Handlemuligheder for at reducere byggeriets råstofforbrug

En del af projektet « Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer »

Dokumentdistribution

Handlemuligheder for at reducere byggeriets råstofforbrug

En del af projektet « Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer »

Afrapportering af arbejdspakke 3.

28-09-2026

Projektnr. 22006472

Udarbejdet af

Katrine Hauge Smith og Julie Katrine Jensen
WSP Danmark A/S

Kvalitetssikret af

Julie Katrine Jensen, WSP Danmark A/S

Projektpartner:

TEKNOLOGISK INSTITUT

Indholdsfortegnelse

Opsummering **7**

1. Indledning **11**

1.1 Baggrund og formål 11

2. Samlet oversigt over handlemuligheder **12**

2.1 Reduktion af råstoffer i byggeri og anlæg 12
2.2 Handlemuligheder til at reducere råstofforbrug i byggeri 12
2.3 Handlemuligheder til at reducere råstofforbrug i anlæg 13

3. Aktører **14**

3.1 Aktører i byggeriet 14
3.2 Aktører i anlægssektoren 15

4. Reduktion af forbrug af råstoffer ved dimensionering af byggematerialer **17**

4.1 Introduktion 17
4.2 Udvalgte cases 17
4.2.1 Case om dialoggrundlag for designoptimering 17
4.2.2 Case om designoptimering af betonkonstruktioner 17
4.2.3 Case om brug af hullede mursten 18
4.2.4 Case om MiniCO_2 etagehuse 19
4.3 Potentialer 19
4.3.1 Potentielle råstofbesparelser 19
4.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 21
4.4 Barrierer 21
4.5 Næste skridt 22
4.6 Potentiale og Parathed 23
4.7 Tidsperspektiv 24

5. Reduktion af materialeforbrug i byggeprocessen **25**

5.1 Introduktion 25
5.2 Udvalgte cases 25
5.2.1 Case om årsager til materialespild på byggepladsen 25
5.2.2 Case om affald fra byggepladser 26
5.2.3 Cases om teknologier til at måle affaldssortering 27
5.3 Potentialer 27
5.3.1 Potentielle råstofbesparelser 27
5.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 28

5.4 Barrierer 29
5.5 Næste skridt 29
5.6 Potentiale og Parathed 30
5.7 Tidsperspektiv 32

6. Reduktion af materialeforbrug ved ny teknologi/metoder 33

6.1 Introduktion 33
6.2 Udvalgte cases 33
6.2.1 Case om skrue-fundering 33
6.2.2 Case om 3D-betonprint 34
6.2.3 Udvalgte cases med 3D-printet beton anvendt i praksis 35
6.2.4 Case om modulbyggeri 35
6.3 Potentialer 36
6.3.1 Potentielle råstofbesparelser 36
6.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 36
6.4 Barrierer 37
6.5 Næste skridt 38
6.6 Potentiale og parathed 39
6.7 Tidsperspektiv 40

7. Biogene materialer som byggemateriale 41

7.1 Introduktion 41
7.2 Udvalgte cases 41
7.2.1 Case-samling med biogent byggeri 41
7.2.2 Case om fremme af fleretagers træbyggeri 41
7.2.3 Case om MiniCO_2 Etagehus i træ i Fredericia 42
7.2.4 Case om TRÆ – 20 etagers kontorhus i Danmark 42
7.2.5 Case om Mjøstårnet, Brumunddal i Norge 42
7.2.6 Case om Veje til biobaseret byggeri 43
7.3 Potentialer 43
7.3.1 Potentielle råstofbesparelser 43
7.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 44
7.4 Barrierer 45
7.5 Næste skridt 46
7.6 Potentiale og parathed 47
7.7 Tidsperspektiv 48

8. Genbrug og genanvendelse af byggeaffald til nye byggematerialer 49

8.1 Introduktion 49
8.2 Udvalgte cases 49
8.2.1 Cases om genbrug af beton 49
8.2.2 Cases om genanvendelse af beton som tilslag i ny beton 50
8.2.3 Case om genbrug af tegl 50

8.2.4 Case om genanvendelse af tegl og mørtel i nye byggesten 51
8.3 Potentialer 52
8.3.1 Potentielle råstofbesparelser 52
8.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 52
8.4 Barrierer 52
8.5 Næste skridt 53
8.6 Potentiale og parathed 54
8.7 Tidsperspektiv 56

9. Overskudsjord som byggematerialer 57
9.1 Introduktion 57
9.2 Udvalgte cases 57
9.2.1 Case om Leralliancen 57
9.2.2 Case om Partnerskab for bæredygtigt byggeri 58
9.2.3 Cases med lerjord i konkrete byggerier 58
9.3 Potentialer 59
9.3.1 Potentielle råstofbesparelser 59
9.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 60
9.4 Barrierer 60
9.5 Næste skridt 61
9.6 Potentiale og parathed 62
9.7 Tidsperspektiv 64

10. Byggeri på færre m^2 og mindre enheder 65
10.1 Introduktion 65
10.2 Udvalgte cases 65
10.2.1 Case om udvikling i boligstørrelse 65
10.2.2 Case om reduktion af bebyggelsesprocenten for enfamiliehuse 66
10.2.3 Case om mikroboliger (tiny houses) 67
10.3 Potentialer 68
10.3.1 Potentielle råstofbesparelser 68
10.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 70
10.4 Barrierer 70
10.5 Næste skridt 71
10.6 Potentiale og parathed 72
10.7 Tidsperspektiv 73

11. Fleksible bygninger og delebygninger 74
11.1 Introduktion 74
11.2 Udvalgte cases 74
11.2.1 Case om Ellen MacArthur Foundation 74
11.2.2 Case om målbar fleksibilitet 74
11.2.3 Case om nye boliger i gamle bygninger 75

11.2.4 Case om Delhus 76
11.2.5 Case om indretning af tagboliger 77
11.2.6 Cases om delegårde 78
11.2.7 Shared use bygninger 78
11.3 Potentialer 79
11.3.1 Potentielle råstofbesparelser 79
11.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 79
11.4 Barrierer 80
11.5 Næste skridt 81
11.6 Potentiale og parathed 82
11.7 Tidsperspektiv 83

12. Mere renovering 84
12.1 Introduktion 84
12.2 Udvalgte cases 84
12.2.1 Cases om renoveringer 84
12.2.2 Cases om 'bevar eller forklar' 85
12.2.3 Case om renovering af enfamliehuse 87
12.3 Potentialer 88
12.3.1 Potentielle råstofbesparelser 88
12.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter 89
12.4 Barrierer 89
12.5 Næste skridt 90
12.6 Potentiale og parathed 91
12.7 Tidsperspektiv 93

13. Reducer forbruget af råstoffer i anlægsarbejder 94
13.1 Introduktion 94
13.2 Udvalgte cases 94
13.2.1 Reduktion af råstofforbrug i belægninger 95
13.2.1 Lokal genindbygning af jord 95
13.2.2 Kalkstabilisering af jord 96
13.2.3 Jordvask 96
13.2.4 Nyttiggørelse af jord 97
13.2.5 Brug af overskudsmaterialer som knust beton, knust asfalt 98
13.3 Potentiale 99
13.4 Næste skridt 99

Referencer 101

Opsummering

Danmark har mineralske råstoffer tilgængelige i en vis mængde på nationalt plan. Da der er tale om ufornybare ressourcer er det væsentligt at værne om de mineralske råstoffer der er, selvom der fortsat vil være brug for at indvinde råstoffer.

Denne rapport gennemgår en beskrivelse af ti identificerede handlemuligheder, der kan reducere råstoftrækket.

Fokus i rapporten er på reduktion af råstoffer i byggeriet, og der er beskrevet ni handlemuligheder indenfor byggeriet fordelt på tre temaer: Undgå Overforbrug, Brug Alternativer og Byg Mindre. Herudover er der beskrevet en handlemulighed med titlen ”reducer forbruget af råstoffer i anlægsarbejder”. Anlægssektoren har klart det største råstoftræk i Danmark og ved at mindske forbruget af råstoffer i anlægssektoren vil der frigives råstoffer, som kan bruges i byggeriet.

Det er en væsentlig pointe fra projektet, at byggeri og anlæg anvender de samme råstoffer og på den måde er de to sektorer afhængige af hinanden. En reduktion af råstoftrækket i anlægssektoren vil gavne byggeriet og omvendt. Da handlemuligheden for anlægssektoren er beskrevet mere overordnet anbefales det, at der arbejdes videre med dette emne for fx at opstille egentlige handlemuligheder for anlægssektoren fordelt på de samme tre temaer, som er udpeget for byggeriet.

En anden væsentlig pointe fra projektet er, at brug af råstoffer og brug af arealer er to tæt forbundne dagsordener. Arealanvendelse er en central parameter i diskussionen om både mangel på råstoffer og brug af råstoffer. Det gælder både på et overordnet, nationalt niveau, hvor råstoffer, der skal anvendes i byggeriet, vil optage et vist areal, men også på lokalt niveau ift. byudvikling og infrastruktur, herunder også mængden af befæstede arealer. Derudover er selve byggeriets arealanvendelse et vigtigt emne, hvor udnyttelsen af byggeriets m^2 står centralt. Arealanvendelsernes betydning bør undersøges nærmere.

De ti handlemuligheder er beskrevet overordnet i nedenstående tabel. De ni handlemuligheder for byggeriet er gennemgået hver for sig i rapporten i forhold til at beskrive status for handlemuligheden, potentialer, barrierer og næste skridt. For hver af de ni handlemuligheder er der til sidst lavet en vurdering af potentialer og parathed samt givet et bud på et tidsperspektiv for implementering af handlemuligheden. For den 10. handlemulighed om anlæg er der beskrevet en status for handlemuligheden via en række cases, og der er givet et overordnet bud på næste skridt.

Tabel 0.1 Opsummering af de ti handlemuligheder.

Tema	Handlemulighed	Beskrivelse
Undgå Overforbrug	1. Reduktion af forbrug af råstoffer ved produktion af byggemateriale	Råstof- og materialeforbruget kan reduceres markant gennem bedre dimensionering og designoptimering af beton og tegl. Potentialet er stort, men kræver mere tidlig projektering og detaljerede beregninger

Tema	Handlemulighed	Beskrivelse
Undgå Overforbrug	2. Reduktion af materialeforbrug i bygge-processen	Der er potentiale i at reducere råstofforbruget ved at mindske spild på byggepladsen gennem bedre planlægning, affaldsforebyggelse og færre byggeskader. Gevinsten ligger dog især i andre materialer end mineralske råstoffer, men bidrager samlet til råstofbesparelser.
Undgå Overforbrug	3. Reduktion af materialeforbrug ved ny teknologi	Nye teknologier som 3D-print af beton og anvendelse af skruefundamenter kan reducere råstof- og materialeforbruget betydeligt. Teknologierne har et stort potentiale, men kræver fortsat udvikling.
Brug Alternativer	4. Biogene materialer som byggemateriale	Ved at bygge mere med træ og andre biogene materialer kan forbruget af mineralske råstoffer reduceres væsentligt. Der findes mange demonstrationsprojekter, men udbredelsen begrænses af udfordringer med brand, fugt, akustik og dokumentation.
Brug Alternativer	5. Genbrug og genanvendelse af byggeaffald til nye byggematerialer	Genbrug og genanvendelse af beton og tegl reducerer behovet for nye mineralske råstoffer, men potentialet er begrænset, da mange sekundære materialer allerede anvendes i dag. Særligt direkte genbrug giver store CO_2-gevinster.
Brug Alternativer	6. Overskudsjord som byggemateriale	Overskudsjord kan erstatte jomfruelige råstoffer, fx ved brug af stampet lerjord. Potentialet vurderes stort, men afhænger af jordens kvalitet, tilgængelighed og udvikling af standarder og dokumentation.
Byg Mindre	7. Byggeri på færre m^2 og mindre enheder	Ved at reducere boligarealet pr. person kan der opnås betydelige råstofbesparelser. Tiltaget kræver ændrede boligvaner, planlægningsgreb og bredere samfundsmæssig accept.
Byg Mindre	8. Fleksible bygninger og delebygninger	Fleksible bygninger og deling af arealer kan reducere behovet for nybyggeri over tid. Potentialet er knyttet til bedre udnyttelse af eksisterende bygninger, men kræver kulturændringer og nye organisatoriske løsninger. Fremtidigt er der også et potentiale i at bygge fleksibelt.
Byg Mindre	9. Mere renovering	Øget fokus på renovering frem for nedrivning og nybyggeri kan spare betydelige mængder råstoffer. Der findes mange eksempler, men løsningen kræver ofte mere projekt-specifikke og komplekse byggeprocesser.

Tema	Handlemulighed	Beskrivelse
Anlægssektor	10. Reducer forbruget af råstoffer i anlægsarbejdet	Anlægssektoren har det største samlede råstofforbrug og rummer derfor det største besparelsespotentiale. Selv mindre procentvise reduktioner kan give meget store absolutte besparelser, men området er komplekst og kun overordnet behandlet i projektet. Brug af overskudsjord er særlig relevant at undersøge nærmere.

Næste skridt:

For alle handlemuligheder gælder, at der er identificeret en række barrierer. På tværs af handlemulighederne er de væsentligste barrierer for reduktion af råstofforbrug manglende økonomiske incitamenter og utilstrækkelig regulering. Hertil kommer lav aktørparathed præget af vanetænkning og risikoskyhed.

Der er identificeret en række konkrete handlinger, der kan udføres for at føre handlemulighederne ud i livet. Disse er delt op i handlinger som branchen kan udføre og handlinger, som kræver politisk stillingtagen.

Branchen kan eksempelvis fremme brugen af handlemulighederne ved at udvikle og anvende nye metoder og værktøjer. Videndeling, kompetenceudvikling og samarbejde på tværs af værdikæden er centrale for at reducere usikkerhed og øge aktørparathed.

Politiske tiltag kan skabe klare rammer gennem krav, standarder og incitamenter, der gør reduktion af råstofforbrug til en tydelig prioritet på linje med klimakrav. Justering af regulering samt målrettet økonomisk støtte og afgifter kan understøtte innovation, mindske risiko og accelerere implementering i stor skala.

Potentialer:

Af de ni handlemuligheder der er opstillet for byggeriet, er der ikke en eller to handlemuligheder, der kan udpeges som særligt væsentlige. Alle handlemuligheder har et væsentligt potentiale for at spare råstoffer, men det er i kombinationen af handlemuligheder, at den største effekt nås.

