at være betragtelig men kan ikke generaliseres fra det udførte studie som er stedspecifikt.
	Påvirkning på en række Bilag IV-arter	Evt. værdi af at arten påvirkes, se beskrivelse fra Jacobsen et al. (2008) ovenfor.
Naturressourcer	Brug af vanding for at mindske støv	Prisen på 1 m ³ vand kan anvendes. Denne pris varierer mellem regioner. For VandCenter Syd er prisen opgjort til 53,28 DKK/m ³ inkl. moms og statsafgifter (17,34 DKK for vand, 35,94 DKK for spildevand) (VandCenter Syd, u.å.).
	Skovrydning	Pris på skov, hvor bioregion og skovtype er af betydning for værdien af skoven. Se Lundhede og Pedersen (2021).
	Øgning af pesticidsårbarhed i grundvandet - særligt problematisk ved indvinding i 'Område med Særlige Drikkevandsinteresser'.	Forurening med pesticider ift. trusler mod grundvandets anvendelse som drikkevand er værdisat i Hasler et al. (2005). Denne værdi er opgjort per husstand, men ikke ift. mængde af vand der forurenes eller beskyttes. Det er derfor nødvendigt at kende antal husstande der evt. påvirkes af pesticidforureningen. Alternativt kan lukning af boringer og flytning af boring omkostningsberegnes, og dette bruges som indikation for en omkostningsbaseret værdi.
	Påvirkning på økologiske forbindelser	Ikke værdisat, men værdien af biodiversitet kan indikeres (se ovenfor).
	Mindskelse af naturlig beskyttelse af grundvandet ved indvinding af sand- og gruslag.	Se ovenfor vedr. pesticider.
Støj, støv og Maskiner	Støj op til de fastlagte støjgrænser og indenfor de fastlagte tidsrum samt kortvarige overskridelser af grænseværdier for støj	Støj forårsaget af lastbilkørsel kan værdisættes til 0,18 DKK/km (Transportøkonomiske enhedspriser). Der er ikke angivet grænseværdi.

Støv	Der er ikke fundet værdi for støv.
Vibrationsgener	Der er ikke fundet værdi for vibrationsgener.
Luftforurening: NO _x , SO ₂ , PM2,5	I de transportøkonomiske enhedspriser er der beskrevet enhedspriser i DKK/kg for PM2.5 (partikler): 1493, NO _x : 293 og SO ₂ : 14. Dette er enhedspriser for byerne, mens enhedsprisen er hhv. 986, 138 og 14 i landområder. Der redegøres for forudsætningerne for disse beregninger i Transportministeriet (2022) da dette er de transportøkonomiske enhedspriser.
Øget trafik	Uheld, støj, CO ₂ og luftforurening afledt af øget trafik kan værdisættes.
Påvirkning på jordbrugserhvervet/landbrugsdrift i et kategoriseret 'særlig værdifuldt landbrugsområde' samt negativ påvirkning på landbrugsdrift i indvindingsperioden/-perioderne	Kan værdisættes ved at beregne den tabte indtægt fra arealet. Beregningsforudsætninger for gennemsnitlige dækningsbidrag eller mere specifikke for jordtyper og afgrøder kan findes i Eriksen et al. (2020). Alternativt kan det konkrete tabte dækningsbidrag for de relevante marker beregnes, og indtægtstabt beregnes.
CO ₂ udledning	Ændringer i CO ₂ -udledningen værdisættes til 750 DKK/ton. Iht Finansministeriet skal der udføres følsomhedsanalyse for betydningen af prisen på CO ₂ . Til disse kan estimerne fra De Økonomiske Råd (2020) og Klimarådet (2020) anvendes på hhv. 1.200 og 1.500 DKK/ton CO ₂ . I de transportøkonomiske enhedspriser (Transportministeriet 2022) er der angivet 840 DKK/ton indenfor og udenfor kvotesektoren, 910 DKK/ton ved højt alternativ.

På baggrund af oversigten i Tabel 8. og kommentarerne i denne tabel kan vi sammenfatte at følgende værdier kan indgå i de samfundsøkonomiske vurderinger:

- Værdi for ændringer i risiko for trafikuheld (ved en enhedspris per kørte km),
- Værdi af ændring ift. støj
- Værdier for ændringer i luftforurening (NO_x, SO₂, PM2,5),
- Værdi for ændringer i udledning af CO₂-ækvivalenter,
- Tabte indtægter fra land- og skovbrug (hvis arealet er kendt) og
- forbrug af vand for at bekæmpe støv.

Rekreative værdier (tabte og etablerede) kan beregnes, hvis området er kendt, men der kan ikke angives en enhedsværdi for alle lokaliteter. Hvis råstofgraven efterbehandles med hensyn til biodiversitet og/eller rekreative muligheder, kan disse værdier beregnes, men værdien for biodiversitet er meget usikkert bestemt.

For fjernelse af diger, fjernelse og/eller ødelæggelse af fortidsminder og arkæologiske fund samt effekter på dyreliv kan værdierne være markante, men de kan ikke opgøres generelt, og det er vanskeligt at opgøre værdierne monetært, da studierne på området er uddaterede eller udført i andre kontekster, således at de ikke umiddelbart kan overføres og bruges til værdisætning af effekterne af råstofindvinding og alternativerne.

I tillæg til disse effekter er der effekter for råstofindvindingen samt alternativerne som opgjort i kapitel 3. For R11-ækvivalenter, ethene-ækvivalenter og Sb-ækvivalenter er der ikke fundet enhedspriser/nøgletal og heller ikke resultater i litteraturen.

PO₄-emissionerne er opgjort for NO_x, N, NH₃ og P (fosfor). NH₃ indgår i beregningen af CO₂-ækvivalenter, og der er priser for NO_x (se tabel 8, luftforurening). For N kan nøgletal i Miljøministeriets nøgletalskatalog anvendes, men værdien af N reduktioner er meget specifik ift. de lokale miljøforhold ved kysten. Der findes heller ikke en generel værdi af reduktion af P (fosfor). Det konkluderes derfor at værdien af N og P ikke kan indgå i de samfundsøkonomiske beregninger i nærværende kontekst, men at værdierne kan inkluderes ved værdisætning af specifikke råstofindvindingsområder, hvor lokaliteten er kendt. I kapitel 5 indgår de effekter der kan værdisættes i de samfundsøkonomiske vurderinger.

5 SAMFUNDSØKONOMISKE KONSEKVENSVURDERINGER

Den samfundsøkonomiske konsekvensanalyse er en “cost-benefit-analyse”, hvor i princippet alle ulemper og fordele ved indvindingen af råstoffer og de specificerede alternativer kvantificeres og værdisættes som baggrund for analysen. Se i øvrigt metodebeskrivelse i kapitel 1.

5.1 Sparede råstoffer ved substitution

De samfundsøkonomiske vurderinger foretages for følgende alternativer, som alle indebærer, at anvendelsen af sand, grus, sten og ler reduceres, og at indvindingsmængden derfor kan sættes ned.

5.1.1 Nye mursten erstattes af brugte mursten

Nye mursten erstattes af brugte mursten i volumenforholdet 1:1, hvorved der spares råstoffer (ler) til fremstilling af de nye mursten.

- Ler anvendes til produktion af nye mursten.
- 1 m³ ler vejer normalt mellem 1,5 og 1,9 tons (som jord); vi anvender omregningsforhold for 1,7 tons, således at 1 ton ler svarer til 0,6 m³ ler (Skat 2022)
- Der medgår 1,045 tons ler (0,63 m³) til 1 ton mursten, både facadesten og bagsten (Miljøstyrelsen 2022).
- 1 m³ mursten vejer 1.600 – 2.050 kg (Randers Tegl 2018), vi anvender en gennemsnitsværdi på 1.825 kg/m³.
- Resultat: Når der spares 1 m³ nye mursten, fordi der genbruges 1 m³ gamle mursten, *så spares der 1,124 m³ ler til produktion af nye mursten.*

I dette regneeksempel medregner vi ikke at de gamle mursten alternativt kunne anvendes som vejfyld.

5.1.2 Substitution af beton med stampet jord

Beton erstattes af stampet jord (baseret på spildjord, jf. kapitel 2) i forhold 1:1, hvorved der spares råstoffer (sand, grus og sten) til fremstilling af beton.

- 1 m³ beton erstattes af 1 m³ stampet jord
- Sand, grus og sten anvendes som 70 % tilslag til beton ift. betonvolumen.
- Resultat: Når der spares 1 m³ beton, fordi der i stedet anvendes stampet jord, *så spares der 0,7 m³ råstoffer i form af sand og sten til produktion af ny beton.*

5.1.3 Substitution af beton med CLT

Beton substitueres med CLT i forholdet 1:3 i forhold til volumen (jf. kapitel 2).

- 1 m³ beton substitueres af 3 m³ CLT
- *Når der spares 1 m³ beton fordi der substitueres med CLT, så spares der 0,7 m³ sand, sten og grus.*

- De sparede mængder råstoffer skal sættes i relation til de 3 m³ træ, der er anvendt til fremstilling af CLT.