Der er i projektet udført estimater af potentialet for råstofbesparelser. Disse er dog behæftet med store og væsentlige usikkerheder, da de er udført baseret på en række antagelser og med udgangspunkt i enkelte referencer. Råstofbesparelserne i byggeriet er set i forhold til byggeriets forbrug og ikke anlægssektorens forbrug, som er væsentlig større.

Hvis råstofbesparelser i byggeriet sammenlignes med råstofforbruget i anlægssektoren, vil de hurtigt kunne virke ubetydelige. Dertil kommer, at handlemulighederne skal implementeres i det enkelte byggeri, og effekten af råstofbesparelser for den enkelte bygning, synes måske ikke så stor sammenlignet med det samlede råstoftræk. Der er dog ingen anden mulighed end at starte ved det enkelte byggeri for at komme op i skala.

Det skal bemærkes, at handlemuligheder, der reducerer forbruget af mineralske råstoffer, ofte også understøtter en række andre bæredygtighedsparametre. Eksempelvis vil en besparelse på råstoffer også i de fleste tilfælde udløse CO_2 besparelser.

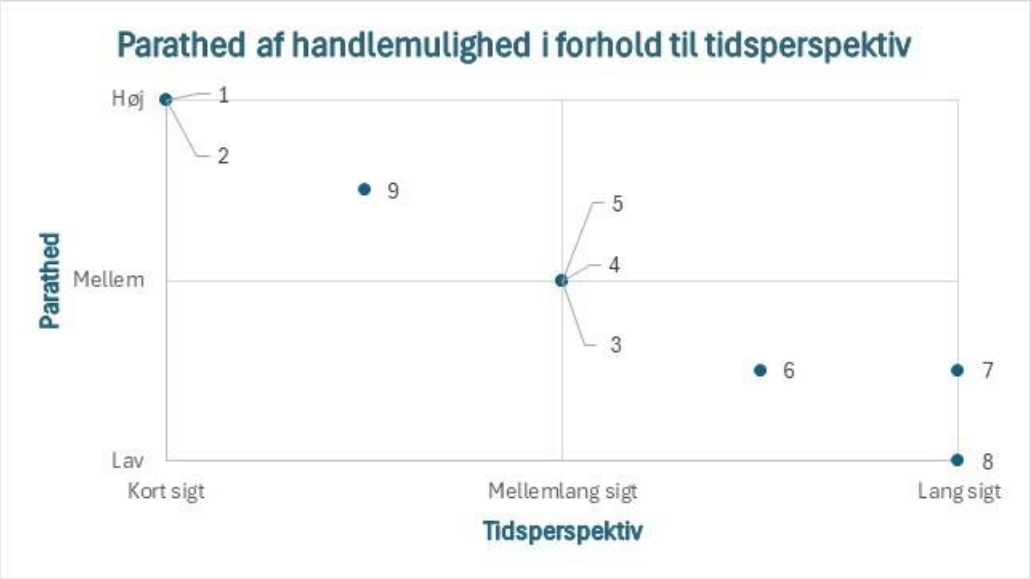
Tidsperspektiv:

Handlemuligheder baseret på kendte metoder og teknologier (fx designoptimering, reduktion af spild og øget renovering) kan iværksættes på kort sigt, men kræver ændrede arbejdsgange og incitamenter for at få bred effekt.

Handlemuligheder, der indebærer nye materialer, teknologier eller alternative byggeskikke (fx biogene materialer, 3D-print, skruefundamenter og overskudsjord), har et mellemlangt tidsperspektiv, hvor yderligere dokumentation, standarder og demonstration er nødvendige.

Endelig har tiltag, der ændrer efterspørgsel, arealanvendelse og byggemønstre (fx byggeri på færre m², fleksible bygninger og deleløsninger), et langsigtet perspektiv, da de forudsætter kulturændringer, planlægningsgreb og justeret regulering.

På den nedenstående figur er tidsperspektivet afbilledet ift. en samlet parathedsscore. Parathedsscoren er en samlet vurdering af handlemulighedens parathed ud fra en række parametre, der er beskrevet under de enkelte afsnit for handlemuligheder. Det understreges, at det er en helhedsvurdering af handlemuligheden og at scoren ”Høj”, ”Mellem” og ”Lav” er udtryk for en relativ parathed, når handlemulighederne vurderes ift. hinanden.



Figur 0.1 Sammenhæng mellem parathed og tidsperspektiv for de enkelte handlemuligheder.

1. Indledning

1.1 Baggrund og formål

Mineralske råstoffer udgør en grundlæggende ressource for byggeri og anlæg i Danmark. I takt med stigende efterspørgsel og begrænsede forekomster bliver det stadig vigtigere at forstå de langsigtede konsekvenser af råstoffernes anvendelse, ligesom det er vigtigt at se på handlemuligheder for at begrænse brugen af råstoffer.

Denne rapport indgår i projektet ”Konsekvenser og handlingsrum for byggeriet ved mangel på mineralske råstoffer”, som udføres i et samarbejde mellem Teknologisk Institut og WSP Danmark. Projektet er støttet økonomisk af Grundejernes Investeringsfond og den filantropiske forening Realdania. Projektet undersøger konsekvenserne af fremtidig mangel på mineralske råstoffer (sand, grus og ler) for byggebranchen i Danmark. Gennem kortlægning af eksisterende viden, LCA-studier og udvikling af et idékatalog, vil projektet identificere konkrete handlingsmuligheder for at reducere byggeriets afhængighed og forbrug af mineralske råstoffer. Resultaterne fra de forskellige delrapporter samles i et Green Paper med anvisninger til en mere ressourceeffektiv byggebranche.

Denne rapport er afrapportering af arbejdspakke 3 i projektet. Rapporten har til formål at kortlægge handlemuligheder for at byggeriet kan mindske brugen af mineralske råstoffer.

2. Samlet oversigt over handlemuligheder

I dette kapitel er der lavet en samlet oversigt over de udvalgte handlemuligheder. I kapitel 4 til kapitel 13 kan der læses mere om de udvalgte handlemuligheder.

2.1 Reduktion af råstoffer i byggeri og anlæg

Hvert år udvindes der store mængder mineralske råstoffer i Danmark. Råstofferne spiller en central rolle i både byggeriet og anlægssektoren, da de danner grundlaget for opførelsen af nye bygninger, veje og infrastruktur og anvendes bredt, fra bundopbygning og betonproduktion til asfalt og mursten. I rapporten "Mineralske råstoffer i Danmark", som udgør delrapport 1 i projektet, er de overordnede problemstillinger omkring råstofforbrug gennemgået.

Hovedfokus i nærværende rapport er på de mineralske råstoffer, der bruges i byggeriet. Der er dog også et stort forbrug af råstoffer i anlægsarbejder, som broer, veje, pladser mm, ligesom der også vil være et forbrug af råstoffer på matriklen, når der opføres et byggeri.

Det er væsentligt at tage både bygge- og anlægssektoren i betragtning, når handlemuligheder skal kortlægges, og derfor omhandler denne rapport ikke kun handlemuligheder for byggeriet, men også for anlægssektoren, da råstofbesparelser i anlægssektoren kan komme byggeriet til gode. Der har dog været størst fokus på at beskrive handlemuligheder for byggeriet, og det vil derfor være relevant at følge op på projektet med en mere detaljeret beskrivelse af handlemuligheder for anlægssektoren.

2.2 Handlemuligheder til at reducere råstofforbrug i byggeri

Handlemulighederne er blevet kortlagt ud fra tre overordnede principper:

Undgå overforbrug handler om at der i byggeriet sættes ind over for overforbrug af råstoffer og spild af materialer. Med andre ord, kan vi ved at undgå overforbrug bygge det samme, men med færre råstoffer. Dette kan fx være ved at undgå at overdimensionere bygninger, at reducere spild i produktion af byggematerialer og i selve byggeprocessen samt at reducere råstofforbruget ved brug af nye teknologier eller metoder.

Brug alternativer handler om at erstatte de mineralske råstoffer i byggematerialerne med andre typer af materialer. Dette kan være biogene materialer, genanvendte materialer eller overskudsjord. I princippet kunne man også tage andre materialer, så som plast eller stål, ind her, men da disse materialer dels er nogle materialer, der skal importeres og dels har høje CO_2 aftryk er de ikke medtaget.

Byg mindre handler om at reducere omfanget af nybyggeri. Dette kan ske ved at bygge på færre m^2 eller i mindre enheder, ved at dele eksisterende bygninger op, lave fleksible bygninger eller udføre mere renovering.

2.3 Handlemuligheder til at reducere råstofforbrug i anlæg

Der er beskrevet en overordnet handlemulighed, der handler om at reducere råstofforbrug i anlæg, men gennemgangen er ikke delt op efter de samme principper som de øvrige handlemuligheder. Det vurderes, at det vil være formålstjenligt at lave mere detaljerede handlemuligheder ud for de samme principper, og der herunder bør være fokus på tiltag under princippet for byg mindre, fx ved renovering, fleksible og mindre anlæg.

Samtidig vurderes det også, at der er brug for mere viden om de specifikke forbrug af råstoffer i forskellige typer af anlægsprojekter, fx statsveje, kommuneveje, pladser, broer, landvindingsprojekter, klimasikringsprojekter mm.

Der bør også være fokus på brug af overskudsjord og hvor stor en andel, der kan genanvendes og til hvilke formål det skal anvendes. Nye teknologier og nye metoder til at reducere forbrug i anlægssektoren.

I Tabel 2.1 ses en oversigt over hvilke handlemuligheder, der er opstillet i projektet. Disse beskrives hver for sig i kapitel 4 - kapitel 13.

Tabel 2.1 Opsummering af de ti handlemuligheder.

Tema	Handling
Undgå Overforbrug	1. Reduktion af forbrug af råstoffer ved produktion af byggemateriale
	2. Reduktion af materialeforbrug i byggeprocessen
	3. Reduktion af materialeforbrug ved ny teknologi
Brug Alternativer	4. Biogene materialer som byggemateriale
	5. Genbrug og genanvendelse af byggeaffald til nye byggematerialer
	6. Overskudsjord som byggemateriale
Byg Mindre	7. Byggeri på færre m^2 og mindre enheder
	8. Fleksible bygninger og delebygninger
	9. Mere renovering
Anlægsprojekter	10. Reducer forbruget af råstoffer i anlægsarbejdet

3. Aktører

Byggeriets og anlægssektorens råstofforbrug er et resultat af beslutninger og handlinger, der træffes af en række forskellige aktører på tværs af værdikæden. I processen fra udvinding af råstoffer og produktion af materialer til projektering og udførelse af et byggeri er der en række forskellige aktører involveret.

Dette afsnit skaber et overblik over de centrale aktører og deres roller for både byggeriet og anlægssektoren. Disse aktører vil være involveret i de forskellige handlemuligheder på forskellig vis.

3.1 Aktører i byggeriet

De ni handlemuligheder vedrører en række aktører i byggeriet på forskellig vis.

Råstofleverandører:

Råstofleverandører af mineralske råstoffer som grus, sand og ler. Grusgrave.

Råstofleverandører af biogene materialer som træ og afgrøder. Skovbrug og landbrug.

Råstofleverandører af overskudsjord og genanvendte materialer. Modtageanlæg og byggeprojekter.

Producenter:

Producenter af traditionelle byggematerialer. Fx betonproducenter og teglproducenter

Producenter af nye typer byggematerialer. Fx genbrugsmursten, hampesten, stampet lerjord.

Teknologileverandører:

Aktører der tilbyder nye teknologier. Fx 3D-print, modulbyggeri

Bygningsejere:

Offentlige bygherrer

Private bygherrer

Ejendomsejere

Private boligejere

Udlejere

Typehusfirmaer

Bygningsrådgivere:

Ingeniører, fx certificerede statikere og brandrådgivere

Arkitekter

Planlæggere

De udførende:

Entreprenører

Håndværkere

Nedrivningsvirksomheder

Myndigheder:

Kommuner – kommuneplaner og lokalplaner, byggetilladelser, lokalplanlægning, dispensationer

Regioner – råstofplanlægning

Statslige styrelser – ændre/tolke lovgivning

Den finansielle sektor:

Banker og kreditforeninger

Ejendomsmæglere

Ejendomsinvestorer

Forsikringsselskaber

3.2 Aktører i anlægssektoren

Råstofleverandører:

Råstofleverandører af mineralske råstoffer som grus, sand og ler. Fx grusgrave.

Råstofleverandører af overskudsjord og genanvendte materialer. Fx modtageanlæg og byggeprojekter.

Producenter:

Producenter af traditionelle materialer til anlægssektoren. Fx asfalt, stabilgrus

Producenter af nye typer anlægsmaterialer. Fx genanvendt asfalt, slaggegrus mm

Teknologileverandører:

Aktører der tilbyder teknologier. Fx jordvask og kalkstabilisering.

Bygherrer:

Statslige bygherrer. Fx Vejdirektoratet, Metroselskabet, BaneDanmark, Sund og Bælt

Kommunale bygherrer

Private bygherrer

Rådgivere:

Ingeniører

Landskabsarkitekter

Anlægsgartnere

Planlæggere

De udførende:

Entreprenører

Myndigheder:

Kommuner – kommuneplaner og lokalplaner, lokalplanlægning, dispensationer

Regioner – råstofplanlægning

Statslige styrelser – ændre/tolke lovgivning

4. Reduktion af forbrug af råstoffer ved dimensionering af byggematerialer

4.1 Introduktion

Ved dimensionering af byggeriet sker der ofte en overdimensionering af materialerne. Handlemuligheden handler derfor blandt andet om, hvordan der kan spares råstoffer ved at optimere mængden af beton, hvilket fx kan ske gennem reduktion af vægtykkelser, fundamentsbredde og lignende. En anden mulighed er at spare på mængden af ler, der anvendes til tegl ved fx at udhule teglsten.

4.2 Udvalgte cases

4.2.1 Case om dialoggrundlag for designoptimering

En interviewundersøgelse fra 2018 viste, at der i branchen generelt set er en opfattelse af, at der er et potentiale for at optimere betonkonstruktioner (Thrane et al, 2018). I 2023 blev udviklet et dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner som en del af Bæredygtig Beton-initiativet under Dansk Beton og DI Byggeri (Mathiessen og Hansen, 2023). Formålet var at reducere materialeforbruget i betonkonstruktioner og fremme brugen af CO_2-reducerende betontyper. Dialoggrundlaget er blevet til gennem workshops med de fem største rådgivende ingeniørvirksomheder i Danmark samt dialog med bygherrer, entreprenører og leverandører. Derudover har en offentlig høring med 20 høringssvar bidraget til den endelige version.

Et afsnit i dialoggrundlaget handler om optimering af betonkonstruktioner. Flere aktører i byggebranchen peger på, at der er et stort potentiale for optimering af bygge- og anlægsprojekter ud over dagens standard. Det kræver en tidlig inddragelse af alle parter i projekterne, mere detaljerede beregninger, variantanalyser og en justering af projektøkonomien (Mathiessen og Hansen, 2023), (Dansk Beton, 2023).

4.2.2 Case om designoptimering af betonkonstruktioner

Der er i 2024 gennemført beregninger for designoptimering af Kværnloftet, Riskov Brynet (Rambøll, 2024). Formålet med projektet var at designoptimere betonkonstruktioner i to etagebyggerier i beton. Med afsæt i udleverede tegninger og projektmateriale er der gennemført en genberegning af betonkonstruktionerne i projektet med henblik på at pege på besparelsespotentialet for beton og armering. Der er lavet beregninger på en høj bygning (8-etagers boligbyggeri) og en lav bygning (5-

etagers boligbyggeri med kælder). Den grundlæggende konstruktionsopbygning er bevaret og optimeringen har blandt andet bestået i at optimere mængden af beton ved reduktion af vægtykkelser samt fundament og dæktykkelser. Et hovedformål i rapporten er at beregne CO_2 besparelser, men der er også regnet på materialebesparelser.

Samlet set konkluderes det, at der er en total besparelse på materialet på 21-25 % - fordelt på forskellige elementer (Rambøll, 2024). Det bemærkes, at løsningerne i rapporten er indenfor gældende normer og standarder (Magasinet Beton, 2025).

I rapporten er der afrapporteret materialebesparelser som vist i Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Besparelser på beton. Data stammer fra (rambøll, 2024 – side 90 og frem)

Bygningsdele	Besparelse (m^3)	Oprindeligt forbrug (m^3)	Reduceret forbrug (m^3)	Procentvis besparelse
Fundamenter, lav bygning.	25,3	50	24,7	50 %
Fundamenter, høj bygning.	54,7	110,7	56	49 %
Terrændæk, lav bygning.	8,2	19,8	11,6	41 %
Terrændæk, høj bygning.	8,9	26,8	17,9	33 %
Indervægge, lav bygning.	3	95,8	92,8	3 %
Indervægge, høj bygning..	4	167,7	163,7	2 %
Kælderydervægge, lav bygning.	10,1	37,1	27	27 %
Facadeelementer, lav bygning.	23,2	89,7	66,5	26 %
Facadeelementer, høj bygning.	32,3	168,6	136,3	19 %
Etagedæk, lav bygning.	18	134	116	14 %
Etagedæk, høj bygning.	38	276	238	14 %
Elevatorkerner, lav bygning.	4	18,4	14,4	35 %
Elevatorkerner, høj bygning.	13,5	37,5	24	36 %
Total besparelse, lav bygning	**91,8**	**444,8**	**353**	**21 %**
Total besparelse, høj bygning	**151,3**	**787,3**	**635,9**	**25 %**

Fodnote til tabel: Den lave bygning er 6 etager (5 etager samt kælder) á 192 m^2 = 1.152 m^2. Den høje bygning er 8 etager á 293,8 m^2 = 2.350 m^2

4.2.3 Case om brug af hullede mursten

Det er muligt at producere perforerede mursten. Eksempelvis har LESS mursten, som produceres af Egernsund Wienerberger på Petersminde Teglværk, en hullet konstruktion, som bruger 15 % mindre råmateriale sammenlignet med solide mursten. Der kan produceres 76 flere mursten fra 1 ton ler (LESS, hjemmeside). Der er også fundet andre eksempler på ikke-massive mursten. I Minke og Frandsen

(2024) er der beregnet besparelsespotentialer (klima og ressourcer) for mursten med reduceret densitet, fx cellesten eller andre mursten med huller eller fordybninger. Her laves beregningerne med en forudsætning om, at stenene kan erstatte massive mursten 1:1.

LESS mursten er sat på markedet og der er flere referenceprojekter, der har anvendt murstenen. De kan anvendes i samme type konstruktioner og med samme type mørtel, som anvendes med den traditionelle blødstrøgne mursten (Egernsund, hjemmeside). Produktet har også en EPD, der dokumenterer CO_2 påvirkning. Der bruges mere mørtel, da der flyder en smule mørtel ned i de forybninger/huller, der er i murstenen.

4.2.4 Case om MiniCO_2 etagehuse

MiniCO_2 etagehusene opføres af Realdania By & Byg, og er sat i verden for at finde nye veje til at nedbringe ressourceforbrug og CO_2-udslip i byggeri af etageejendomme. To af etagehusene fokuserer på hhv. byggeri af beton og tegl.

I MiniCO_2 etagehuset af beton er det beregnet, hvor meget materiale, der skal til for at huset kan leve op til krav og komfort. Dette har medført at der er skruet ned for mængderne af beton ved at designe søjler og dæk, der er slankere end normalt. Byggeriet opføres i 2025 og frem (Realdania, 2025).

I MiniCO_2 etagehuset af tegl er der anvendt tyske teglhulblokke i facader. Mørtel og puds er udført med kalk. Etageadskillelse er udført i tegldæk. De tyske teglhulblokke giver en materialebesparelse (Realdania, 2024), (Danske Tegl, 2023). Demonstrationsbyggeriet er opført, men data for materialebesparelser var ikke offentliggjort ved projektets afslutning.

4.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

4.3.1 Potentielle råstofbesparelser

<u>Potentialeberegning 1 for designoptimering af beton:</u>

Der anvendes omkring 6 mio. tons sand og grus til beton til byggeriet i alt om året (Se rapporten i projektet om ”Mineralske råstoffer i Danmark”).

Hvis det antages at casen om Kværnloftet (beskrevet i kapitel 4.2.2.) er repræsentativ for de materialebesparelser, der kan opnås for al betonbyggeri, betyder det, at der kan spares 21-25 % beton.

Hvis det groft antages, at dette betyder, at der også kan spares 21-25 % af al sand, grus og sten anvendt til beton i byggeriet, kan der spares 1,2-1,5 mio. tons sand og grus i byggeriet årligt.

<u>Potentialeberegning 2 for designoptimering af beton:</u>

1 m^3 beton indeholder 1130 kg sten og 790 kg sand (Smith og Andersen, 2015).

For en 5 etagers bygning med kælder på samlet 1.152 m^2 kan der spares 91,8 m^3 beton, dvs. 104 tons sten og 72 ton sand (jf ovenstående forhold). Samlet set spares der 0,153 ton sten og sand pr. m^2 (176 tons/1.152 m^2). Tallene stammer fra case om Kværnloftet.

For en 8 etagers bygning på samlet 2.350 m^2 kan der spares 151,3 m^3 beton, dvs. 171 tons sten og 120 tons sand. Samlet set spares der 0,124 ton sten og sand pr. m^2 (291 tons/2.350 m^2) Tallene stammer fra case om Kværnloftet.

Gennemsnitligt kan der regnes med en besparelse på 0,139 ton sten og sand pr m^2. I 2025 blev påbegyndt byggeri på samlet 6,6 mio. m^2 etageareal (Danmarks Statistik, 2026), hvilket giver en besparelse på 910.000 tons råstoffer (sten og sand). Dette er i samme størrelsesorden, men lidt mindre end potentialeberegning 1. Begge beregninger bruger data fra case om Kværnloftet, men beregning 1 tager udgangspunkt i det samlede forbrug af råstoffer til beton til byggeriet, mens beregning 2 tager udgangspunkt i arealet af påbegyndt byggeri.

Samlet vurdering af potentiale for designoptimering af beton:

Samlet set vurderes det på baggrund af potentialeberegning 1 og 2, at der i bedste fald kan spares mellem 0,9-1,5 mio. tons sand og grus i byggeriet årligt, hvis alt betonbyggeri designoptimeres med samme besparelsespotentiale som Kværnloftet. Hvis 50 % af al byggeri designoptimeres kan der spares 450.000 – 750.000 tons sand og grus årligt.

Potentialeberegning 1 for designoptimering af mursten:

I Minke og Frandsen (2024) beskrives, at når der fremstilles mursten med reduceret densitet, fx ved udhuling, reduceres ressourceforbruget for murstensproduktionen med 15 %, mens mørtelforbruget øges med 5 %. Derudover nævner publikationen, at ressourceforbruget ved tagsten ikke ændres, da disse er optimeret til bestemte tykkelser, og derfor er det ikke muligt at fremstille disse med huller eller fordybninger. Rapporten beskriver også, at det samlede ressourceforbrug reduceres med 11 %.

Det antages, at der kan opnås en 15 % besparelse på den samlede indvinding af ler, hvis alle mursten blev udhulet. Ved en årlig indvinding på 306.000 m^3 ler svarende til 550.800 tons ler (ved brug af densitet på 1,8 tons/m^3) vil dette give en besparelse på omkring 83.000 tons ler. Det skal dog bemærkes, at indvindingen af ler ikke alene bruges til produktion af mursten, men også fx produktion af tagsten, der ikke har samme besparelsespotentiale.

Potentialeberegning 2 for designoptimering af mursten:

I Minke og Frandsen (2024) er der regnet på hvad det vil betyde at lavere en smallere mursten, idet dybden på murstenen bliver reduceret fra 108 mm til 70 mm. I beregningerne er der lavet en forudsætning om, at de smallere mursten kan erstatte ”almindelige” mursten 1:1. Dette svarer til en samlet reduktion af størrelsen på 35,2 %. Det beregnes, at det samlede ressourceforbrug kan reduceres med 34 %.

Det antages, at der kan opnås en 34 % besparelse på den samlede indvinding af ler, hvis alle mursten blev produceret med en smallere bredde. Ved en årlig indvinding på 306.000 m^3 ler svarende til 550.800 tons ler (ved brug af densitet på 1,8 tons/m^3) vil dette give en besparelse på omkring 187.000 tons ler. Det skal dog bemærkes, at indvindingen af ler ikke alene bruges til produktion af mursten, men også fx produktion af tagsten, der ikke har samme besparelsespotentiale.

Potentialeberegning 3 for designoptimering af mursten:

For en massiv mursten fra Randers Tegl er dimensionerne: 228 mm * 108 mm * 54 mm. Densiteten er 2050 kg/m^3. Dette giver en vægt for en sten på 2,73 kg. Idet det forudsættes, at 88 % af murstenen består af ler (EPD Danmark, 2023) er der et forbrug på 2,4 kg ler pr mursten. Idet det antages, at der

bruges 63 sten pr m^2 bygning (Randers Tegl, 2025), anvendes der 151 kg ler pr m^2. For en villa på 140 m^2 anvendes der derved 21,2 ton ler.

Ved en hullet konstruktion i murstenen, hvor der spares 15 % på råmaterialer, anvendes der 18 ton ler til en bygning på 140 m^2, dvs. en besparelse på 3 ton ler. Ved brug af en smal mursten kan der spares 34 %, dvs. en besparelse på 7 ton ler.

4.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Designoptimeringen ved Kværnloftet er sket med det mål at reducere CO_2. Der blev fundet en CO_2 reduktion for en 5 etagers bygning med kælder på 48 % og for en 8-etagers bygning på 49 %. En del af disse CO_2 besparelser skyldes reduktion af mængden af beton, men også reduktion i betonstyrke havde betydning for reduktion af CO_2 (Rambøll, 2024).

Ved brug af mursten med huller, vil der være et forbrug på 5 % mere mørtel, idet en smule mørtel vil falde ned i hullerne. Dette vil altså øge forbruget af mineralske råstoffer til mørtelproduktion.

Vægten af de hullede mursten er 15 % lettere, hvilket gør dem lettere at håndtere på byggepladsen og forbedrer dermed arbejdsmiljøet. Derudover bliver transporten optimeret. Et læs leverer 47 paller med mursten modsat et normalt læs, der kan levere 40 paller massive mursten. Derudover er CO_2 aftryk reduceret med 15 % (LESS, 2025).

Det bemærkes desuden at brugen af beton og tegl kan reduceres endnu mere ved at reducere brugen til de funktioner, hvor det har unikke egenskaber som at bære last eller tåle fugt og slid. I sådanne tilfælde er det nødvendigt at substituere med andre materialer, eksempelvis biogene materialer, se kapitel 7.

4.4 Barrierer

De følgende barrierer er beskrevet med udgangspunkt i optimering af brug af beton (Byggeri-arkitektur, 2024), (CSR, 2023), (Magasinet Beton, 2025):

Tekniske og faglige barrierer: En central barriere for reduktion af råstofforbrug ved dimensionering af byggematerialer er, at byggeri ofte overdimensioneres. Dette hænger blandt andet sammen med en praksis, hvor fokus i projekteringen primært er rettet mod sikkerhed og overholdelse af normer, mens materialeforbrug og materialeeffektivitet i mindre grad prioriteres. Standardiserede løsninger anvendes i mange tilfælde, da de er velkendte og relativt billige at producere, men de kan samtidig føre til et unødvendigt højt forbrug af mineralske råstoffer.

Derudover kræver materialebesparende dimensionering ofte mere detaljerede og projektspecifikke beregninger, som skal udføres tidligt i byggeprocessen. Manglende tid og ressourcer i de tidlige projektfaser begrænser i praksis anvendelsen af sådanne beregninger, selv om tekniske muligheder og faglig viden i vid udstrækning er til stede.

Økonomiske barrierer: En væsentlig barriere er, at ekstra rådgiverydelser i form af detaljerede beregninger kan medføre øgede omkostninger i projekteringsfasen. Disse meromkostninger opleves ofte som en økonomisk belastning for det enkelte projekt, selv om de potentielt kan føre til besparelser i materialeforbruget. En økonomisk gevinst ved reduceret råstof og materialeforbrug er dermed ikke altid direkte synlig eller entydigt placeret hos den aktør, der afholder udgiften til de ekstra beregninger.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Materialeoptimering ved dimensionering kræver, at der afsættes tid og prioritet i projekteringen, samt at rådgivere har de nødvendige ressourcer til at arbejde med alternative løsninger. I praksis kan dette være vanskeligt at forene med stramme tidsplaner

og økonomiske rammer i byggeprojekter. Samtidig kan vaner og etablerede arbejdsgange i branchen bidrage til, at materialebesparende løsninger fravælges til fordel for kendte standardløsninger.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Selv om gældende lovgivning ikke forhindrer materialebesparende dimensionering, er der i dag begrænset direkte regulering, der understøtter eller efterspørger reduktion af råstofforbrug på lige fod med andre krav, fx klimakrav. Dette betyder, at incitamentet til at investere ekstra tid og ressourcer i materialeoptimering primært er frivilligt og projektspecifikt. Klimakravene til nybyggeri kan dog være med til at reducere mængden af beton i byggeriet, da der derved også reduceres tilsvarende CO_2.