5.2 Økonomiske data og beregningsforudsætninger

I de samfundsøkonomiske beregninger indgår følgende økonomiske data og forudsætninger.

5.2.1 Mursten

Produktionsomkostningerne ved genbrug af gamle mursten er opgjort til 2.250 DKK/ton, og afsætningsprisen til 4.050 DKK/ton. Produktionsomkostningerne for nye mursten er, iht. Miljøstyrelsen (2022), 3.500 DKK/ton, mens afsætningsprisen er 5.000 DKK/ton.

Som nævnt i afsnit 5.1.1 anvender vi en gennemsnitsværdi for omregningen fra tons til m³ på 1,825 tons/m³. Herved bliver den beregnede produktionsomkostning for genbrugte mursten 1.233 DKK/m³ til en afsætningspris på 2.219 DKK/m³. I samfundsøkonomiske priser svarer dette til 1.578 DKK/m³ i produktionsomkostninger og 2.840,5 DKK/m³ i afsætningspris (justeret til markedspris med NAF).

For nye mursten er den beregnede produktionsomkostning 1.918 DKK/m³, mens afsætningsprisen er 2.740 DKK/m³. I samfundsøkonomiske priser svarer dette til en produktionsomkostning på 2.455 DKK/m³ og en afsætningspris på 3.507 DKK/m³.

Nye mursten har en CO₂-emission på 172 kg/m³, mens genbrug af gamle mursten har et meget lavere CO₂-aftryk på 1,48 kg/m³, jf. Tabel 5.

5.2.2 Beton der erstattes af stampet jord og/eller CLT

Iht. Miljøstyrelsen (2022) regner vi med produktionsomkostninger for beton på 1.050 DKK/ton og en afsætningspris på 1.500 DKK/ton; omregnet til volumen giver dette produktionsomkostninger på 2.336 DKK/m³, svarende til 2.990 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser. Vi regner med en afsætningspris på 3.338 DKK/m³, svarende til 4.273 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser.

Beton har et CO₂-aftryk på 282 kg/m³. CO₂-aftrykket fra indvindingen af råstofferne er på 3 kg/m³.

5.2.3 Stampet jord

Der findes ikke tilgængelige danske data for produktionsomkostningerne for stampet jord, som ikke er et udbredt produkt i Danmark. Stampet jord anvendes som byggemateriale i bl.a. Tyskland og Østrig, og der er indhentet data fra en producent i Østrig (Lehm Ton Erde Baukunst 2022). Omkostningerne ved byggeprojekter er meget afhængige af, om den stampe jord produceres på stedet med lokalt gravemateriale eller er præfabrikeret, som det gøres af denne producent. Stampet jord-projekter er som regel skræddersyede fra projekt til projekt og varierer i størrelse, og det har ikke været muligt at indhente priser på stampet jord in situ. De indhentede omkostninger er for præfabrikerede elementer og derfor forbundet med en del usikkerhed ift. fabrikation af stampet jord in situ – generiske omkostningsvurderinger for in situ frembringelse af stampet jord vil fremkomme, hvis/når stampet jord vinder frem som alternativ til beton, mens specifikke omkostningsvurderinger kan udarbejdes i sammenhæng med specifikke byggerier.

Det er valgt at tage udgangspunkt i elementer af stampet jord, der er 0,5m x 2m x 1m, dvs. 1m³. Et element af denne dimension produceres på fabrik til en omkostning opgivet til mellem 650 og 850 EUR/styk, og der anvendes her en gennemsnitsomkostning på 750 EUR/m³, svarende til 5.580 DKK/m³ (2022-priser). Vi antager en afsætningspris på 8.000 DKK/m³.

Der er installationsomkostninger ved stampet jord, men det er der også for mursten, beton og træ. Disse omkostninger er derfor ikke indregnet, men det må antages, at konstruktionsomkostningerne er forskellige.

For stampet jord regner vi med en CO₂ effekt på 9,35 kg/m³, jf. Tabel 5.

5.2.4 CLT

For CLT består produktionsomkostningerne af omkostninger til råvarer (råtræ), lim og konstruktions- og driftsomkostninger, inklusive arbejds løn. Råtræet udgør over 60% af omkostningen, fulgt af de forskellige konstruktions- og driftsomkostninger, inklusive lim. Produktionsomkostningerne er afhængig af antallet af lag i CLT-materialet samt af produkternes tykkelse og længde. CLT-elementerne er præfabrikerede og transportomkostningen varierer med distancen fra producent til anvendelsessted.

Det har ikke været muligt at finde danske estimater for produktionsomkostningerne for CLT. Svenske undersøgelser (Andersson 2019 angiver mellem 4.000 og 6.000 SEK/m³ (år for pris ikke opgivet), svarende til 2.840 – 4.260 DKK/m³ (konversionsrate 2022).

Andre kilder (Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI) 2018) har beregnet en omkostning på ca. 9.000 DKK/m³, hvorfor det ikke kan udelukkes, at den ovenfor nævnte svenske pris kan repræsentere et underkantsskøn. Estimerne vil som for de øvrige råvarer være meget påvirkelige overfor priserne på råvarer. Miljøstyrelsen (2022) angiver produktionsomkostninger for bærende træbjælker på 21.000 DKK/t, hvilket omregnet til volumen giver en m³ omkostning mellem 9.030 og 14.280 DKK/m³, dvs. omkostninger sammenlignelige med CRSI's. Vi anvender derfor to estimater for omkostningerne på hhv. 3.550 danske DKK/m³, baseret på de svenske oplysninger, og et estimat på 9.000 DKK/m³, baseret på CRSI (2018) og Miljøstyrelsen (2022). For CLT er CO₂-emissionerne på 67 kg/m³.

5.2.5 Råstoffer – sand, sten, grus og ler.

Det er ikke lykkedes at finde tilgængelige data for produktionsomkostningerne for råstoffer.

- Naturstyrelsen har fået udført erhvervsøkonomiske beregninger for indvinding af råstoffer til lands og til vands (NIRAS 2015). Forfatterne beskriver at det ikke har været muligt at få data om omkostningerne fra indvindingsvirksomhederne, og de har derfor opstillet omkostningsberegningerne på basis af information fra interviews med branchen. Der tages udgangspunkt i omkostningerne og ikke salgspriser, da 'lister over salgspriser ikke afspejler reelle salgspriser'. Omkostningerne ved indvinding på land opgøres til 35 – 60 DKK/m³ i Roskilde, og mellem 30 og 55 DKK/m³ i Kalundborg, mens transportomkostningerne er beregnet til 60 DKK/m³ i Roskilde og 110 DKK/m³ i Kalundborg (2015 priser).
- Copenhagen Economics har beregnet en pris på 72 DKK/m³ for indvindingen, mens transporten er beregnet til en omkostning på 70 DKK/m³ med en gennemsnitlig transportlængde på 43 km (Danske Regioner 2020a). Da dette er en estimeret salgspris,

anvender vi NIRAS' (2015) beregninger som grundlag for produktionsomkostningerne i nærværende analyse.

NIRAS' opgørelse er ikke opsplittet på de forskellige processer i råstofindvindingen. Vi har fået opdaterede oplysninger om de forskellige processer fra Region Syddanmark, men det er ikke lykkedes at få produktionsøkonomi-data fra branchen til brug for projektet. Vi anvender derfor NIRAS' estimater og prisjusterer til 2022.

De producerede råstoffer afsættes til en pris, som varierer meget geografisk i landet på grund af forskelle i udbud og efterspørgsel. Orbicon (2018) har i en sammenlignende analyse opgjort priser på sand, jord og grus for Region Syddanmark til mellem 56 og 59 DKK/ton (2015), omregnet til 2022 priser med forbrugerprisindeks er prisen mellem 60 og 63 DKK/ton.

5.2.6 Transportafstande og omkostninger.

I beregningen af miljøeffekterne forbundet med produktionen af de forskellige byggematerialer (Tabel 5) er transport fra råstofindvinding til produktionen af byggematerialerne medregnet. Den dertilhørende udledning af CO₂-ækvivalenter og andre emissioner er medregnet i den endelige samfundsøkonomiske omkostning.

Den estimerede *afstand fra indvinding til produktion* fremgår ikke i EPD'erne, og dermed er der ikke en mulighed for at benytte EPD'erne til at anslå en afstand som efterfølgende kan prissættes i forhold til de øvrige effekter i Tabel 8. Kigger vi i de generiske dataset på indvindingen af sten, grus og sand findes der dog en estimeret afstand på 10 km mellem råstofgrav og anlæg (Ökobaudat 2018b, Ökobaudat 2018d, Ökobaudat 2018e).