4.5 Næste skridt

Ift. designoptimering af beton, vurderes det, at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i, at der skal afsættes økonomi og tid til ekstra rådgiverberegninger i de enkelte byggeprojekter. Der eksisterer pt. beregninger, der viser potentialet for handlemuligheden, og demonstrationsprojekter er på vej. Men på trods af et betydeligt potentiale for en besparelse på mineralske råstoffer på 20-25 % med samtidige CO_2 besparelser, hvor lovgivning overholdes, er det ikke almindelig praksis.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre og producenter til at reducere materialeforbrug.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at udføre mere detaljerede beregninger for brug af materiale/råstoffer.
- **Regulering og krav:** Øgede afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der fx i højere grad importeres stål.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til udvikling af beregningsværktøjer, demonstrationsprojekter og kompetenceudvikling vil give branchen øget incitament til at anvende handlemuligheden (se desuden branchetiltag beskrevet nedenfor).
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til en risikofond vil give branchen øget incitament til udvikling af en fond, se desuden branchetiltag.

Branchetiltag

- **Standarder, metoder og værktøjer:** Udvikling af tilgængelige digitale beregningsværktøjer til at optimere materialeforbrug ved dimensionering, som stilles til rådighed for branchen, vil gøre tidsforbruget ved udførsel af beregninger mindre. Optimalt skal beregningsværktøjerne indgå i en sammenhæng med LCA-værktøjer.
- **Standarder, metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter, der deler erfaringer og beregningsgrundlag med branchen vil udbrede kendskabet til beregningsmetoderne.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering**: Etablering af en risikofond i branchen kan nedbringe risiko og dermed økonomisk usikkerhed. En risikofond skal accelerere anvendelsen af nye løsninger for materialeudvikling og tekniske løsninger, der sparer råstoffer. Dette kan udføres

ved at lave et systematisk afprøvningsforløb for dokumentation, dels lave en risikoafdækning med tilhørende forsikring.

- **Viden, kompetencer og kultur:** Etablering af undervisningstilbud omkring beregninger skal udbrede kendskabet til alternative løsninger.

4.6 Potentiale og Parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlemuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

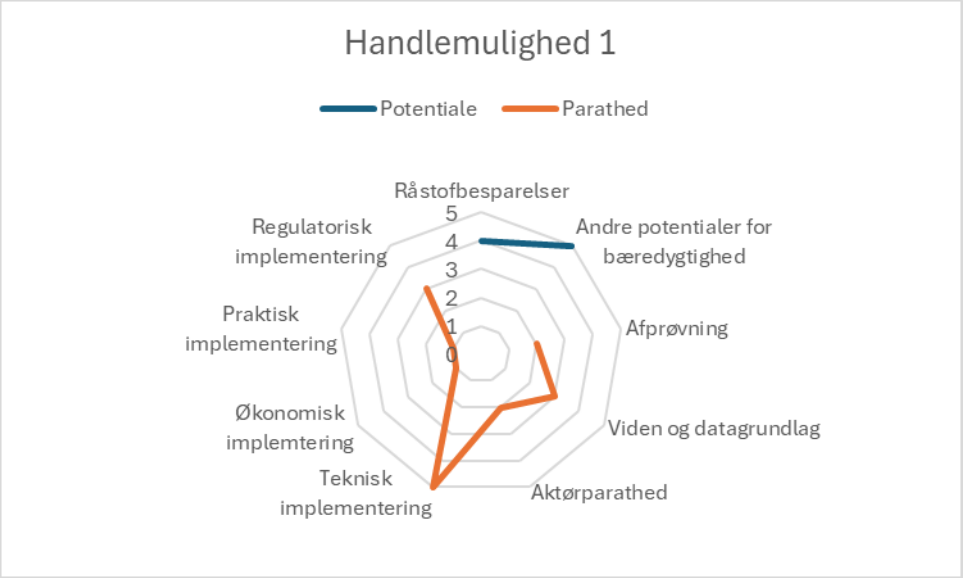
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	4		21-25 % besparelse på beton
Andre potentialer for bæredygtighed	5		48-49 % reduktion af CO_2
Afprøvning		2	Afprøvning i gang, Mini CO_2 etagehuse
Viden og datagrundlag		3	Beregninger for Kværnloftet
Aktørparathed		2	Vanetænkning i branchen
Teknisk implementering		5	Beregninger kan foretages, jf. Kværnloftet
Økonomisk implementering		1	Beregning giver ekstra omkostning og øger tidsforbruget, hvilket begrænser brugen.
Praktisk implementering		1	Beregninger tænkes ikke ind i projekter
Regulatorisk implementering		3	Beregninger for Kværnloftet var inden for lovgivning, men der mangler incitament.

Afbilledet ved dette diagram:



4.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes, at handlemuligheden kan implementeres på kort sigt i konkrete projekter, men det vil kræve tidlig projektering og ændrede incitamenter for at få bred gennemslagskraft.

5. Reduktion af materialeforbrug i byggeprocessen

5.1 Introduktion

Ved opførsel af et byggeri sker der spild af materialer. Ved at reducere dette spild kan der spares på materialerne, herunder også på materialer som beton, tegl og mørtel. I en byggeproces vil der ske spild af materialer, og dette spild vil ende som affald på byggepladsen. Ved at sortere affaldet øges kvaliteten af affaldsfraktioner, så de bedre kan bruges igen, men det er mest optimalt at sætte ind tidligt i processen og forhindre at affaldet opstår.

Et fokus på at undgå byggeskader kan ligeledes give reduktion af materialespild, men der er ikke fundet data om dette. Dette vurderes som et væsentligt indsatsområde, som ikke har været muligt at belyse yderligere.

Det bemærkes, at der også kan opstå materialespild i produktionsprocessen, hvilket ikke er behandlet her. Dansk Beton har arbejdet på at reducere spild af produktionsbeton gennem nulspildsprojektet. Det er her blevet estimeret, at der genereres mellem 2-5% spildbeton fra alle typer af danske betonfabrikker, som fx kan stamme fra produkter der ikke efterlever de visuelle krav, returbeton eller fraskåret beton fra elementproduktionen. I projektet er der lavet anvisninger til at genanvende spildbeton i produktionen af ny beton (Teknologisk Institut, 2020).

5.2 Udvalgte cases

I de beskrevne cases har der været meget fokus på affaldssortering på byggepladsen, men mindre fokus på spild på byggepladsen. En årsag er angiveligt, at det er relativt nemt at observere og måle på indsamlet og bortkørt affald, mens undgået spild kan være sværere at opgøre. Fx vil forkert opbevaring af materialer, fejlbestillinger, tilskæringer ende som affald, men uden at årsagen er opgjort.

5.2.1 Case om årsager til materialespild på byggepladsen

I et projekt fra 2023 er der undersøgt årsager til materialespild på byggepladsen. Projektet er udført af Teknologisk Institut, Stark og Aarsleff (Dalvang og Smith, 2023). I projektet blev der lavet en spørgeskemaundersøgelse blandt 600 af Starks kunder, og der blev blandt andet spurgt til hvilke materialer, der oftest går til spilde. Her nævnte flest, at fraktionerne træ og gips oftest går til spilde. Et mindre antal nævnte, at mørtel, mursten og beton oftest går til spilde. Af projektet fremgår, at det var ikke muligt at finde data, der beskriver, hvilke materialefraktioner, der reelt oftest går til spilde (Dalvang og Smith, 2023).

Derudover blev der lavet besigtigelser på byggepladser og interviews med håndværkere. Der er generelt set ikke en bevidsthed om at skelne mellem begreberne ”spild af materialer” og ”affald” på pladserne.

Dvs. at der ikke aktivt skelnes mellem indsatser, der forhindrer at affaldet opstår og indsatser, der håndterer det affald, der opstår, selv om begge problemstillinger har fokus. Der er på pladserne især fokus på sortering og håndtering af affald, men emnet "materialespild på byggepladsen" handler også om at undgå at spildet opstår og at det havner i en affaldscontainer - og det er langt sværere at måle og observere (Dalvang og Smith, 2023).

Observeret spild i projektet var, at der hugges i mange mursten/teglsten for at tilpasse stenene. På en byggeplads lå afhuggede tegl oven i cementmørtel, der var blevet til overs. De afhuggede tegl og cementmørtlen kunne derved ikke længere skilles ad og genanvendes. Rapporten skriver, at det er nyttigt at adskille beton og teglaffald, da beton ikke kan bruges til stabilgrus, hvis der er blandet tegl i affaldet. Det er også nyttigt at holde tegl-affald og mørtel-affald adskilt, da dette vil øge mulighederne for genanvendelse. Af et interview fremgår, at mørtel er forholdsvis billigt at anskaffe, så der bliver ikke passet lige så godt på det, som eksempelvis murstenene (Dalvang og Smith, 2023).

Undersøgelsen konkluderer, at der ikke er nogle få hovedårsager til materialespild, men en række årsager, der især knytter sig til adfærd, fx manglende tid, manglende samarbejde mellem faggrupper og underentreprenører, afskær og overbestilling samt uhensigtsmæssig opbevaring (Dalvang og Smith, 2023).

5.2.2 Case om affald fra byggepladser

I en undersøgelse er der gennemgået en række erfaringer omkring affald på byggepladser (Cirkulær Sjælland, uden årstal). Undersøgelsen er udarbejdet af Dansk Symbiosecenter for Cirkulær Sjælland. Det beskrives at typen af byggeri, andel af præfabrikation, indkøb og levering samt kultur er forhold, der har stor indflydelse på affaldsmængderne på en byggeplads

Undersøgelsen viser, at bygningstypen har stor betydning for, hvor meget affald der produceres. For eksempel vil store byggerier med ens komponenter typisk resultere i mindre affald pr. kvadratmeter. Det skyldes blandt andet, at man på større projekter ofte benytter præfabrikerede elementer, som er produceret under forhold, hvor materialespild kan reduceres mere effektivt end det typisk kan på selve byggepladsen. Undersøgelsen har fokus på, hvordan det sikres at restprodukter fra byggeprocessen kan genanvendes eller genbruges, herunder sortering og infrastruktur på byggepladsen. Der nævnes også fejlleverancer og overskydende materialer. Fejlleverancer består af nye og brugbare materialer, som ikke fejler noget. Alligevel sker det indimellem, at det ikke er økonomisk rentabelt at returnere dem til leverandøren, og derfor ender de som affald i containeren på byggepladsen. Fejlleverancer kan undgås ved fx. kvalitetssikring af udbuds- og tegningsmaterialer og ved modtagekontrol på pladsen, men det er vanskeligt helt at undgå fejlleverancer (Cirkulær Sjælland, uden årstal).

Undersøgelsen nævner beton som en væsentlig affaldsfraktion i den del af byggefasen, der omhandler "Terrændæk, forsyning/kloak, Fundament" samt den del der vedrører "Råhus". I "Råhus" er tegl/glaseret tegl endvidere nævnt som en væsentlig affaldsfraktion. Der er dog ikke angivet nogen begrundelse herfor eller angivet data (Cirkulær Sjælland, uden årstal).

I en anden undersøgelse om affaldssortering (Dagens Byggeri, 2018) nævnes at, der er stor variation i om byggepladser sorterer. I undersøgelsen blev det fundet, at nogle byggepladser var hurtige til at konkludere, at det ikke kunne betale sig at sortere. Kulturen på byggepladsen spiller også ind, da det kan synes besværligt at sortere for håndværkerne, særligt når der er mange underentreprenører i spil på pladsen. På en byggeplads, hvor der var en kontinuerlig stab af faste håndværkere, fungerede det godt med at sortere i stål, gips, isolering og træ. Det blev også observeret, at den fysiske størrelse på byggepladsen også har betydning for hvor mange containere, der kan sættes op, og dermed om det er muligt at sortere.

5.2.3 Cases om teknologier til at måle affaldssortering

ConTech Lab står bag udgivelsen af en guide om "Minimering af ressourceforbrug på byggepladsen" sammen med en række andre parter (ConTech Lab, 2024). Det er en guide, der henvender sig til entreprenører, der arbejder med byggeprojekter på over 1.000 m^2. Guiden viser, hvordan man kan indsamle data om elforbrug, transport, affaldshåndtering og vandforbrug, hvilket kan hjælpe med at identificere områder, hvor der er potentiale for ressourcebesparelser og reduktion af byggeriets klimaaftryk (ConTech Lab, 2024).

Ift. registrering af affald nævnes datakilder som data fra affaldsmodtagere, herunder genanvendelsesgrad, radarsensor på affaldscontainere som måler påfyldningsgrad, bevægelsessensorer og kamera, som tager et stillbillede af fejlsortering, kunstig intelligens der kan genkende forskellige fraktioner, samt udføre monitorering (ConTech Lab, 2024).

I en anden undersøgelse udført af Enemærke og Petersen og en række andre parter under We Build Denmark er det beskrevet, hvordan affaldsmængder er overvåget ved opstilling af kamera ved affaldscontainere på en byggeplads. Der blev løbende taget billeder over en periode på 8-12 arbejdsdage. Disse blev så sat sammen til recap video på 12 minutter, der viste hvilke affaldstyper og mængder, der var til stede i containeren (We Build Denmark, uden årstal).

5.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

5.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Estimat af råstofbesparelser, kilde 1:

I en undersøgelse er der set nærmere på, hvordan byggespild påvirker udledningen af drivhusgasser, og den er baseret på data fra 345 bygninger, der er opført mellem 2007 og 2025. Undersøgelsen finder, at materialespildet kan være helt op til 25,6 % af de leverede materialer på et byggeprojekt, hvor emballage udgør op til 16,7 %. Materialespildet er defineret som den mængde materiale, der ender i affaldscontaineren i forhold til den samlede leverede mængde (Hasselsteen et al, 2025).

Sammenlignes med andre studier varierer de nøjagtige mængder for spild, men undersøgelser anslår, at 10–30 % af byggematerialerne, der leveres til byggepladser, til sidst bliver til affald på grund af skader, overbestilling eller ineffektive arbejdsgange. Mindre byggerier, der primært opføres med porebeton, genererer typisk mere spild end byggerier i beton eller træ. Der er en mulig sammenhæng mellem bygningens størrelse og intensiteten af spild, da mindre bygninger kan være forbundet med et højere spildniveau som følge af materialernes egenskaber eller byggemetoder.