I EPD'erne er der i nogle tilfælde opgivet en estimeret *afstand fra produktionen af byggematerialerne til byggepladsen* (i en dansk kontekst). Afstanden er suppleret med et estimat på hvilken type køretøj og brændstof, der anvendes samt en forventet udnyttelsesgrad af transportmidlets kapacitet. Emissionerne forbundet med denne transport fra produktionen af byggematerialerne til byggepladsen er ikke medregnet i beregningen af miljøemissioner (Tabel 5). I EPD'erne antages det, at nye mursten transporteres 50 km, beton transporteres 25 km, og CLT transporteres helt op til 1.400 km (typisk fra Sverige), når det fragtes til de danske byggepladser (Randers Tegl A/S 2018, Fabriksbetonforeningen 2021, Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien 2021). Transporten af stampet lerjord afhænger først og fremmest af, om der er tale om præfabrikerede elementer eller produktion in situ, og med de præfabrikerede elementer er det svært at sige noget om afstanden, idet at der er få leverandører i Danmark. Både hvad angår CLT og stampet jord kan det dog antages, at transportdistancen kan reduceres, hvis der opstår større efterspørgsel på produkterne, idet dette vil skabe incitament for lokal produktion. Det er tænkeligt både fordi der er stor forekomst af jordressourcer til stampet jord, og fordi træproduktion, som kan øges ved skovrejsning, er ønskeligt af hensyn til natur og vandmiljø.

Ved indregning af transportomkostninger er det DTU's enhedspriser, beregnet for Transportministeriet, der skal anvendes for selve transporten (afstand og tid), samt for klima, luftforurening (SO₂, partikler), uheld og støj (se kapitel 4). På grund af usikkerheden forbundet med fastlæggelsen af transportafstande for alternativerne har vi dog valgt ikke at inkludere transport yderligere i de samfundsøkonomiske beregninger ud fra en grov antagelse om, at transportafstandene er nogenlunde ens for alle byggematerialer og derfor ikke vil have nogen effekt, når materialerne sammenlignes. Dette er som nævnt med undtagelse af prissætningen af emissionerne i Tabel 5, som bl.a. relaterer sig til transporten fra råstofindvinding til produktion.

5.3 Samfundsøkonomisk beregning for råstoffer og alternativer

I dette afsnit præsenteres de beregnede samfundsøkonomiske nettogevinst for indvindingen af råstoffer og de undersøgte alternativer.

5.3.1 Råstoffer

For indvindingen af råstoffer, eksklusiv transportomkostningerne, er produktionsomkostningerne og de eksterne ikke-markedsomsatte omkostninger ved CO₂-emissionerne beregnet til i alt 58 DKK/m³ for en CO₂-pris på 750 DKK/t, mens den stiger til 61 DKK/m³ ved en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton.

Afsætningen af råstofferne medfører en samlet indtægt på 149 (191) DKK/m³ for en gennemsnitlig afsætningspris for landet, men reduceres til 63 (81) DKK/m³ når der anvendes priser som i Region Syddanmark (Miljøstyrelsen 2016). Priserne i parentes er de samfundsøkonomiske priser, mens de øvrige er erhvervsøkonomiske (faktorpriser).

Disse to prisforudsætninger medfører en netto samfundsøkonomisk gevinst ved råstofindvinding på hhv. 132 og 22 DKK/m³. Ændringer i CO₂-pris har ikke en stor indvirkning på grund af et lavt CO₂-aftryk.

Beregningerne fremgår af Tabel 9 og forudsætningerne for beregningerne er forklaret i noterne under tabellen. Noterne *, **, ***, **** og ***** gælder også for Tabel 10, 11, 12, 13 og 14.

Tabel 9. Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinst, råstoffer

Råstoffer	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)		Følsomhedsanalyse pris på råstoffer	
	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	44	56	44	56	44	56
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		2		5		2
Gevinster**** DKK/m ³	149	191	149	191	63	81
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	105	132	105	130	19	22

* Den samfundsøkonomiske pris fremkommer ved at multiplicere den erhvervsøkonomiske omkostning og gevinst med nettoafgiftsfaktoren, som anvendes for at justere faktorpriser til markedspriser. Nettoafgiftsfaktoren er på 1,28. For yderligere oplysning se kapitel 1.2.

** Produktionsomkostningerne består af investeringer i produktionsapparat, energi, arbejdskraft

*** CO₂-prisen på 750 DKK/ton CO₂ ækv. er anvendt til at beregne omkostningen for CO₂-emissioner fra råstofindvindingen. Som følsomhedsanalyse er der også regnet med en CO₂-pris på 1200 DKK/ton CO₂. For CO₂-priser, se kapitel 3.

**** Gevinsterne består af afsætningsprisen beregnet per m³, samt evt., positive eksternaliteter. Der er dog ingen positive eksternaliteter at indregne.

***** Nettogevinsten er beregnet som gevinsterne fratrukket omkostningerne, hvor gevinsterne er beregnet som produktionsværdien på baggrund af afsætningsprisen. Omkostningerne består af produktionsomkostninger samt de eksterne omkostninger (her kun CO₂). Følsomhedsanalysen for prisen for råstoffer er baseret på, at priserne kan være lavere i region Syddanmark end gennemsnitligt for landet.

5.3.2 Beton

De samlede produktionsomkostninger for beton samt CO₂-omkostningerne er ved en CO₂-pris på 750 DKK/ton beregnet til 3.202 DKK/m³ i samfundsøkonomiske omkostninger, mens den stiger til 3.413 DKK ved en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton. CO₂-omkostningens andel af de samlede

samfundsøkonomiske omkostninger stiger dermed fra 7 til 14%. Indtægterne fra salg af beton er beregnet til 4.273 DKK/m³ (samfundsøkonomiske priser)

Den samlede samfundsmæssige nettogevinst ved produktion af beton er beregnet til 1.071 DKK/m³ ved en CO₂-pris på 750 DKK/t, mens den reduceres til 860 DKK/m³ ved en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton.

Tabel 10. Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinster, beton

Beton ¹	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)	
	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	2.336	2.990	2.336	2.990
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		212		423
Gevinster**** DKK/m ³	3.338	4.273	3.338	4.273
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	1.002	1.071	1.002	860

Der er ikke udført følsomhedsanalyser for afsætningspriser for beton.

5.3.3 Nye og genbrugte mursten

For nye mursten er produktionsomkostningerne 2.455 DKK/m³, mens CO₂-emissionsomkostningen er 129 DKK/m³ ved en CO₂-pris på 750 DKK/t, mens den stiger til 258 DKK ved en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton. Samlet er omkostningerne 2.584 DKK/m³ og 2.713 DKK/m³.

Indtægterne fra salg af nye mursten, er hhv. 2.740 DKK/m³ og 3.507 DKK/m³. Beregningerne er baseret på omkostnings- og afsætningsforudsætninger i Miljøstyrelsen (2022).

Samlet er der beregnet en nettogevinst på 923 DKK/m³ for 750 DKK/ton CO₂, mens nettogevinsten er 794 DKK/m³ ved en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton.

Tabel 11. Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinster mursten (nye)

Nye mursten ¹	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)	
	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	1.918	2.455	1.918	2.455
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		129		258
Gevinster**** DKK/m ³	2.740	3.507	2.740	3.507
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	822	923	822	794

Der er ikke udført følsomhedsanalyser for afsætningsprisen for mursten, men der er regnet på nye og genbrugte mursten (Tabel 11).

For genbrugte mursten er produktionsomkostningerne pba Miljøstyrelsen (2022) beregnet til 1.578 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser; omkostningerne øges minimalt med CO₂-omkostningen da emissionerne er meget lave (1,48 kg /m³) og det påvirker omkostningerne marginalt at CO₂-prisen stiger til 1.500 DKK/ton CO₂.

Indtægterne er beregnet til 2.219 DKK/m³ i erhvervsøkonomiske priser, omregnet til 2.840 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser.

Samlet er der beregnet en samfundsøkonomisk **nettogevinst på 1.260-1.261 DKK/m³** med en marginal ændring ved høj CO₂-pris.

Tabel 12. Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinst genbrugte mursten

Genbrugte mursten ¹	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)	
	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	1.233	1.578	1.233	1.578
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		1		2
Gevinster**** DKK/m ³	2.219	2.840	2,219	2840
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	986	1261	986	1260

5.3.4 Stampet jord

For stampet jord er produktionsomkostningerne beregnet til 7.142 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser. Med en meget lav CO₂-belastning ændres dette kun marginalt ved ændring i CO₂-prisen fra 750 til 1.500 DKK/ton CO₂.

Indtægterne er beregnet til en afsætningspris på 7.971 DKK/m³ i erhvervsøkonomiske priser, svarende til 10.203 DKK/m³ i samfundsøkonomiske priser.

Samlet er der beregnet en samfundsøkonomisk **nettogevinst for tilvirkningen af stampet jord på hhv. 3.054 og 3.047 DKK/m³** for 750 og 1.500 DKK for CO₂ omkostningen.

Tabel 13. Beregnede omkostninger, gevinster og nettoomkostninger stampet jord

Stampet jord ¹	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)	
	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*	Erhvervsøkonomisk	Samfundsøkonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	5.580	7.142	5.580	7.142
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		7		14
Gevinster**** DKK/m ³	7.971	10.203	7.971	10.203
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	2.391	3.054	2.391	3.047

5.3.5 CLT

For CLT er produktionsomkostningerne samt afsætningspriserne beregnet med anvendelse af to forskellige kilder, således at der er en lav omkostnings- og afsætningspris, samt en høj. Derudover anvendes naturligvis også lav og høj CO₂-pris. CO₂-emissionen er lav og har derfor lav indvirkning på de samlede omkostninger.

Høje omkostninger:

- For de høje omkostninger og afsætningspriser, baseret på CRSI og Miljøstyrelsen, er det beregnet at produktionsomkostningerne er på 11.520 DKK/m³, eller 11.570 og 11.621 DKK/m³ når CO₂ inkluderes med hhv. 750 og 1.500 DKK/ton CO₂.
- Indtægterne er på 16.547 DKK/m³

- Samlet er der beregnet en samfundsøkonomisk **nettogevinst på hhv. 4.887 og 4.837 DKK/m³** for 750 og 1.500 DKK/ton CO₂.

Følsomhedsanalyse med lavere omkostninger og indtægter (til højre i tabellen):

- De lave omkostninger er beregnet på basis af svenske data til hhv. 4.530 og 4.580 DKK/m³ for hhv. 750 og 1.500 DKK/ton CO₂.
- Indtægterne er beregnet til 6.400 DKK/m³
- Samlet er der beregnet en samfundsøkonomisk **nettogevinst på 1.723 DKK/m³** for en CO₂-pris 750 DKK/ton CO₂. For en CO₂-pris på 1.500 DKK/ton er nettogevinsten (samfundsøkonomisk) på 1.672 DKK/m³.

Tabel 14. Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinst, CLT

CLT ¹	DKK/m ³ CO ₂ -pris 750 DKK/tons		Følsomhedsanalyse CO ₂ -pris (1.500 DKK/tons CO ₂)		Følsomhedsanalyse pris CLT (svenske priser)	
	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*	Erhvervs- økonomisk	Samfunds- økonomisk*
Produktionsomkostninger**, DKK/m ³	9.000	11.520	9.000	11.520	3.550	4.043
CO ₂ -omkostninger***, DKK/m ³		50		101		50
Gevinster**** DKK/m ³	12.857	16.457	12.857	16.457	4.544	5.816
Nettogevinst (B-C)*****, DKK/m ³	3.857	4.887	3.857	4.837	994	1.723

I Tabel 15 samles nettogevinst (B-C) for alle alternativer.

Tabel 15. Samlet oversigt over nettogevinsterne (B-C) ved alternativerne, to niveauer for CO₂ omkostningerne.

Alternativ	B-C, 750 DKK/ton CO ₂	B-C, 1.500 DKK/ton CO ₂
Råstofindvinding	132	130
Beton	1.071	860
Nye mursten	923	794
Brugte mursten	1.928	1.927
Stampet jord	3.054	3.047
CLT, lave omkostninger	1.723	1.672
CLT, høje omkostninger	4.887	4.837

5.4 Illustrative eksempler

Til illustration af de samfundsøkonomiske gevinster ved substitution af råstofbaserede byggematerialer med alternativer er nedenfor opstillet vurderinger beregnet for en substitution af 1 m³ af det traditionelle byggemateriale med en mængde alternativt materiale som kan give den samme bæreevne i byggeriet. Scenarierne vurderer ikke nettogevinst eller omkostningerne for producenterne, men for samfundet. For producenterne kan substitution blive dyrere end de beregnede resultater her, da sparede omkostninger til CO₂ ikke er en privatøkonomisk gevinst.

5.4.1 1 m³ nye mursten erstattes med 1 m³ genbrugte mursten

Den samlede samfundsmæssige nettogevinst for 1 m³ nye mursten er 794 - 923 DKK, mens den er 1.928 DKK for 1 m³ genbrugte mursten. Den samlede nettogevinst ved at overgå til genbrugte

mursten overstiger således 1.000 DKK/m³ mursten genbrugt i stedet for at ny produktion. Der spares en indvinding af 1,124 m³ ler ved genbrug af 1 m³ mursten.

5.4.2 1 m³ beton erstattes med 1 m³ stampet jord

Den samlede nettogevinst for 1 m³ beton er 860 - 1.071 DKK, mens den er 3.047 - 3.054 DKK for 1 m³ stampet jord. Den samlede samfundsmæssige nettogevinst overstiger således 2.000 DKK per m³ beton, der erstattes med stampet jord. Der er flere usikkerhedsfaktorer omkring fastsættelsen af produktionsomkostninger, pris og transportafstand for stampet jord, hvilket skyldes, at der er få nyere erfaringer ved brug af byggemetoden i Danmark og en udtalt mangel på økonomiske opgørelser. Der spares en indvinding på 0,7 m³ råstoffer i form af sand og sten til produktion af ny beton, idet det forudsættes at stampet jord fremstilles af overskudsjord in situ.

5.4.3 1 m³ beton erstattes af 3 m³ CLT

Den samlede nettogevinst for 1 m³ beton er som nævnt 860 - 1.071 DKK, mens den er mellem 1.672 og 4.887 for 1 m³ CLT. Det er som nævnt – med betydelig usikkerhed – antaget, at beton erstattes af CLT i volumenforhold 1:3. Den samlede samfundsmæssige nettogevinst overstiger således 4.000 DKK/m³ beton, der erstattes med CLT – såfremt dette sker i 1:3 i volumen. Denne beregning er lavet for den lave CLT-pris (1.870 DKK/m³), Hvis substitutionsforholdet i stedet er 1:1, bliver nettogevinsten mindre; ca. 800 DKK/m³.

At nettogevinsten bliver mindre, når substitutionsforholdet er 1:1, skyldes, at der skal bruges mindre CLT, der har en højere samfundsøkonomisk nettogevinst. Det skyldes især den højere afsætningspris og i mindre omfang den lavere CO₂ effekt.

Der spares en indvinding på ca. 0,7 m³ råstoffer i form af sand og sten til produktion af ny beton, for hver kubikmeter beton der erstattes - hvilket dog skal modregnes i den mængde træ og lim, der er medgået til fremstilling af CLT.

5.4.4 10% af Region Syddanmarks råstofindvinding relateret til teglproduktion reduceres igennem substitution med brugte mursten

I Region Syddanmark blev der i 2020 indvundet 313.000 m³ ler med henblik på produktion af tegl (se Tabel 2). Ved 10% reduktion i råstofindvindingen tilsløset produktionen af tegl spares 31.300 m³ ler.

Jævnfør kapitel 5.1 så består den samlede volumen mursten af 112,4 % ler. Ved reduktionen af 31.300 m³ ler forstås samtidig en tilsvarende reduktion i forbruget af mursten svarende til 35.181 m³ færre mursten.

Ved substitution af nye mursten med brugte mursten opnås jf. afsnit 5.4.1 en nettogevinst for samfundet på ca. 1.000 DKK/m³ svarende til 35,2 mio. DKK.

5.4.5 10% af Region Syddanmarks råstofindvinding relateret til betontilslagsmateriale reduceres igennem substitution med alternative byggematerialer

Betontilslagsmateriale er forskellige kornstørrelser af sand, grus og sten, som indgår i betonblandinger. I Region Syddanmark blev der i 2020 indvundet 2.050.000 m³ sand, grus og sten med henblik på produktionen af betontilslagsmateriale (se Tabel 2). Ved 10% reduktion i

råstofindvindingen tilsigtet produktionen af betontilslagsmateriale spares 205.000 m³ sand, grus og sten.

Jævnfør kapitel 5.1 består den samlede betonvolumen af 70% tilslagsmateriale. Ved reduktionen af 205.000 m³ sand, grus og sten forstås samtidig en tilsvarende reduktion i forbruget af beton svarende til 292.857 m³ mindre beton.

Alt efter hvilket materiale vi substituerer betonet med, opnås forskellige nettogevinster:

- Ved substitution af betonen med stampet lerjord opnås jf. afsnit 5.4.2 en nettogevinst for samfundet på ca. 2.000 DKK/m³ svarende til 585,7 mio. DKK.
- Ved substitution af betonen med CLT opnås jf. afsnit 5.4.3 en nettogevinst for samfundet på 1.672 – 4.887 DKK/m³ svarende til 489,7 – 1.431,2 mio. DKK.

De højere samfundsøkonomiske nettogevinster fra alternativerne til råstofindvinding og beton skyldes højere indtægter fra produktionen og en mindre CO₂ belastning.

6 KONKLUSION

Det foreliggende projekt har haft til formål at opgøre effekterne ved indvinding af råstoffer og udvalgte alternativer og at foretage en komparativ samfundsøkonomisk vurdering af råstofindvinding set i forhold til de udvalgte alternativer: Genbrug af mursten, substitution af beton med CLT, og substitution af beton med stampet jord.