Estimat af råstofbesparelser, kilde 2:

I NIRAS et al (2017) er nævnt, at flere entreprenører oplever, at der ofte bestilles omkring 10 % flere materialer end nødvendigt til byggeriet. Dette er baseret på et groft estimat af den samlede mængde nye byggematerialer. En entreprenør nævner, at spildet ligger på 3-5 % for det generelle forbrug, 8 % for gipsplader, stort set intet for visse produkter som vinduer, lidt spild for præfabrikerede facadeelementer og omkring 3 % for mursten. En affaldsmodtager fortæller, at 10 % af det affald, de henter fra byggepladser, er spild. Samlet set er der dog stor usikkerhed omkring disse spildprocenter, og det er derfor ikke muligt at bruge dem som et pålideligt grundlag for at udregne den samlede mængde spild i byggeriet.

Estimat af råstofbesparelser, kilde 3:

I rapporten "Potential for Denmark as a circular economy" fra Ellen MacArthur Foundation fra 2015 anslås det, at 10-15 % af nye byggematerialer går til spilde. Dette skøn er baseret på udvalgte interviews (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

Samlet vurdering af potentielle råstofbesparelser:

Samlet set vurderes det på baggrund af ovenstående gennemgang, at der er et spild på byggepladser på mellem 10 og 30 % i forhold til det materiale, der bliver leveret. Men det vurderes, at materialer som beton og tegl ikke er de materialer, hvor der er den største mængde spild, idet forskellige undersøgelser fremhæver emballage, gips og træ, som de mest betydende fraktioner. Det vurderes, at spild af beton og tegl ligger på mellem 1 og 10 % af det materiale, der leveres.

Et groft overslag er derfor, at ved at have fokus på spild på byggepladser, kan der spares mellem 1-10 % af råstofforbruget til byggeriet. Dette er 1-10 % af 6 mio. tons sand og grus til beton, hvilket er mellem 60.000 og 600.000 tons pr. år. Derudover er det 1-10 % af en årlig indvinding på 550.800 tons ler, hvilket er mellem 5.000 og 55.000 tons ler pr. år.

5.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Et fokus på reduktion af materialespild på byggepladser vil ikke kun have betydning for de mineralske råstoffer, idet der særligt vil være materialebesparelser på andre typer af materialer, fx emballage, gips, isolering og træ.

Udover en reduktion af materialespild af alle typer materialer, vil der også være en reduktion af CO_2. I Hasselsteen et al (2025) er afrapporteret en reduktion på 21,59 kg CO_2-ækv/m² bruttoetageareal for affaldsforebyggelse i 75 % af de undersøgte byggeprojekter. Udledningen af drivhusgasser varierer markant afhængigt af bygningstype – fra 16,80 til 34,06 kg CO_2-ækv/m² bruttoetageareal – hvilket resulterer i differentierede besparelser for otte forskellige bygningstypologier.

Et ryddeligt og ordentligt arbejdsmiljø på byggepladsen spiller en stor rolle ved reduktion af materialespild. Ryddelighed handler ikke blot om at holde pladsen fri for affald og rod, men også om at skabe struktur og overblik, hvilket gør det lettere at undgå unødvendigt spild og fejlbestillinger. Når materialer opbevares korrekt, og byggepladsen er organiseret, bliver det fx nemmere at få øje på, hvis der er overskydende materialer, ligesom en god arbejdskultur, hvor orden og samarbejde prioriteres, kan være med til at ændre vaner og reducere de typiske årsager til spild, såsom skader på materialer eller overbestilling.

5.4 Barrierer

På baggrund af de gennemgåede cases er følgende barrierer opstillet:

Tekniske og faglige barrierer: En central barriere for reduktion af materialeforbrug i byggeprocessen er, at materialespild i vid udstrækning opstår som følge af mangelfuld planlægning og koordinering i de tidlige faser af byggeprojekter. Spild relaterer sig ikke alene til affaldshåndtering, men i høj grad til indkøb, opbevaring og håndtering af materialer på byggepladsen. Der eksisterer begrænset systematisk viden og ensartede metoder til at forebygge, at spild opstår undervejs i byggeprocessen, hvilket vanskeliggør en målrettet indsats.

Derudover har de fysiske rammer på byggepladsen betydning for mulighederne for at arbejde struktureret med materialeforbrug, herunder sortering og midlertidig oplagring. Begrænsede pladsforhold kan i praksis reducere mulighederne for at arbejde systematisk med at undgå spild.

Økonomiske barrierer: Arbejdet med at reducere materialespild kan opleves som tidskrævende og dermed forbundet med øgede omkostninger i byggeprocessen. I mange projekter er økonomi og tidsplan pressede, hvilket kan medføre, at fokus på forebyggelse af spild nedprioriteres til fordel for hurtig fremdrift. Samtidig er økonomiske gevinster ved reduceret materialespild ikke altid direkte synlige for de aktører, der skal investere tid og ressourcer i ændrede arbejdsgange på byggepladsen.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Materialespild på byggepladser er i høj grad et strukturelt og adfærdsmæssigt problem. Arbejdskultur, vaner og ansvarsfordeling på byggepladsen har stor betydning for, i hvilket omfang materialeforbrug prioriteres. Der er i projekter i branchen relativt stort fokus på affaldssortering og håndtering af affald, mens der er mindre fokus på at forhindre, at affaldet opstår. Manglende ansvarsfordeling og klare roller på byggepladsen i forhold til materialeforbrug kan begrænse udbredelsen af mere ressourceeffektive praksisser.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Fokus i regulering og i praksis er i højere grad rettet mod affaldshåndtering frem for affaldsforebyggelse. Klimakravene til byggeprocessen (gældende fra 1. juli 2025 for nybyggeri) har dog forventeligt en effekt på både affaldshåndtering og minimering af spild, idet sådanne tiltag kan reducere CO_2 aftrykket på hele byggeriet. Dette betyder, at arbejdet med at reducere materialespild i høj grad er afhængigt af frivillige initiativer og projektspecifik prioritering. Adfærd på byggepladsen er en væsentlig barriere til materialespild. Dette har rod i kultur på pladsen og i virksomheden, herunder ryddelig og arbejdsmiljø, samtidig med at økonomiske og tidsmæssige forhold spiller ind.

5.5 Næste skridt

Det vurderes at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i at ændre adfærd i de enkelte byggeprojekter/på de enkelte byggepladser. Materialespild er således et strukturelt problem, hvor der skal sættes ind i den tidlige fase i byggeriet med bedre planlægning af materialeindkøb, opbevaring og håndtering. Ændret adfærd har i en vis grad også sammenhæng med tid og økonomi i projektet, og kan opleves som at det gør byggeriet mindre økonomisk rentabelt. Der eksisterer en del undersøgelser af spild på byggepladser, som dog fokuserer meget på affaldssortering og anvendelse af affaldet. Der er mindre fokus på at forhindre at affaldet opstår undervejs, hvilket kan hænge sammen med at det er svært at måle. Til trods for stor opmærksomhed på emnet og et potentiale for en besparelse på mineralske råstoffer på op til 10% er det ikke almindelig praksis. Dertil kommer, at der er et samtidigt potentiale for CO_2 besparelser, samt bedre og mere velfungerende byggepladser, som samtidig også kan føre til at færre byggeskader opstår.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan udføre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre, entreprenører og producenter til at reducere materialeforbrug, også i byggefasen der er en del af klimakravet.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet og krav til spildprocenter på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at undgå spild.
- **Regulering og krav:** Øgede afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der fx i højere grad importeres stål.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til udvikling af beregningsværktøjer, demonstrationsprojekter og kompetenceudvikling vil give branchen øget incitament til at udføre handlemuligheden, se desuden branchetiltag.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Etablering af bødesystem for byggesjusk eller byggeskader kan give et incitament til at byggeprocessen udføres med mere kvalitet og omhu, hvilket også vil have betydning for materialeforbruget.

Branchetiltag

- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af tilgængelige værktøjer til effektiv styring af brug af byggepladsens materialer, som stilles til rådighed for branchen, vil gøre tidsforbruget med at reducere spild mindre.
- **Metoder og værktøjer:** Opstilling af paradigmer for hvordan spild på byggepladser måles kan gøre det mere gennemsigtigt, hvordan spild defineres og måles.
- **Metoder og værktøjer:** Opstilling af paradigmer for beregning af materialeforbruget i hele byggeriets livscyklus kan gøre det mere gennemsigtigt, hvor materialerne spildes.
- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter, der deler erfaringer og løsninger, vil udbrede kendskabet til løsninger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Etablering af undervisningstilbud omkring løsninger for at forhindre spild på byggepladser vil udbrede kendskabet til løsninger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Ændringer i kultur og adfærd på byggepladsen, hvor materialeforbrug får et højere fokus, vil forhindre spild af materialer. Dette kan eksempelvis udføres ved brug af nudging principper.

5.6 Potentiale og Parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlemuligheden

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	2		1-10 % besparelse ved reduktion af spild.
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Besparelser på andre materialer, reduktion af CO_2, ryddelighed og bedre arbejdsmiljø, færre skader.
Afprøvning		4	Afprøvninger eksisterer.[1]
Viden og datagrundlag		4	Erfaringsopsamlinger eksisterer.
Aktørparathed		3	Vanetænkning i branchen, men det er relativt nemt at gøre noget.
Teknisk implementering		3	Metoder eksisterer
Økonomisk implementering		4	Mindre spild giver besparelser i økonomien, men frygt for fx byggestop pga. materialemangel kan medføre at der bestilles for mange materialer hjem.
Praktisk implementering		2	Arbejdsgange tilpasses for at optimere tid og ikke i høj grad ift. materialebesparelser
Regulatorisk implementering		3	Lovgivningen udgør ikke en direkte forhindring, men der mangler incitament udover klimakravene.

[1] Der er fundet begrænset materiale med afrapporterede forsøg/afprøvninger, men det vurderes på baggrund af branchekendskab, at en del aktører har afprøvet tiltag ift. at begrænse spild og øge sortering.

Afbilledet ved dette diagram:



5.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på kort sigt, da løsningerne allerede findes, men udbredelsen afhænger af ændret praksis, adfærd og styring på byggepladsen.

6. Reduktion af materialeforbrug ved ny teknologi/metoder

6.1 Introduktion

Nye byggemetoder kan reducere materialespildet eller materialeforbruget og dermed kan der spares på råstofferne. Skruefundering er en teknologi, der både sparer brugen af beton, men også sparer afgravning af jord og tilførsel af nye råstoffer i forbindelse med traditionel fundering. Derudover er særligt 3D-print en teknologi med potentiale for materialebesparelser, mens modulært byggeri har et potentiale til at reducere spild i produktions- og byggeprocessen. Der er mest fokus på skrue-fundering og 3D-print i handlemuligheden, men modulært byggeri berøres kort. Modulært byggeri omtales dog også under handlemuligheden om biogene materialer, jf kapitel 7.

6.2 Udvalgte cases

6.2.1 Case om skrue-fundering

Fundamenter af store stålskruer kan erstatte fundamenter af beton, grus og sand. Dette er vist i et Innovationsfondsprojekt, Day 2 Day Foundation, der har set på muligheder for at erstatte støbte fundamenter med lange skruer, som skrues ned i de bærende lag i undergrunden. Skruefundament medfører, at der skal udgraves og bortkøres jord i mindre omfang, ligesom den efterfølgende fundering med sand og grus også erstattes. Derudover undgås det, at der skal støbes en sokkel af beton. Det er en mere skånsom metode, hvor der i mindre grad køres med store lastbiler og entreprenørmaskiner. Derudover kan huse i områder, der i fare for at blive ramt af vandstandsstigninger, blive hævet op over terrænet, så de er mindre udsatte over for stormfloder eller oversvømmelser. Projektet Day 2 Day Foundation skriver, at de har vist, at skruefundamenter lever op til byggebranchens standarder. Projektet består af projektpartnere fra BUILD, BAYO.S Skruefundamenter og Andreasen & Hvidberg A/S (BUILD, citeret 25-09-2006). I (Ibsen et al, 2025) beskrives forslag til krav til dokumentation af stålskruepæle-projekter, som giver tekniske retningslinjer for design, installation og dokumentation af skruepæle.

Hos BAYO.S, der udfører skruefundamenter, kan der ses adskillelige eksempler på brug af skruefundamenter, også i større byggerier, fx et over 700 m^2 projektkontor, som er en bygning, der består af 14 moduler fordelt på to etager (BAYOS, citeret d. 25-09-2026). Uretek Engineering og Geopile er andre eksempler på virksomheder, der anvender skruepæle til fundering. Forundersøgelser af jordbundsforhold og udvælgelses af skruepæle i den rette dimension er nogle af de parametre, der skal tages højde for (Geopile, citeret 09-09-2026). Et dokumentationsforløb kan fx omfatte projekteringsgrundlag, geostatiske beregninger, installationsdata for skruepæle, tryk- og/eller trækbelastningsforsøg mm. (Uretek engineering, citeret d. 090-09-2026).

Et studie viser, at ved at fundere huse på skruefundamenter af stål, fremfor på traditionelle randfundamenter af beton, sænkes CO_2-udledningen fra fundamentet med op mod 90-95 %. Til et 170

m^2 træhus går der typisk 45 skruefundamenter. De vejer samlet set 1,5 tons og har en samlet CO_2-udledning på 1 tons CO_2-ækv. fra fabrik til de står i jorden. Et tilsvarende betonfundament kræver 80 tons beton og stålarmering. Alene armeringsstålet vejer mere end hele skruefundamenteringen (Building Supply, 2020).

6.2.2 Case om 3D-betonprint

Kort fortalt fungerer 3D-betonprint ved, at en computerstyret robot lægger beton ud i lag præcis der, hvor det skal bruges. Der printes altså direkte på byggepladsen eller i en fabrik, uden brug af klassiske betonstøbeforme. Det muliggør løsninger, der ellers ville være svære at realisere, for eksempel vægge med indbyggede hulrum og detaljerede former (Ingeniøren, 2025).

Når der støbes beton traditionelt, anvendes en støbeform. Her vil der blive taget højde for, at det støbte emne skal kunne afformes igen. Dette gøres typisk ved at sikre, at eventuelt lodrette sider i støbeformen (vinkelret på støbeformen) gøres en anelse koniske, så der opstår en slipvinkel, der gør afformningen lettere. Med 3D-betonprint er der ikke samme restriktioner til udformning og design, hvilket skaber en udvidet arkitektonisk frihed i formgivningen, hvor materiale udlægges dér, hvor der er brug for det. Printede konstruktioner er typisk ikke massive, men har hulrum som både sparer materiale, printtid og vægt. Hvis materialeoptimeringen skal presses til det yderste, kan der arbejdes med topologioptimerede konstruktioner. Denne type konstruktioner har tidligere vist, at materialeforbruget kan reduceres betydeligt sammenlignet med massive konstruktioner (Andersen et al, 2018).