Projektet har indebåret en særdeles omfattende indhentning af data og gennemgang af litteratur. Det har for beregninger været nødvendigt at gøre en lang række antagelser, idet det på baggrund af materiale- og kontekstafhængige data er søgt at udarbejde mere generelle konsekvensvurderinger og samfundsøkonomiske vurderinger. Den foreliggende analyse skal derfor først og fremmest ses som et studie, der indikerer størrelsesordener for de samfundsmæssige omkostninger ved alternativerne.

De miljømæssige effekter af råstofindvinding er opgjort ved analyse af ti miljøkonsekvensrapporter for danske råstofgrave efter 2019, suppleret af data fra den tyske database Ökobaudat. En omfattende liste over konsekvenser er gjort tilgængelig i en søgbar database i Excel-format. De miljømæssige effekter af de tre alternativer er opgjort via Environmental Product Declarations, EPD'er, på konkrete produkter, samt via data fra Ökobaudat. Værdisætningen af konsekvenser og beregningen af de samfundsmæssige omkostninger ved scenarierne er opgjort baseret på Finansministeriets vejledning og nøgletal, og med data til følsomhedsanalyse fra forsknings- og udredningsresultater. Der er lavet en oversigt over de effekter, der kan værdisættes, såfremt lokalitet og detaljerede konsekvenser er kendt. Langt fra alle konsekvenser kan værdisættes, slet ikke i en generel sammenhæng.

Relationen mellem de sammenlignede scenarier er fastsat i forhold til det mest sandsynlige volumenforhold relateret til produkternes bæreevne; særligt for CLT sammenlignet med beton er der tale om en forsimpning af reelle forhold, idet kun en nøje bæreevneberegning i et aktuelt byggeri kan fastslå den reelle volumenrelation mellem beton og CLT.

Beregningerne af produktionsomkostninger og indtægter er baseret på litteratur og enkeltstående eksempler – og er derfor forbundet med betydelig usikkerhed.

Projektets nøgleresultater:

- √ Råstofindvinding i Region Syddanmark medfører – udover naturligvis trækket på udtømmelige naturressourcer – en betydelig klimapåvirkning, særligt såfremt råstoffer anvendes til fremstilling af beton (klimapåvirkningen er central i det samlede billede af alternativernes miljøpåvirkning og i de samfundsøkonomiske beregninger)
- √ Opgjort pr. kubikmeter materiale fremtræder beton og nye mursten som langt mere klimabelastende end alternativerne genbrugte mursten, stampet jord og CLT
- √ 10 % mindre råstofindvinding i Region Syddanmark vil spare indvinding af godt 750.000 m³ sten, grus, sand og ler årligt samt reducere drivhusbelastningen med knap 33.000 tons årligt.
- √ For hver kubikmeter ny mursten, der erstattes af genbrugte mursten, spares 1,1 m³ ler til produktion af nye mursten
- √ For hver kubikmeter beton, der erstattes af stampet jord, spares 0,7 m³ råstoffer til produktion af ny beton; stampet jord forudsættes fremstillet af spildjord.

- √ For hver kubikmeter beton, der erstattes af CLT, spares 0,7 m³ råstoffer til produktion af ny beton, idet der modsat samtidig sker anvendelse af anslået 3 m³ træ til fremstilling af CLT.

De samlede nettogevinster ved de alternative løsninger er – med de angivne antagelser – beregnet til:

- ca. 1.000 DKK/m³ erstattet materiale for nye mursten erstattet af genbrugte mursten
- ca. 2.000 DKK/m³ for beton erstattet af stampet jord
- ca. 1.672 - 4.900 DKK/m³ for beton erstattet af CLT

Det skal erindres, at dette er nettogevinster for samfundet, ikke for den enkelte producent eller entreprenør, der opfører byggeriet.

7 REFERENCELISTE

- Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., Zimmermann, R. K., Kanafani, K. & Birgisdottir, H. (2019): Livscyklusvurdering for cirkulære løsninger med fokus på klimapåvirkning – forundersøgelse. Forskning i det byggede miljø, SBI 2019:08, Polyteknisk Boghandel og Forlag ApS
- Andersson, S. (2019): Kalkylmodell för produkter inom korslimmat trä–Fallstudie inom ett träindustriellt företag (Calculation model for products within cross-laminated timber-A case study within a wood industrial company). Eksamensarbeten nr. 8, Sveriges Lantbruksuniversitet SLU.
- Belgian Building Research Institute and Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (2021): Evaluating the technical performance of reclaimed building materials. Interreg: North-West Europe.
- Birgisdottir, H., Rasmussen, F. N. (2015): Introduktion til LCA på bygninger, Energistyrelsen, 1. udgave
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (2022): Ökobaudat: <https://www.oekobaudat.de>
- Bæredygtigt Byggeri DK (2022a): Byggematerialer – Ler, <https://www.bæredygtigtbyggeri.dk/ler>
- Bæredygtigt Byggeri DK (2022b): Det bæredygtige tag – Genbrugstegl, besøgt d. 20.02.2022: <https://www.bæredygtigtbyggeri.dk/tag-genbrugstegl>
- Chen, Z., Gu, H., Bergman, R. D., & Liang, S. (2020): Comparative life-cycle assessment of a high-rise mass timber building with an equivalent reinforced concrete alternative using the Athena impact estimator for buildings. Sustainability, 12(11), 4708
- Christensen, U. Æ. (2019): Hvad koster trafikulykker samfundet? Artikler fra Trafikdage på Aalborg Universitet (Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University) ISSN 1603-9696. www.trafikdage.dk/artikelarkiv
- Consito (2022): Hvad kan man selv gøre? Tilgængelig på <https://concito.dk/bliv-klimaklog/hvad-kan-man-selv-goere>
- COWI (2022): Transportanalyse i Region Syddanmark. Rapport. April 2022, Region Syddanmark.
- CRSI Concrete Reinforcing Steel Institute (2018): Cost Comparison of Cross Laminated Timber (CLT) and Cast-in-place Reinforced Concrete Structures, CRSI Technical Note ETND- 5-18, Schaumburg, Illinois, 4 pp.
- Danmarks Naturfredningsforening (2020): CO2 truer livet i havet. *Danmarks Naturfredningsforening*. Tilgængelig via: <https://www.dn.dk/vi-arbejder-for/vand/hav/c02-truer-livet-i-havet/>
- Danmarks Statistik (2021a): Nyt fra Danmarks Statistik - Råstofindvinding på land 2020 Nr. 231
- Danmarks Statistik (2021b): Stigende indvinding af råstoffer på land. Råstofindvinding på land 2020. Geografi, miljø og energi. Nyt fra Danmarks Statistik, 17. Juni 2021 – Nr. 231. Tilgængelig via: <https://www.dst.dk/Site/Dst/Udgivelser/nyt/GetPdf.aspx?cid=32764>
- Danmarks Statistik (2022): Lille stigning i indvindingen af råstoffer på land. Nyt fra Danmarks Statistik, 20. Juni 2022 – Nr. 221. Tilgængelig via: <https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=39638>
- Dansk Beton (2019): Halvering Af CO₂ -Udledningen Fra Betonbyggeri - Roadmap Mod 2030: https://www.innobyg.dk/media/75953/bbi_191104.pdf
- Danske Regioner (2012): Råstofudvinding - Vejledning om råstofudvinding og behandling
- Danske Regioner (2013): Grønbog om muligheder og begrænsninger for øget anvendelse af sømaterialer som supplement til landbaseret råstofindvinding. Videncenter for Jordforurening.
- Danske Regioner (2017): Råstoffer – Er der behov for en national strategi? Videncenter for miljø og ressourcer, 6. juni 2017
- Danske Regioner (2018): Råstoffer – En regional opgave.
- Danske Regioner (2020a): EN FORHØJELSE AF RÅSTOFAFGIFTEN I DANMARK - Samfundsøkonomisk analyse. Videncenter for miljø og ressourcer. Tilgængelig via: https://www.miljoegressourcer.dk/media/materialer/48/Samfunds_ekonomiskAnalyse_26JUN2020_005_.pdf
- Danske Regioner (2020b): Efterbehandling af råstofgrave, Regionernes arbejde med råstofområdet. Videncenter for miljø og ressourcer.
- De Økonomiske Råd (2020): Økonomi og Miljø 2020: Dansk klimapolitik frem mod 2020. Rapport fra formandskabet.
- Dewerd, M. & Mertens, M. (2020): FCRBE - A guide for identifying the reuse potential of construction products. Interreg – North-West Europe
- Dobson, S. (2015): Rammed earth in the modern world. *Keynote paper* i Ciancio, D. & Beckett, C. (2015): Rammed Earth Constructions – Cutting Edge Research on Traditional and Modern Rammed Earth, Taylor & Francis Group, London, UK
- Dr.Eng. Tsubakihara, Y., Yamashita, K. (2005): Reuse of existing piles in building reconstruction and its environmental effects. The 2005 World Sustainable Building Conference, Tokyo
- DTU (2022): Transport økonomiske Enhedspriser. Tilgængelig via: <https://www.cta.man.dtu.dk/modelbibliotek/teresa/transportoekonomiske-enhedspriser>
- Egebæk, K., Kaarsberg, S., Bauer, B. & Ekblad, M. (2019): NABOTJEK: Dokumentation for genbrugte byggevarer; Erhvervsstyrelsen. Tilgængelig via: https://erhvervsstyrelsen.dk/sites/default/files/2020-05/NABOTJEK%20-%20Dokumentation%20for%20genbrugte%20byggevarer_samlet.pdf
- Energistyrelsen (2022): Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger for energipriser og emissioner
- EPD Danmark & BUILD (2021): Hvad er en miljøvaredeklaration (EPD) - og hvor får jeg fat i den? – For byggevarer og anlægsprodukter, Guide #2 Til dig, der skal indhente EPD'er i forbindelse med et byggeprojekt, Teknologisk Institut
- Epddanmark.dk: Verificeret dokumentation for byggevarers miljømæssige egenskaber. Tilgængelig via: <https://www.epddanmark.dk/om-epd-er/hvad-er-en-epd/>
- ERDEN (2022): Die älteste Art zu bauen. Ganz neu. Besøgt august 2022: <https://www.erden.at>

- Eriksen, J, Thomsen, IK, Hoffmann, CC, Hasler, B, Jacobsen, BH, Baattrup-Pedersen, A, Strandberg, B, Christensen, BT, Boelt, B, Iversen, BV, Kronvang, B, Børgesen, CD, Abolos Rodriguez, D, Zak, DH, Hansen, EM, Blicher-Mathiesen, G, Rubæk, GH, Ørum, JE, Rasmussen, J, Audet, J, Olesen, JE, Elsgaard, L, Munkholm, LJ, Jørgensen, LN, Martinsen, L, Bruus, M, Carstensen, MV, Pedersen, MF, Nørremark, M, Hutchings, N, Gundersen, P, Kudsk, P, Sørensen, P, Lærke, PE, Gislum, R, van't Veen, SGM, Larsen, SE, Petersen, SO, Riis, T & Jørgensen, U (2020), Virkemidler til reduktion af kvælstofbelastningen af vandmiljøet. DCA rapport, nr. 174, bind 174, Aarhus Universitet - DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus. <https://dcapub.au.dk/djfpdf/DCArapport174.pdf>
- European Commission (2015): Closing the loop - An EU action plan for the circular Economy, COM, 614, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>
- European Commission, Joint Research Centre (2021): Level(s) indicator 2.3: Design for adaptability and renovation, User manual version 1.1. Tilgængelig via: https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/sites/default/files/2021-01/UM3_Indicator_2.3_v1.1_23pp.pdf
- Fabriksbetonforeningen (2021): 3. Parts verificeret EPD [for beton]. EPD Danmark. Tilgængelig via: https://www.epddanmark.dk/media/c3alzank/md-20012-da_rev1-dansk-beton-fabriksbetonforeningen.pdf
- Finansministeriet (2017): Vejledning i samfundsøkonomiske konsekvensvurderinger.
- Finansministeriet (2021a): Nøgletalskatalog. Notat, 8. januar 2021. Tilgængelig via: https://fm.dk/media/18372/noegletalskatalog_januar-2021.pdf
- Finansministeriet (2021b): Dokumentationsnotat - den samfundsøkonomiske diskonteringsrente. 7. januar 2021. Tilgængelig via: https://fm.dk/media/18371/dokumentationsnotat-for-den-samfundsøkonomiske-diskonteringsrente_7-januar-2021.pdf
- Gamle Mursten Aps (2017): 3. Parts verificeret EPD [for brugte mursten]. EPD Danmark. Tilgængelig via: http://gamlemursten.dk/media/1589/final-epd_md-16007-da.pdf
- Hasler, B., Lundhede, T., Martinsen, L., Neye, S. & Schou, J. S. (2005): Valuation of groundwater protection versus water treatment in Denmark by Choice Experiments and Contingent Valuation.
- Heinrich, M. & Lang, W. (2019): Materials passports – best practice: Innovative solutions for a transition to a circular economy in the built environment. Technische Universität München, in association with BAMB
- Hjort, M.V. (2016): Undersøgelse af omkostningerne ved transport af råstoffer. I: Miljø og Ressourcer nr. 4, 2016. Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer
- Hofmeister, T. B., Kristjansdottir, T., Time, B. and Wiberg, A. H. (2015): Life Cycle GHG Emissions from a Wooden Load-Bearing Alternative for ZEB Office Concept. The Research Centre on Zero Emission Buildings. ZEB Project report no 20. https://issuu.com/realdania.dk/docs/fremsynsnotat_-_beton_i_byggeriet
- Icbaci, L. (2019): Re-use of Building Products in the Netherlands - The development of a metabolism-based assessment approach. Delft University of Technology
- Jacobsen, J. B., Thorsen, B. J., Halfdan Boiesen, J., Anthon, S. & Tranberg, J. (2006): Værdisætning af syv mulige nationalparker i Danmark. Arbejdsrapport / Skov & Landskab, no. 28-2006, Center for Skov, Landskab og Planlægning/Københavns Universitet.
- Jacobsen, J.B. & Thorsen, B.J. (2010): Preferences for site and environmental functions when selecting forthcoming national parks. Ecol. Econ. 69: 1532–1544. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.02.013>
- Jacobsen, J.B., Lundhede, T. & Thorsen, B.J. (2008): 'Hvad er bedre vilkår for dyrelivet værd for befolkningen?', Videnblade Skov og Natur, nr. 9.10-6.
- Jacobsen, J.B., Lundhede, T.H. & Thorsen, B.J. (2012): Valuation of wildlife populations above survival. Biodivers. Conserv. 21: 543–563. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0200-3>
- Jensen, L. B., Negendahl, K., & Karlshøj, J. (2021): Analyse af frivillig ordning for bygnings- og materialepas. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.
- Johannessen, M. og Thorin, T. (2020a): Paradigmeskifte i råstofforvaltningen - Del 1: Hvad er bæredygtig råstofforvaltning? Metabolic, Udarbejdet for Region Syddanmark
- Johannessen, M. og Thorin, T. (2020b): Paradigmeskifte i råstofforvaltningen - Del 2: Hvordan realiseres bæredygtig råstofforvaltning? Metabolic, Udarbejdet for Region Syddanmark
- Jordforureningsloven (2017): Bekendtgørelse af lov om forurenede jord (LBK nr. 282 af 27/03/2017), Miljøministeriet. Tilgængelig via: <https://www.retsinformation.dk/eli/lt/2017/282>
- Jørgensen, E. B., Tozan, B., Sørensen, C. G., & Birgisdottir, H. (2021): Tilgængelighed og betydning af EPD'er: En analyse der bygger på tilgængeligheden af specifikke miljødata repræsentativt for det danske marked og indflydelsen af disse på LCA-resultater. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet.
- Klimarådet (2020): Kendte veje og nye spor til 70 procents reduktion. Retning og tiltag for de næste ti års klimaindsats i Danmark.
- Koch, Michael, direktør for Træinformation, 2022: Personligt interview.
- Laguarda-Mallo, M. & Espinoza, O. (2016): Cross-laminated timber vs. Concrete/Steel: Cost comparison using a case study.
- Larsen, G., Greve, C., Sulsbrück, C. (2019): Regionerne og den fremtidige råstoffressource. I: Miljø og Ressourcer nr. 4, 2016. Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer
- Lauritzen Advising & Pelcon (2020): Genanvendelse af beton – Erfaringer fra nedrivning af skorsten, HOFOR Amagerværket, og genanvendelse af knust beton som tilslag i ny beton til opførelse af Sydhavn Genbrugscenter i Valby. Københavns Kommune, Amager Ressource Center
- Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (2022): Korrespondance med Björn Berchtel, Office Management, 9 august 2022.
- Lundhede, T. og Pedersen, M. F. (2021): 'Kompensation for træ- og skovbevoksede arealer', 7 p., IFRO Udredning, no. 2021/15.