Andersen et al (2018) beskriver at, de 3D-printede betonkonstruktioner groft set kan deles op i 3 hovedkategorier:

Kantvægge: I dette konstruktionsprincip printes en formur og en bagmur i beton. Dette efterlader et hulrum, som kan anvendes til isolering. Formur og bagmur forbindes i printprocessen med murbindere. Kantvægge er ikke velegnede til at tage store laster medmindre kanterne printes meget brede eller væggene er buede, så den er statisk stærk.

Gittervæg: Som ved kantvægge printes en formur og en bagmur – men i stedet for at udnytte hulrummet til isolering printes en gitterstruktur mellem formur og bagmur, således at formur og bagmur statisk set fungerer som en bred mur. Pga. afstivningen i væggen kan den tage store tryklaster.

Forskalling: I dette princip udføres konstruktionen som kantvægge – men i stedet for at fylde hulrummet med isolering, fyldes i stedet beton i. Dermed fungerer kantvæggene som en forskalling. Fordelen med dette princip er, at væggen kan armeres som en traditionel konstruktion.

Teknologisk Institut har udviklet flere mix-designs til 3D-betonprint (Teknologisk Institut, intet årstal). Fælles for alle mix-designs er, at de er baseret på stenstørrelser under 1 mm. af hensyn til pumpeudstyret. De forskellige sammensætninger indeholder:

- Basis cement / Hvid cement
- Flyveaske / kalkfiller
- Sand

3D-print teknologien har især fordele, når der er brug for specialtilpassede løsninger eller former, der optimerer materialeforbruget. Det kan for eksempel være i projekter, hvor man gennem digital topologioptimering designer konstruktionen, så alt unødvendigt materiale er fjernet, uden at styrken går tabt (Ingeniøren, 2025).

Teknologien har dog også sine begrænsninger. Det gælder især, når det kommer til armering, dvs. indlejring af stål, der giver betonen højere trækstyrke, så den i højere grad kan indgå som bærende vægge, dæk og bjælker. De fleste 3D-printede betonløsninger er i dag uarmerede eller kun let armerede, og bruges typisk til ikke-bærende vægge og unikke facadeelementer. Skal der printes større, bærende konstruktioner, stiller det stadig store krav til både design, materialer og godkendelser (Ingeniøren, 2025).

6.2.3 Udvalgte cases med 3D-printet beton anvendt i praksis

I 2017 blev den første 3D-printede bygning I Europa opført i Nordhavn. Bygningen er et meget lille kontorhotel på under 50 m^2, som skulle demonstrere de arkitektoniske og omkostningsmæssige fordele ved 3D print. Projektet er opført med organiske bygningsformer og betonen består af genanvendt tegl og sand (Licitationen, 2017).

I Holstebro Kommune har 3DCP ApS opført et 37 m^2 tiny house, som fungerer som en prototype for flere 3D-printede studieboliger på grunden (Erhvervsforum Holstebro, 2023). I 2025 er byggeriet af 36 3D-printede studieboliger i Holstebro opført, og det betegnes som det største 3D-printede byggeprojekt i Europa med et bruttoetageareal på 1.656 m^2. Studieboligerne er placeret i seks klynger med seks boliger hver. Klyngerne er printet imellem allerede eksisterende store træer (Dansk Byudvikling, 2025), (Built offside, 2025).

I Kanalbyen i Fredericia afprøves 3D-printede betonsøjler i et demonstrationsprojekt, hvis opførelse er igangsat i 2025. De 16 søjler skal være bærende og er hule i midten for at spare på materialer. Huset er et demonstrationsprojekt, hvor der er sat et mål om, at det maksimalt må udlede 5,2 kg CO_2 pr m^2 om året (Elbobladet, 2025).

I Kirkebjerg Søpark i Brøndbyvester har man i 2024 opført en 3D-printet bygning på 72 kvm i form af et fælleshus, der rummer gæsteværelse, træningslokale og fællesvaskeri til beboerne (HMC, 2024).

6.2.4 Case om modulbyggeri

I (Zohourian, M. et al, 2025) konkluderes, at modulært byggeri samlet set kan føre til betydelige materialebesparelser sammenlignet med traditionelt byggeri. Størstedelen af modulære byggeelementer produceres off-site i kontrollerede fabriksmiljøer, hvilket reducerer overproduktion, fejl og omarbejde, spild fra forskalling og midlertidige konstruktioner. Studiet refererer til tidligere studier, som rapporterer materialespildsreduktioner på op til ca. 83 % i modulære byggeprocesser på tværs af materialer. Modulbyggeri kan laves i forskellige materialer og handler ofte om at lave præfabrikeret byggeri i træ, hvilket behandles yderligere i afsnit om handlemulighed om træ, se kapitel 7.

6.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

6.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning

Et studie viser, at 3D-printet beton kan bruge 13- 25 % mindre materiale, hvis man optimerer lagtykkelsen, så den varierer efter de strukturelle behov i stedet for at være konstant overalt. Ved at justere robottens printhastighed kan man lægge mere beton dér, hvor belastningen er størst, og mindre hvor den ikke er nødvendig (Mesnil et al, 2025).

Der anvendes omkring 6 mio. tons sand og grus til beton til byggeriet i alt om året (Se rapport om mineralske råstoffer i Danmark).

Hvis det antages at studiet er repræsentativ for de materialebesparelser, der kan opnås ved 3D print, betyder det, at der kan spares 13-25 % beton.

Hvis det antages, at dette betyder, at der også kan spares 13-25 % af al sand, grus og sten anvendt til beton i byggeriet, kan der spares mellem 780.000 – 1,5 mio. tons sand og grus i byggeriet årligt. Dette er dog en meget grov antagelse, da 3D-print ikke kan erstatte alle betonkonstruktioner på nuværende tidspunkt.

Derudover eksisterer der også et stort potentiale for at reducere råstoffer ved brug af skruefundering. Her vil der for et 170 m^2 træbyggeri fx kunne spares 80 ton beton, ligesom der også spares betydelige mængder ved bortgravning af jord og tilførsel af sand og grus. Potentialet kan dog ikke nødvendigvis indfries samtidigt med potentialet for 3D print, men det vurderes at der er et betydeligt potentiale for råstofbesparelser ved skruefundamenter svarende til eller endda betydeligt højere end det for 3D-print.

6.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

3D-print giver mulighed for at materialeoptimere, således, at der ikke anvendes mere beton, end det rent faktisk er nødvendigt i konstruktionen. Dette giver mulighed for at reducere materialeforbruget, hvilket også vil reducere CO_2-aftrykket afhængigt af hvilken recept, der anvendes. I starten af 3D-print-teknologien blev anvendt en Ready Mix Mortar med et relativt højt cementindhold, men dette er sat ned til under 10 % i nogle projekter. Ligeledes har anvendelsen af Aalborg Portlands future-cem cement i kombination med flyveaske reduceret CO_2-aftrykket (Magasinet beton, 2023a).

Det er dog uklart hvor stor CO_2 besparelsen vil være for 3D-print, men i takt med at teknologien udvikler sig, forventes det, at der vil opstå nye typer af betonrecepter samt nye materialesammensætninger med potentiale for CO_2 reduktion. Det er muligt at bruge future-cem beton i 3D print, som kan give en CO_2-reduktion (Magasinet beton, 2023b).

En anden udviklingsmulighed er at bruge overskudsjord til 3D-print, hvilke potentielt kan sænke både råstofforbrug og CO_2 aftryk. DTU og region Hovedstaden har sat et Ph.d.-projekt i gang, der handler om at undersøge og teste, hvordan man kan printe med overskudsjord.

En fordel ved 3D-print er, at teknologien giver arkitektonisk frihed i forhold til bygningens udformning. Teknologien tillader organiske former og mange forskellige og varierende former på bygningsdesignet.

Desuden muliggør den fleksible designtilgang, at det er nemmere at bevare natur, fx træer på grunden, ved at printe huset udenom træerne – skånsomt mod selve byggepladsen (TV Midtvest, 2022).

3D-print er en hurtig teknologi og kræver mindre mandskab på byggepladsen, hvilket betyder, at byggeprocessen, som medfører en række gener for fx naboer, hurtigere kan afsluttes. Derudover udføres 3D-print af en robot, hvilket betyder at tunge løft kan forhindres (TV Midtvest, 2022).

For skruefundering vil der udover store ressourcebesparelser være tilsvarende store besparelser på CO_2 udledning, idet både brug af beton samt afgravning af jord og tilførsel af nye råstoffer undgås. Da transport til og fra byggepladsen samt afgravning af jord undgås er metoden også mere nænsom mod de nære omgivelser end traditionel fundering.

6.4 Barrierer

I det følgende er barrierer beskrevet på baggrund af den forrige gennemgang af særligt 3D-print teknologien, hvor der er fundet mest materiale. Barrierer for skruefundering er mindre godt beskrevet, men det vurderes, at der eksisterer mange af de samme barrierer.

Tekniske og faglige barrierer: En central barriere for reduktion af materialeforbrug både ved anvendelse af 3D-print af beton og ved skruefundering er, at teknologierne fortsat befinder sig på et relativt tidligt modenhedsniveau, selv om teknologien muliggør løsninger, der kan reducere materialeforbruget betydeligt.

3D-printet beton kan ikke erstatte traditionel beton i alle dele af byggeriet, idet der særligt er udfordringer med fx vedhæftning og armering (Licitationen, 2024).

Skruefundering vil typisk kunne anvendes ved lette byggerier eller mindre byggerier.

Derudover stiller 3D-print særlige krav til samspillet mellem design, materialer og produktion. Konstruktionerne skal i høj grad projekteres specifikt til printprocessen, hvilket øger den tekniske kompleksitet og stiller høje krav til tidlig og tæt koordinering mellem arkitekter, ingeniører og udførende aktører.

Selvom 3D-print kan reducere materialeforbrug, er beton et materiale med et højt CO_2-aftryk. Cases viser dog, at det er muligt at bruge future-cem beton med et reduceret CO_2 aftryk.

Økonomiske barrierer: Økonomien for 3D-printet byggeri er endnu ikke entydigt bedre end traditionelt byggeri på trods af hurtige produktionstider og materialebesparelser (TV Midtvest, 2022).

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Implementering af 3D-print i byggeriet forudsætter nye kompetencer og ændrede arbejdsgange hos både rådgivere og udførende. Manglende erfaring med projektering, udførelse og tilsyn af 3D-printede konstruktioner kan skabe usikkerhed i projekterne og føre til en præference for velkendte og gennemprøvede byggemetoder.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Bygningsreglement er ikke tilpasset 3D-print teknologi, og der mangler standarder og normer. Europæiske regler, især Eurocodes, tager endnu ikke højde for 3D-print. I praksis skal teknologien derfor tilpasses til regler, der er udviklet til murværk eller præfabrikerede betonelementer, hvilket begrænser metodens potentiale (3druck, 2026).

6.5 Næste skridt

Det vurderes at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i, at selv om der eksisterer demonstrationsprojekter er teknologierne rimelig uprøvede og ikke standardløsninger. Der mangler eksempelvis normer og standarder, særligt Eurocodes, ift. at bruge 3D-printet beton. Derudover mangler der fortsat udvikling i at gøre materialet stærkere, få implementeret armering og få en god vedhæftning mellem beton og armering, således at 3D-printet beton også kan bruges som bærende element

Der er umiddelbart et stort potentiale for materialebesparelser ved at bruge 3D-print på at spare 13-25 % materiale, men det fulde potentiale ved teknologien kan først indfries, hvis det også kan bruges som bærende materiale. Der er et tilsvarende stort, hvis ikke større, potentiale for råstofbesparelser ved skuefundering. Dertil kommer, at der er et samtidigt potentiale for CO_2 besparelser. For 3D-print er udvikling af recepter centralt, og det er afgørende af finde den rette konsistens af materialet i kombination med så lavt CO_2 aftryk som muligt.

Der gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre og producenter til at reducere materialeforbrug.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at udføre mere detaljerede beregninger for brug af materiale/råstoffer.
- **Regulering og krav:** Øgede afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der fx i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Udvikling af standarder og normer for brug, herunder udarbejdelse af særskilte Eurocodes til 3D printet beton, vil mindske usikkerheder og øge udbredelsen af 3D print
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til demonstrationsprojekter vil give branchen øget incitament til anvende handlemuligheden, se desuden branchetiltag.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til en risikofond vil give branchen øget incitament til udvikling af en fond, se desuden branchetiltag.