- Lundhede, T., Hasler, B. & Bille, T. (2005): Værdisætning af naturgenopretning og bevarelse af fortidsminder i Store Åmose i Vestsjælland. København.
- Madsen P., Nielsen A. T., Hilbert P., Madsen E. M. (2019): Klimaskoven – et effektivt redskab til håndtering af CO2-problemet. Forlaget Esben Møller Madsen.
- Miljøministeriet (2021): Handlingsplan for cirkulær økonomi – National plan for forebyggelse og håndtering af affald 2020-2032. Juli 2021, Miljøministeriet. Tilgængelig via: https://mim.dk/media/222902/handlingsplan-for-cirkulaer-oekonomi_0607211338.pdf
- Miljøstyrelsen -og Fødevarerministeriet (2018): Genbrug af Mursten, Miljøprojekt nr. 2002. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93710-01-6.pdf>
- Miljøstyrelsen (2015): Udredning af teknologiske muligheder for at genbruge og genanvende beton, Miljøprojekt nr. 1667, 2015. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2015/04/978-87-93352-03-2.pdf>
- Miljøstyrelsen (2016): Samfundsøkonomisk analyse af genbrug af mursten. Miljøprojekt nr. 1904, 2016. Redaktion: J.Jordal-Jørgensen, J.K. Pedersen. Miljøministeriet. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/11/978-87-93529-42-7.pdf>
- Miljøstyrelsen (2018a): Genanvendelse af knust beton i nye betonkonstruktioner. MUDP-Rapport, august 2018. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/08/978-87-93710-69-6.pdf>
- Miljøstyrelsen (2018b): Ressourcekortlægning af bygninger. Miljøprojekt nr. 2006, april 2018. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/04/978-87-93710-05-4.pdf>
- Miljøstyrelsen (2019): Ressourceoptimering i genanvendelse af teglaffald. MUDP-rapport, april 2019. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/04/978-87-7038-060-7.pdf>
- Miljøstyrelsen (2020): Affaldsstatistik 2019. Miljøprojekt nr. 2152, december 2020. Tilgængelig via: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/12/978-87-7038-249-6.pdf>
- Miljøstyrelsen (2022): Selektiv nedrivning i byggebranchen. Samfundsøkonomisk konsekvensanalyse. Miljøprojekt 2186. ISBN: 978-87-7038-354-7
- Miljøvurderingsloven (2021): Bekendtgørelse af lov om miljøvurdering af planer og programmer og af konkrete projekter (VVM) (LBK nr 1976 af 27/10/2021): <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2021/1976>
- Monier, V., Mudgal, S., Hestin, M., Trarieux, M., & Mimid, S. (2011): Service contract on management of construction and Demolition Waste–SR1. European Commission (DG ENV), Paris, France
- NIRAS (2015): Naturstyrelsen – Erhvervsøkonomisk analyse af råstofindvinding i Øresund. Oktober 2015, Projekt nr. 221426 Dokument nr. 1217200373 Version 19. Projektet er udarbejdet for Naturstyrelsen. Tilgængelig via: https://mst.dk/media/118540/erhvervsøkonomisk_analyse_raastofindvinding_oeresund.pdf
- NIRAS (2020): Miljøkonsekvensrapport for 28 Søgård, Kliplev. Projekt ID: 10408803
- NIRAS (2022): Miljøkonsekvensrapport Rom Grusgrav. Projekt ID: 10411427
- ORBICON (2018): Screening af råstofpriser i Danmark og nabolande. Udarbejdet af Danielsen, M. & Christensen, S. B. for Danske Regioner, Videnscenter for Miljø og Ressourcer. Tilgængelig via: https://www.miljoegressourcer.dk/media/materialer/31/Screening_af_r_stofpriser_i_Danmark_og_nabolande.pdf
- ORBICON (2019): Miljøkonsekvensrapport - Vedr. råstofindvinding ved Jerlev – matr. nr. 10o Jerlev By, Jerlev, 3a og 3b Høllund By, Ødsted. Projektnummer 1321800218.
- ORBICON & WSP (2020): Miljøkonsekvensrapport - Vedr. råstofindvinding ved Uge – dele af matr. nr. 82 og 208 Uge Ejerlav og dele af matr. 253 og 368 Røllum, Ensted. Projektnummer 1342000021
- Pedersen, C. D., Dyck-Madsen, S. & Jarby, C. (2021): Anvendelse af beton i byggeriet – Fremsynsnotat. En del af projektet: Bygninger og Grøn Omstilling. Concito, Rådet for Grøn Omstilling, November, 2021.
- Pedersen, L. G. (2017): Recycle of Concrete Aggregates – Processing Procedures of Recycled Aggregates [MSc Thesis]. DTU Civil Engineering.
- Rambøll (2020a): Cirkulær økonomi i byggeriet - Analyse af potentialer ved øget genbrug og genanvendelse af byggeaffald. Rambøll.
- Rambøll (2020b): CO2-besparelse ved træbyggeri Sammenligningsstudie af træbyggeri og konventionelt byggeri. Tilgængelig på https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2020/09/baggrundsrapport_juni2020.pdf
- Randers Tegl A/S (2018): 3. Parts verificeret EPD [for mursten]. EPD Danmark. Tilgængelig på https://www.epddanmark.dk/media/cdjkkjtr/md-14003-en_rev1-hammersh%c3%b8j-teglv%c3%a6rk.pdf
- Randers Tegl A/S (2021): Miljøkonsekvensrapport - Belysning af de miljømæssige konsekvenser ved gennemførelse af ansøgning om indvinding af rødder ved Holbæk, Norddjurs Kommune.
- Rasmussen, T. V., Rasmussen, B., Andersen, H. V., Birgisdottir, H., Nielsen, J., Jermiin, L., Harrestrup, M., Hansen, T. K. & Buch- Hansen, T. (2020): Anvendelse af træ i byggeriet Potentialer og barrierer, BUILD Rapport 2020:25
- Region Hovedstaden (2021): Tilladelse til erhvervmæssig råstofindvinding i Kyndbyvej Grusgrav. Journal-nr.: 08005790
- Region Sjælland (2022): Afgørelse om tilladelse til indvinding af råstoffer og VVM-screening af det ansøgte, Lille Mussevej, 4880 Nysted. Sagsnummer EMN-2021-11400
- Region Syddanmark (2021a): Råstofplan 2020 for Region Syddanmark. Tilgængelig via: <https://regionsyddanmark.dk/klima-og-miljo/rastoffer/rastofplan-2020>
- Region Syddanmark (2021b): Tilladelse til erhvervmæssig råstofindvinding af sand grus og sten gældende til den 01.04 2031 på del af matr.nr. 82 og 208 Uge Ejerlav, Uge i Aabenraa Kommune. Sagsnr.: 19/51426
- Region Syddanmark (2021c): Afgørelse om, at ansøgning om tilladelse til erhvervmæssig rå- stofindvinding på matr.nr. 52 Grøngrøft, Felsted i Aabenraa Kommune ikke er omfattet af krav om miljøvurdering. Journalnr.: 20/57396
- Region Syddanmark (2021d): Afgørelse om at ansøgning om tilladelse til erhvervmæssig rå- stofindvinding på del af matr.nr. 4a Fjelsted By, Fjelsted i Middelfart Kommune ikke er omfattet af krav om miljøvurdering. Journal nr.: 20/63825