Branchetiltag:

- **Metoder og værktøjer:** Teknologiudvikling mht. at implementere vedhæftning og armering vil øge anvendelsesmulighederne for 3D-print og dermed øge potentialet af metoden.
- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter, der deler erfaringer og beregningsgrundlag med branchen vil udbrede kendskabet til metoderne.
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af CO_2 besparende materialerecepter, herunder 3D-print med biobaserede materialer og/eller 3D-print med overskudsjord.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering**: Etablering af en risikofond i branchen vil medvirke til at nedbringe risiko og dermed økonomisk usikkerhed. En risikofond skal accelerere anvendelsen af nye løsninger for materialeudvikling og tekniske løsninger, der sparer råstoffer. Dette kan udføres ved at lave et systematisk afprøvningsforløb for dokumentation, dels lave en risikoafdækning med tilhørende forsikring

6.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

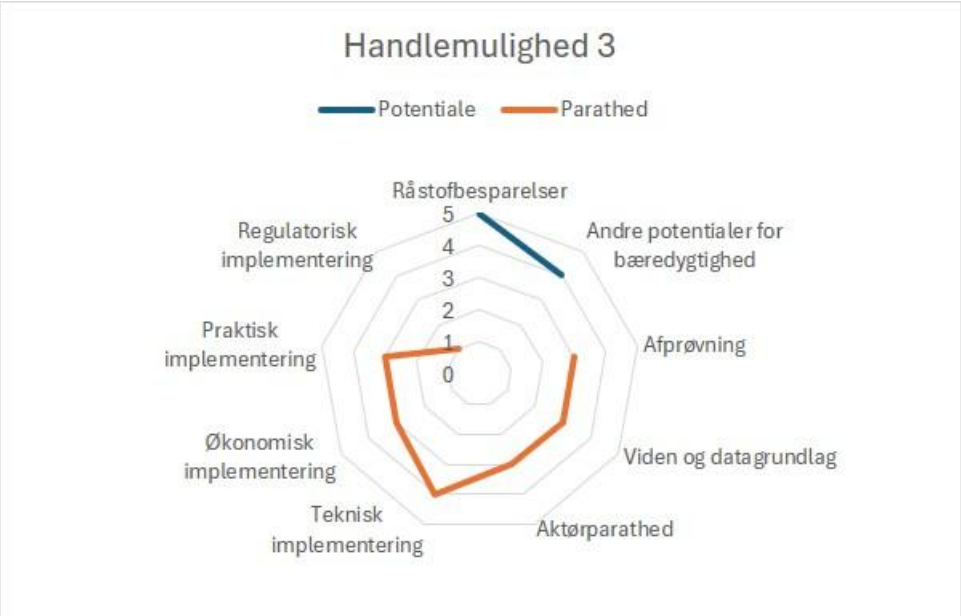
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	5		13-25 % besparelse ved 3D-print, men der er potentielt meget store besparelser ved skrue-fundering.
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Arkitektonisk frihed, skånsom for byggeplads, mindre mandskab, færre tunge løft, men uklart med reduktion af CO_2 for 3D-print.
Afprøvning		3	Afprøvninger eksisterer.
Viden og datagrundlag		3	Erfaringsopsamlinger eksisterer.
Aktørparathed		3	Manglende udbredt erfaring med metoden
Teknisk implementering		4	Teknologien eksisterer, men kan forbedres.
Økonomisk implementering		3	Teknologien er tidseffektiv og giver materialebesparelser.
Praktisk implementering		3	Teknologien kan lette arbejdsgange.
Regulatorisk implementering		1	Der mangler standarder og normer

Afbilledet ved dette diagram:



6.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på mellemlang sigt, da teknologier som 3D-print og skruefundering er under udvikling og kræver yderligere modning, standardisering og dokumentation.

7. Biogene materialer som byggemateriale

7.1 Introduktion

Ved at erstatte byggematerialer lavet af mineralske råstoffer med materialer lavet af biogene materialer, kan der spares på de mineralske råstoffer. Biogent byggeri handler om at bygge mere i træ og andre biogene materialer. I handlemuligheden er der især fokus på at bygge med træ i etagebyggeri og på at bruge andre biogene materialer i byggeriet, som fx hamp og strå.

7.2 Udvalgte cases

7.2.1 Case-samling med biogent byggeri

I en rapport er der undersøgt 45 træbygningers klimapåvirkning, ligesom der er udarbejdet en casesamling for 35 træbyggerier (Andersen et al, 2023). De 35 træbyggerier omhandler forskellige typer af byggeri af træ og andre biogene materialer. Af enfamiliehuse/sommerhuse er der i rapporten eksempler på:

- et sommerhus opført med alle bærende konstruktioner i CLT (gulv, ydervægge og tag),
- et moderne tanghus, hvor ålegræs er anvendt som isoleringsmateriale og facadebeklædning, og hvor træ blev anvendt som bærende konstruktion i kassetter samt til indvendig beklædning og trapper, og
- halmbyggerier, hvor halmelementer blev anvendt som bærende dele og med et grønt tag af sedum.

Af rækkehuse er der eksempler på byggerier der består af fx præfabrikerede CLT elementer og præfabrikerede boksmoduler. Af etageejendomme er der eksempler på byggerier der er blevet opført i et søjlebjælkesystem i limtræ og med træfacader, præfabrikerede boksmoduler, CLT elementer, et søjle-drager system i træ og trækassetter (Andersen et al, 2023).

7.2.2 Case om fremme af fleretagers træbyggeri

En undersøgelse samler erfaringer fra konkrete træbyggerier og peger på udfordringer og muligheder ved brug af træ (Teknologisk Institut, 2026). Af rapporten fremgår det, at usikkerhed hos beslutningstagere og entreprenører gør træbyggeri til et risikopræget valg, hvilket øger prisen sammenlignet med andre materialer.

Rapporten fokuserer på fem hovedudfordringer ved at bygge med træ i højden. Det er områder, hvor potentialet for træbyggeri ikke er fuldt udnyttet.

Brand: Træ er brændbart og giver udfordringer i etagebyggeri. Der findes ikke præaccepterede løsninger for byggeri over 4 etager, hvilket medfører en mere omfattende eftervisning af brandsikkerhed, hvilket kan medføre flere omkostninger.

Akustik: Lette materialer som træ kan medføre udfordringer med lydisolering, f.eks. mellem rum eller lejligheder. Akustiske løsninger kræver ofte tilførsel af andre (tungere) materialer til træbyggeriet, hvilket komplicerer og fordyrer byggeriet.

Fugt: Det danske, fugtige klima medfører øget risiko for fugtskader såsom råd og skimmel, især hvis træmaterialer ikke håndteres korrekt under byggeprocessen. I byggeprocessen kan nedbør og fugt udgøre væsentlige udfordringer, hvilket gør det nødvendigt med grundig inddækning og beskyttelse af materialerne for at forhindre vandindtrængning. Disse tiltag kan øge byggeomkostningerne og kræver omhyggelig planlægning og ekstra ressourcer for at sikre holdbare og langtidsholdbare konstruktioner.

Økonomi: Træbyggeri er ofte dyrere end traditionelle byggemetoder, da materialerne koster mere, og der kræves specialiseret arbejdskraft. Yderligere omkostninger tilføjes ofte som sikkerhed for entreprenøren, idet træbyggeri anses for mere risikofyldt, hvilket hæmmer udbredelsen af træbyggeri i Danmark.

Vidensdeling: Vidensniveauet og manglen på kompetencer udgør fortsat en betydelig udfordring i Danmark. Denne situation kan potentielt skabe usikkerhed blandt beslutningstagere. Det er derfor afgørende, at branchen stræber efter at dele erfaringer—både positive og negative—samt arbejder målrettet for at hæve kompetenceniveauet.

7.2.3 Case om MiniCO_2 Etagehus i træ i Fredericia

MiniCO_2 etagehuset i træ er et forsøgsbyggeri fra Realdania By & Byg som er opført i 5 etager og projektets læringer er udgivet i en publikation (Realdania, 2026). Projektet har arbejdet med at anvende træ i byggeriet, men har også arbejdet med at minimere de mængder af træ, der bruges i byggeriet. Bygningen har bærende massive CLT-vægge ved elevator og gavle, samt limtræssøjler indbygget i præfabrikerede hele vægstykker. Ikke-bærende trærammer blev anvendt som indvendige vægge. Isolering er overvejende træbaseret. Et schweizisk firma lavede de præfabrikerede elementer, der blev kørt til Danmark. Etagedæk er udført i træ og med sand som lyddæmpende materiale (Realdania, 2026).

7.2.4 Case om TRÆ – 20 etagers kontorhus i Danmark

TRÆ er Danmarks højeste hus med træ i den bærende konstruktion. Huset er 78 meter højt, fordelt over 20 etager og det stod færdig i 2024. Byggeriet bruger genbrugsmaterialer som gamle vindmøllevinger, søgræslofter, plastikflasker, gulvbrædder fra Aarhus Vest og renoverede lamper. Udendørs er der lagt genbrugssten. Pension Danmark skriver, at TRÆs løsninger har reduceret CO_2-udledningen med op til 75 % sammenlignet med traditionelle bygninger (Pension Danmark, 2024).

7.2.5 Case om Mjøstårnet, Brumunddal i Norge

Mjøstårnet er et højhus i træ med 18 etager, som ligger i Brumunddal i Norge. Mjøstårnet består af kontorer, hotel, lejligheder, restaurant og konferencelokaler og en tagterrasse og stod færdigt i 2019 og var dengang verdens højeste træbyggeri (Liven og Abrahamen, 2023).

De træbaserede komponenter omfatter limtræskonstruktioner i de bærende dele, CLT i elevator- og trappeskakter samt gulv- og facadeelementer af træ. I alt blev der brugt omkring 4000 m³ træprodukter. Limtræskonstruktionerne samt gulv- og facadeelementerne blev fremstillet kun 15 kilometer fra byggepladsen (Liven og Abrahamen, 2023).

7.2.6 Case om Veje til biobaseret byggeri

Veje til biobaseret byggeri er en national, Realdania-initieret indsats, der handler om at gøre biobaserede byggematerialer (fx træ, halm, hamp, græs og ler) til reelle, skalerbare alternativer i dansk byggeri og til en del af den almindelige byggepraksis (Realdania, uden årstal).

Indsatsen undersøger hvad der konkret skal til, for at biobaserede materialer kan bruges bredt i dansk byggeri og bidrage til at reducere byggeriets klimaaftryk. Det handler ikke kun om materialer, men om hele værdikæden – fra mark og skov til færdigt byggeri (Dagens byggeri, 2025).

Der er udgivet mange publikationer, der dækker forskellige vinkler på tværs af initiativet. I en publikation fra JAJA Architects, samles en række overvejelser i et blik på tværs af delprojekterne. Af publikationen fremgår blandt andet, at fordele ved at bygge biobaseret er, at byggeriet kan avendes som CO_2 lager på den korte bane til at forsinke emissioner til atmosfæren. Publikationen pointerer at biomasse har et lager af biogent carbon, der bør holdes i planterne så længe som muligt (JAJA Architects, 2025).

Publikationen pointerer, at stort set alle Danmarks arealer er i brug, og at en overvejende del af det dyrkede land bruges til foder til husdyr. Hvis der skal dyrkes mere biomasse til brug for byggeriet, vil der være en række konkurrerende anvendelser i forhold til, hvad biomassen skal bruges til. Ved biomasseproduktion skal der således være en diskussion af hvilke aftagere af biomassen, der har første prioritet (JAJA Architects, 2025).

Hvis byggeriet fortsætter samme vækst som i dag, vil det kræve, at 60 % af Danmarks areal skal bruges til skov, og al tømmer skal bruges i byggeriet. Ved at bygge mindre kan denne andel reduceres. Dyrkning af flerårige og hurtigt voksende afgrøder som supplement til skovdrift, kan ligeledes være en løsning. Hvis 1-2 % af Danmarks areal anvendes til dyrkning af afgrøder målrettet produktion af byggematerialer kan behovet for isolering og plademateriale dækkes (JAJA Architects, 2025).

7.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

7.3.1 Potentielle råstofbesparelser

<u>Potentialeberegning 1</u>

En reduktion af mineralske råstoffer som følge af mere byggeri med biogene materialer vil ske gennem en ændring i byggeskik. Dette vil føre til lettere konstruktioner og ændrede konstruktionsprincipper, hvor mere træ og biobaserede materialer vil blive anvendt i bærende konstruktioner, facader og isolering.

I en artikel fremgår et eksempel med et træbyggeri, der har erstattet 58 % af betonen med træ (Liang et al, 2020).

Der anvendes omkring 6 mio. tons sand og grus til beton til byggeriet i alt om året (Se rapport om "mineralske råstoffer i Danmark").

Hvis det antages, at træbyggeriet beskrevet i artiklen er repræsentativ for de materialebesparelser, der kan opnås ved omstilling til biogent byggeri, betyder det, at der kan spares 58 % af al beton.

Hvis det antages, at dette betyder, at der også kan spares 58 % af al sand, grus og sten anvendt til beton i byggeriet, kan der spares 3,48 mio. tons sand og grus i byggeriet årligt.

Potentialeberegning 2

Ud fra data fra case om Kværnloftet kan der regnes et forbrug af beton ud pr etagemeter.

1 m^3 beton indeholder 1130 kg sten og 790 kg sand (Smith og Andersen, 2015).

For en 5 etagers bygning med kælder på samlet 1.152 m^2 anvendes der 445 m^3 beton, dvs. 503 tons sten og 351 ton sand. Samlet set 0,74 ton sten og sand pr etage m^2.

For en 8 etagers bygning på samlet 2.350 m^2 anvendes der 787 m^3 beton, dvs. 889 tons sten og 622 tons sand. Samlet set 0,64 ton sten og sand pr etage m^2.

Ud fra ovenstående antagelser kan der herefter regnes med et samlet forbrug af sten og sand til beton på 0,7 ton pr etage m^2.

Hvis der regnes med en 58 % besparelse på råstofferne kan dette forbrug nedsættes til 0,29 ton sten og sand pr m^2 og med en besparelse på 0,41 ton sten og sand pr m2.

I 2025 blev der påbegyndt byggeri på samlet 6,6 mio. m^2 etageareal (Danmarks Statistik, 2026). Hvis det forudsættes, at halvdelen af det nybyggede etageareal erstattes med træbyggeri, giver dette en besparelse på 1,35 mio. ton råstoffer (3,3 mio. m^2 byggeri * 0,41 ton/m^2). Hvis alt byggeri substitueres, så er besparelsespotentialet 2,7 mio. tons mineralske råstoffer (sand og sten) (6,6 mio. m^2 byggeri * 0,41 ton/m^2). Dette er ca. 700.000 tons mindre end i beregning 1. Begge beregninger bruger data fra (Liang et al, 2022), men beregning 1 tager udgangspunkt i det samlede forbrug af råstoffer til beton til byggeriet, mens beregning 2 tager udgangspunkt i arealet af påbegyndt byggeri.

Samlet vurdering af potentiale for designoptimering af beton:

Samlet set vurderes det på baggrund af potentialeberegning 1 og 2, at der i bedste fald kan spares mellem 2,7-3,5 mio. tons sand og grus i byggeriet årligt, hvis alt byggeri opføres som biogent byggeri.

Hvis 50 % af al byggeri opføres som biogent byggeri kan der spares 1,35 - 1,75 mio. tons sand og grus årligt.

7.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Træ og andre biogene materialer optager CO_2 under vækst. Dermed lagrer man kulstoffet i bygningens levetid. En rapport fra Rambøll har beregnet, at der kan ske reduktioner på mellem 12 og 39 % CO_2-ækvivalenter på tværs af seks case-byggerier. Det største potentiale ligger i at udskifte byggeriets bærende konstruktioner fra fx beton til limtræ, men en fuld udskiftning, hvor både konstruktion,

beklædning, isolering mm udskiftes kan reducere den samlede CO_2 udledning for et etagebyggeri med 39 procent (Dansk Byudvikling, 2024).

Træ og biogene materialer er en fornybar ressource – modsat mineralske råstoffer. Det er væsentligt at sikre at træ og andre biogene materialer til byggeriet kommer fra ansvarligt forvaltede skove og arealer. Brug af sprøjtemidler er en væsentlig faktor ift. påvirkning af miljøet.