- Råstofloven (2017): Bekendtgørelse af lov om råstoffer (LBK nr 124 af 26/01/2017). Tilgængelig via: <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2017/124>
- Safiuddin, m. et al. (2012): Use of recycled concrete aggregate in concrete: A review. *Journal of Civil Engineering and Management* 19(6): 796–810.
- Sandahl, M. W. (2021): Genbrug af materialer er også aktuelt ved renovering. *Bygge- & Anlægsavisen*, 15.12.2021. Tilgængelig via: <https://bygge-anlaegsavisen.dk/Genbrug-af-materialer-er-ogsaa-aktuelt-ved-renovering>
- Schaik, C.W.V. (2019): Circular building foundations - A structural exploration of the possibilities for making building foundations contribute to a circular economy (Masters Thesis). *Civil Engineering and Geosciences*, Delft University of Technology, Holland
- Schou, J. S., Lundhede, T., Olsen, S. B., & Callesen, G. E. (2019). Samfundsøkonomisk cost-benefit-analyse af de forventede effekter af multifunktionel jordfordeling ved Glenstrup Sø. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Rapport Nr. 292
- SKAT (2022): E.A.7.4.3 Råstoffer omfattet af reglerne. Tilgængelig via: <https://skat.dk/data.aspx?oid=1921386>
- Skoven i Skolen og Udeskole.dk u.å.: Vedegenskaber. Besøgt august 2020, <https://www.skoven-i-skolen.dk/content/vedegenskaber#1>
- Smith, K. H., Andersen, S. C. & Astrup, T. F. (2019): Analyse af bygnings- og materialepas. Teknologisk Institut for Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, Opgavenr.: 873544 Versionsnr.: 1
- Sten, ler og grus, Industriens Branchearbejdsmiljøråd.
- Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. (2005): Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA, *Miljønyt*. Nr. 77 2005
- SWECO & Freiberg Gruppen (2021): Miljøkonsekvensrapport Freiberg grusgrave a/s - Miljøvurdering af Uge Grusgrav. Projektnummer 60.3118.01
- Swedish Wood (2019): The CLT Handbook.
- Sørensen, S. Y., Olesen, L. B., Dall, P. Ø., Hartung, M., Larsen, K. N. (2019a): Materialer I den cirkulære økonomi: Tegl, Teknologisk Institut, Cirkulær Ressource Økonomi i Dansk Byggeri
- Sørensen, S. Y., Olesen, L. B., Dall, P. Ø., Hartung, M., Larsen, K. N. (2019b): Materialer I den cirkulære økonomi: Beton. Teknologisk Institut, Cirkulær Ressource Økonomi i Dansk Byggeri
- Thormark, C. (2000): Environmental analysis of a building with reused building materials. Lund Institute of Technology, Department of Building Science, Sweden.
- Trafik- og byggestyrelse (2015): Barrierer og muligheder for genbrug af mursten
- Transportministeriet (2022): Transportøkonomiske enhedspriser. Besøgt august 2022: <https://www.cta.man.dtu.dk/modelbibliotek/teresa/transportoekonomiske-enhedspriser>
- Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien (2021): 3. Parts verificeret EPD [for CLT]. EPD Danmark. Tilgængelig på https://www.epddanmark.dk/media/tmwhxyym/md-20007-en_rev1_tr%C3%A6dk.pdf
- Uggeldahl, K. C. & Olsen, S. B. (2019): Public preferences for co-benefits of riparian buffer strips in Denmark: An economic valuation study, *Journal of Environmental Management*, bind 239, s. 342-351. Tilgængelig via: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.078>
- United States Environmental Protection Agency (2017): The State of the Practice of Construction and Demolition Material Recovery. EPA/600/R-17/231, May 2017, <https://www.epa.gov/research>
- Vadstrup, S. (2012): Genbrug og genoplægning af gamle tagsten. Center for Bygningsbevaring i Raadvad – Anvisninger til bygningsbevaring
- Van Oers, L., Guinée, J. B., & Heijungs, R. (2020). Abiotic resource depletion potentials (ADPs) for elements revisited—updating ultimate reserve estimates and introducing time series for production data. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(2), 294-308.
- VandCenter Syd u.å.: Pris for det vand, du bruger. Besøgt august 2022: <https://www.vandcenter.dk/priser/forbrugspriser>
- Vandkunsten og Det Kongelige Akademi (2019): Byggeriets materialepyramide. Tilgængelig via www.materialepyramiden.dk
- Vejdirektoratet (2012): Livscyklusvurdering af Kalkstabilisering af Motorvejsstrækninger - Med fokus på potentielle klimapåvirkninger og ressourceforbrug. Rapport 426 - 2012
- Vejdirektoratet (u.å.): Samlet forventet råstofforbrug af kendte projekter i Region Midtjylland til statsvejprojekter og andre større projekter. Tilgængelig på <http://77.233.253.221/pdfs/rm/402.pdf>
- Villumsen, B., Jespersen, K., Andersen, C., Møller, K., Thomsen, N. I., Jensen, M. L. (2019): Fordele og ulemper ved råstofudgravning, Leder. I: *Miljø og Ressourcer* nr. 4, 2019. Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer
- VTT, Technalia & Risk and Policy Analysis (RPA) (2016): Technical and Economic Study with regard to the Development of Specific Tools and/or Guidelines for Assessment of Construction and Demolition Waste Streams prior to Demolition or Renovation of Buildings and Infrastructures, DG GROW
- WSP (2021): Vognmandsfirmaet Gert Svith a/s - Miljøkonsekvensrapport - Råstofindvinding i Tirstrup – Tirstrup øst. Projektnummer.: 1322100001
- Zandersen, M., Abay, A. T. & Termansen, M. (2020): Forslag til forbedring af Miljø- og Fødevarerministeriets nøgletal for den rekreative værdi af natur. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, nr. 378, Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.
- Zandersen, M., Olsen, S.B., Martinsen, L., Panduro, T.E., Zemo, K.H. & Hasler B. (2022). Samfundsøkonomiske gevinster ved forbedret vandkvalitet. Udvikling og anvendelse af metaanalysefunktion til benefit transfer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 63 s. - Videnskabelig rapport nr. 486. <http://dce2.au.dk/pub/SR486.pdf>

- Zhou, K., Chen, H., Wang, Y., Lam, D., Ajayebi, A., & Hopkinson, P. (2020): Developing advanced techniques to reclaim existing end of service life (EoSL) bricks – An assessment of reuse technical viability. *Developments in the Built Environment*, 2 (2020)
- Ökobaudat (2018a): Process Data set: Rammed earth wall; 2000 kg/m³ (en) en de. Tilgængelig via: https://www.oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuiid=59622fc0-d719-43bf-a16b-ae924ae0d276&stock=OBD_2019_III&lang=en
- Ökobaudat (2018b): Process Data set: Sand 0/2; grain size 0/2, undried (en) en de. Tilgængelig via: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuiid=61655387-edd4-4800-ba3e-67bc15f2f096&version=20.19.120&stock=OBD_2021_II&lang=en
- Ökobaudat (2018c): Process Data set: Light-weight sand expanded clay; grain size 0/4 (en) en de. Tilgængelig via: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuiid=3749834e-307f-4cb2-b903-4ef4bd463446&version=20.20.020&stock=OBD_2021_II&lang=en
- Ökobaudat (2018d): Process Data set: Gravel (Grain size 2/32); wet, Grain size 2/32 (en) en de. Tilgængeligt via: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuiid=3ce61a4e-4d91-4b1d-b675-276be05b9225&version=20.19.120&stock=OBD_2021_II&lang=en
- Ökobaudat (2018e): Process Data set: Crushed stone 0/2 (dried); dried (en) en de. Tilgængeligt via: https://oekobaudat.de/OEKOBAU.DAT/datasetdetail/process.xhtml?uuiid=230cd2c6-0b79-461b-b51a-d092e66843ca&version=20.19.120&stock=OBD_2021_II&lang=en

7.1 Billedhenvisninger

- Forsidebilledet: Foto af Paula. Tilgængeligt på Pexels under Creative Commons
- Figur 1; Den tilnærmede fremskrivning af det forventede råstofforbrug for Region Syddanmark. Kilde: Region Syddanmark (2021a)
- Figur 2; Mjølstårnet: Foto af Øyvind Holmstad. Tilgængeligt på Wikipedia under Creative Commons (CC BY-SA 4.0).
- Figur 3; Bindingsværkshus fra Odense: Foto af Kåre Thor Olsen. Tilgængeligt på Wikipedia under Creative Commons (CC BY-SA 3.0).
- Figur 4: Klimabesparelserne per kubikmeter substitueret byggemateriale. Egen model. Kilder: Gamle Mursten ApS (2017), Randers Tegl A/S (2018), Fabrik betonforeningen (2021), Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien (2021), Ökobaudat (2018a).

7.2 Tabeloversigt

- Tabel 1: Råstofindvinding på land fordelt på råstofftyper: Kilde Danmarks Statistik (2021b).
- Tabel 2: Indvinding af råstoffer i Region Syddanmark og hele landet fordelt på anvendelsesområde. Kilde: Danmarks Statistik (2021b)
- Tabel 3: Typologisering og beskrivelse af opgjorte konsekvenser af råstofindvinding. Kilder: NIRAS (2020), NIRAS (2022), Region Hovedstaden (2021), ORBICON (2019), ORBICON & WSP (2020), WSP (2021), Region Syddanmark (2021b), Region Syddanmark (2021c), Region Syddanmark (2021d), SWECO & Freiberg Gruppen (2021), Randers Tegl A/S (2021).
- Tabel 4: Byggefaserne fra cradle to grave. Egen model baseret på Birgisdottir & Rasmussen (2015).
- Tabel 5: Nøgletal for emissionerne forbundet med produktionen af 1m³ af hvert enkelt af de respektive byggematerialer. Egen model. Kilder: Gamle Mursten ApS (2017), Randers Tegl A/S (2018), Fabrik betonforeningen (2021), Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien (2021), Ökobaudat (2018a).
- Tabel 6: De samlede reduktionspotentialer ved brugen af alternative byggematerialer, set ift. bæreevne og volumen. Egne beregninger. Kilder: Gamle Mursten ApS (2017), Randers Tegl A/S (2018), Fabrik betonforeningen (2021), Træ.dk c/o Træ- og Møbelindustrien (2021), Ökobaudat (2018a).
- Tabel 7: Emissioner og reduktionspotentialer relateret til råstofindvinding fra Region Syddanmark 2020. Egen model. Kilder: Danmarks Statistik (2021b), Ökobaudat (2018b), Ökobaudat (2018c), Ökobaudat (2018d), Ökobaudat (2018e).
- Tabel 8: Effektskema for råstofindvinding med beskrivelse af mulighed for værdisætning. Egen model. Kilder: Lundhede et al. (2005), Transportministeriet (2022), Christensen (2019), Hasler et al. (2005), Jacobsen et al. (2008), Schou et al. (2019), Zandersen et al. (2022), Jacobsen et al. (2006), Uggeldahl & Olsen (2019), VandCenter Syd (u.å.), Lundhede & Pedersen (2021), Eriksen et al. (2020), De Økonomiske Råd (2020), Klimarådet (2020), samt Tabel 3 og dertilhørende kilder.
- Tabel 9-14: Beregnede omkostninger, gevinster og nettogevinster. Egne beregninger. Kilder: Finansministeriet (2017), Lehm Ton Erde Baukunst GmbH (2022), Miljøstyrelsen (2016), Miljøstyrelsen (2022), CRSI (2018), NIRAS (2015), Orbicon (2018), Andersson (2019), samt Tabel 3 & 8 og dertilhørende kilder.
- Tabel 15: Samlet oversigt over nettogevinsterne (B-C) ved alternativerne, to niveauer for CO₂ omkostningerne. Egne beregninger, opsamling af Tabel 9-14.