Træ er et lettere materiale, hvilket gør det nemmere at håndtere og installere.

Overfladebehandling kan reducere bæredygtighed, idet der potentielt kan forekomme udvaskning af miljøfremmede stoffer fra facaderne via regnvand. Omvendt kan overfladebehandling øge materialernes levetid og beskytte mod brand. I Mini CO_2 etagehuse af træ er udvaskning af brandimprægnering via regnvand fra facaderne en del af brandstrategien, og imprægneringen skal løbende kontrolleres (Realdania, 2026).

Derudover skal det bemærkes, at produktionsskove er ofte biologisk simplificerede økosystemer med lavere biodiversitet end naturskove. Det er derfor vigtigt at være opmærksom på dette aspekt ved etablering af monokulturer over store arealer.

7.4 Barrierer

I det følgende er barrierer beskrevet med udgangspunkt i barrierer for fleretagers træbyggeri (Bygge- og anlægsavisen, 2026).

Tekniske og faglige barrierer: En central barriere for anvendelse af biogene materialer, særligt træ i fleretagers byggeri, er knyttet til brandsikkerhed. Gældende brandregler og præaccepterede løsninger er i vid udstrækning udviklet med beton som dominerende byggemateriale, og der mangler tilsvarende løsninger for træbyggeri over fire etager.

Derudover indebærer brug af biogene materialer en række tekniske udfordringer relateret til fugt og akustik. I et fugtigt dansk klima er korrekt fugthåndtering afgørende for holdbarheden af træbyggeri, og mange problemer opstår, hvis fugt først adresseres sent i byggeprocessen. Samtidig giver lette trækonstruktioner akustiske udfordringer, som ofte løses ved brug af semitunge konstruktioner, fx betondæk oven på CLT, dobbeltvægge og særlige samlingsdetaljer. Disse løsninger kan reducere den samlede råstofbesparelse og øge den tekniske kompleksitet.

Det vil derudover i mange tilfælde være nødvendigt at overfladebehandle træ, hvilket kan give en miljømæssig påvirkning ved udvaskning fra fx facader.

Økonomiske barrierer: Manglende erfaring med biogene materialer kan medføre, at træ- og biobaseret byggeri opfattes som en dyrere og mere risikofyldt løsning end traditionelle byggemetoder. Usikkerhed om projektering, udførelse og drift kan resultere i højere omkostninger til rådgivning, dokumentation og kvalitetssikring. Derudover kan behovet for supplerende løsninger til brand, fugt og akustik øge materialeforbruget. Disse meromkostninger kan gøre biogene løsninger mindre attraktive.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Anvendelse af biogene materialer forudsætter erfaring og kompetencer hos både bygherrer, rådgivere og udførende. Manglende rutine og begrænset erfaring med træbyggeri kan skabe usikkerhed i projekterne og føre til en præference for kendte og gennemprøvede løsninger. Derudover håndteres centrale problemstillinger som fugt ofte sent i processen og overlades i høj grad til entreprenøren, hvilket kan øge risikoen for fejl og skader og dermed forstærke tilbageholdenheden over for biogene løsninger.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Regulering og standarder er i dag i begrænset omfang tilpasset fleretagers byggeri med biogene materialer. Manglen på præaccepterede løsninger, særligt inden for brand, betyder, at biogene byggerier ofte møder øgede dokumentationskrav. Dette kan udgøre en væsentlig barriere for anvendelse af træ og andre biogene materialer i større skala.

7.5 Næste skridt

Det vurderes, at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i, at der mangler præaccepterede løsninger for brand for træbyggeri over fire etager. Der eksisterer mange demonstrationsprojekter for højhuse i træ, men det er endnu ikke en standardløsning. Derudover eksisterer også demonstrationsprojekter for bygninger lavet af biogene materialer som hamp, halm og ålegræs, men disse løsninger er heller ikke standardløsninger. Der er umiddelbart et stort potentiale for råstofbesparelser. Dertil kommer at der er et samtidigt potentiale for CO_2 besparelser og CO_2 lagring.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre og producenter til at anvende mere biogent materiale i byggeriet.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at anvende mere biogent materiale i byggeriet.
- **Regulering og krav:** Øgede afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse og derved bruge flere biogene materialer. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvor der fx i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Udvikling af præaccepterede løsninger for brand for træbyggeri over 4 etager og andet biogent byggeri vil mindske usikkerheder ved brug af biogene materialer og øge udbredelsen.
- **Regulering og krav:** Udvikling af standardiserede brandsikre konstruktioner og samlingsdetaljer vil mindske usikkerheder ved brug af biogene materialer og øge udbredelsen.
- **Regulering og krav:** Udvikling af mere materialeneutrale funktionskrav i Bygningsreglementet vil mindske usikkerheder ved brug af biogene materialer og øge udbredelsen.
- **Regulering og krav:** Udvikling af dokumentationskrav til fugthåndtering vil mindske usikkerheder ved brug af biogene materialer og øge udbredelsen
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til metoder og demonstrationsprojekter vil give branchen øget incitament til at anvende handlemuligheden, se desuden branchetiltag.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til en risikofond vil give branchen øget incitament til udvikling af en fond, se desuden branchetiltag.

Branchetiltag:

- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af fugtstrategier og løsninger for akustik, herunder brug af sensorer, vil øge anvendelsesmulighederne for biogent byggeri og dermed øge potentialet.
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af overfladebehandling, der er skånsom for miljøet vil mindske miljøbelastningen ved biogent byggeri.

- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter, der deler erfaringer og måleprogrammer med branchen vil udbrede kendskabet til metoderne.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering**: Etablering af en risikofond i branchen vil nedbringe risiko og dermed økonomisk usikkerhed. En risikofond skal accelerere anvendelsen af nye løsninger for materialeudvikling og tekniske løsninger, der sparer råstoffer. Dette kan udføres ved at lave et systematisk afprøvningsforløb for dokumentation, dels lave en risikoafdækning med tilhørende forsikring.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Etablering af undervisningstilbud omkring løsninger for biogent byggeri vil udbrede kendskabet til løsninger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Indsamling og deling af viden om løsninger, herunder byggeomkostninger vil udbrede kendskabet til løsninger.

7.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

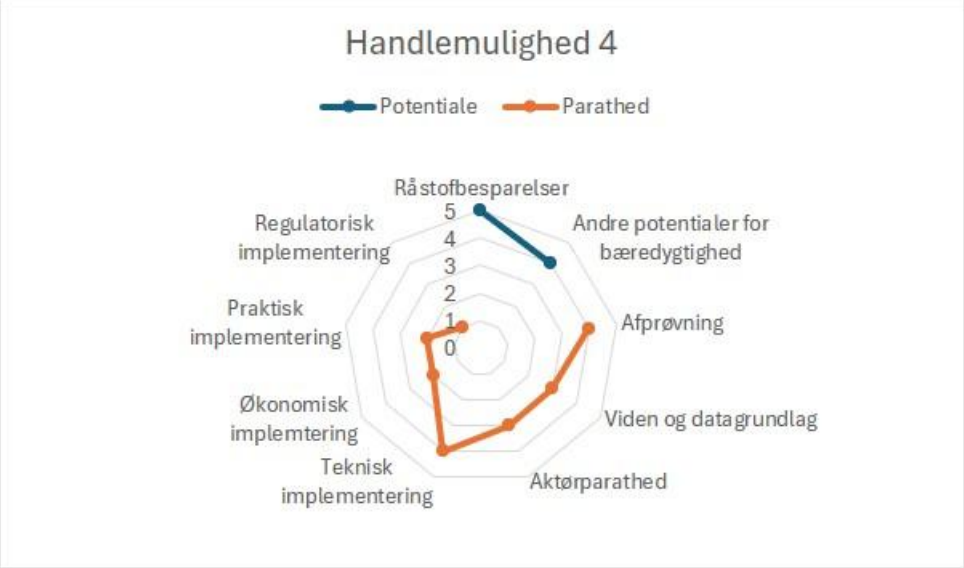
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	5		Besparelse på omkring 3 mio. tons
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Væsentlig CO_2 reduktion, CO_2 lagring, fornybar ressource.
Afprøvning		4	Afprøvninger eksisterer i stor skala.
Viden og datagrundlag		3	Erfaringsopsamlinger eksisterer.
Aktørparathed		3	Manglende udbredt erfaring med metoden
Teknisk implementering		4	Teknologier og metoder eksisterer, men kan forbedres.
Økonomisk implementering		2	Teknologi/metode er ofte dyrere.
Praktisk implementering		2	Arbejdsgange ift. fugthåndtering skal ændres
Regulatorisk implementering		1	Der mangler standarder og normer

Afbilledet ved dette diagram:



7.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på mellemlang sigt, da teknologien er kendt, men udbredelsen forudsætter løsninger på brand-, fugt- og dokumentationskrav.

8. Genbrug og genanvendelse af byggeaffald til nye byggematerialer

8.1 Introduktion

Handlemuligheden handler om hvordan genbrug og genanvendelse af byggeaffald kan anvendes til nye byggematerialer, hvorved der kan spares på anvendelsen af jomfruelige råstoffer. Der er efterhånden opnået en del erfaring med genbrug og genanvendelse af forskellige materialer. Handlemuligheden har dog fokus på den direkte erstatning, dvs. der hvor genanvendt og genbrugt beton eller genanvendt og genbrugt tegl kan erstatte primære mineralske råstoffer. Det bemærkes, at der også kan være tilfælde af genanvendelse og genbrug, fx genbrug af vinduer eller træ, men dette er ikke direkte medtaget her da fokus er på de tunge fraktioner.

8.2 Udvalgte cases

8.2.1 Cases om genbrug af beton

(P)RECAST er et forsknings- og udviklingsprojekt støttet af MUDP under Miljøstyrelsen. Projektet skal bane vejen for genbrug af hele betonelementer i nyt byggeri og er et samarbejde mellem 13 aktører i byggebranchen. Der er udgivet en række rapporter om emnet. (P)RECASt har blandt andet lavet et erfaringskatalog, der beskriver igangværende og afsluttede initiativer der omhandler genbrug af betonelementer i Danmark og globalt. Der eksisterer en del eksempler, både demonstrationsprojekter, forsknings- og udviklingsprojekter samt nedtagnings- og byggeprojekter (Teknologisk Institut, citeret d. 25-09-2026). I (P)RECAST projektet blev der nedtaget betonelementer i Gellerupparken ved Aarhus. Disse blev testet og efterfølgende genindbygget (Aarhus Universitet, 2024).

Betonelement-foreningen har beskrevet et forslag til en proces i fire faser, der kan bruges som udgangspunkt for en dialog omkring genbrug af huldæk, idet betonelementproducenterne ønsker at blive inkluderet tidligt i processen. Den første fase omhandler forudgående arbejder, der dækker over identificering og fjernelse af skadelige stoffer og planlægning af nedrivning, så skader på betonelementerne minimeres. Den anden fase omhandler en visuel vurdering, hvilket indebærer kontrol af revner, skader og generel tilstand, herunder om huldæk fortsat har pilhøjde. Den tredje fase indebærer test før genbrug vedrørende betonstyrke, armeringskvalitet, fuldskala forskydningstest og beregninger. Den sidste fase omhandler dokumentation af bæreevne og statisk dokumentation (Betonelement-Foreningen, intet årstal).

I Aalborg skal Himmerland Boligforening opføre et Green Hub House, som er et fire etagers byggeri, som skal være klar til indflytning i 2027. Bygningen bygges som en trækonstruktion, hvor der etableres et betondæk mod terræn ud over en skruefundering i stål. Terrændækket laves ved at genbruge huldæk, der tidligere har været brugt i etageadskillelser. Huldækket er ikke en del af konstruktionen, men alene en del af terrændæk og derfor skal det kun bære sig selv (4til1planet, citeret d. 25-09-2026).

I Bystævneparken i Københavns Nordvest kvarter har Byggeri København fået nedtaget et tidligere plejehjem med henblik på at anvende betonelementer fra det eksisterende byggeri igen. Betonelementerne er nedtaget i København og er efterfølgende transporteret til to producenter, hvor de testes og opbevares. Herefter skal betonelementerne genbruges i E-huset ved Sjælør station i København. Der er udtaget omkring 100 huldæk, som skal anvendes til direkte genbrug. Huldæk er testet for skadelige stoffer og på baggrund af dette, blev der konstateret PCB. Betonelementerne blev derfor sandblæst indtil koncentrationen var under 0,1 mg/kg PCB. Under nedtagningen var der desuden fokus på at sikre korrekt understøtning og afstivning, så råhusets vægelementer ikke væltede, når de ikke længere var forbundet med dækelementerne. Samtidig blev huldækkene understøttet med vinkelbeslag for at forhindre, at de faldt ned efter friskæringen (Byggeri København, uden årstal), (Byggeri København, 2025)

8.2.2 Cases om genanvendelse af beton som tilslag i ny beton

Nedrevet beton fra eksisterende konstruktioner kan nedknuses og bruges som tilslag i produktionen af ny beton. Ifølge BYGERFA's erfaringsblad om genanvendelse af beton har denne anvendelse været både teknologisk udviklet og praktisk afprøvet i Danmark og EU siden 1980'erne. Desuden er der gennemført et mindre antal demonstrationsprojekter, som har vist at beton med genanvendt tilslag er ligeværdig med traditionel beton. Specifikationer for genanvendt tilslag i ny beton er givet i betonstandarden DS 206:2024, hvori der er en række dokumentationskrav, hvor tilslaget blandt andet skal dokumenteres rent ift. forekomst af miljøskadelige stoffer og forekomst af andre materialer (BYG-ERFA, 2024).

Et eksempel på genanvendelse af beton som tilslag i ny beton, ses i det nyetablerede rådhus i Høje-Taastrup Kommune, der er et af de første større offentlige byggerier i Danmark, hvor der er brugt genanvendt beton i fundamentet. Den genanvendte beton kom fra en del af boligområdet Taastrupgaard, der skulle rives ned. Byggeriet af rådhuset er et demonstrationsprojekt i det europæiske Horizon2020-projekt Cityloops, der tester og demonstrerer cirkulært byggeri i samarbejde med syv europæiske byer (Gate21, intet årstal).

Et andet eksempel er byudviklingsprojektet Travbyen i Billund, hvor fundamenter, terrændæk og gulve i et byggeri på 2,5 etager er udført i beton baseret på sekundære råstoffer fra genanvendt byggeaffald. Tilslaget i konstruktionsbetonen består udelukkende af knuste og sorterede materialer som beton, mursten og mørtel, og betonen er dokumenteret med samme mekaniske egenskaber som traditionel konstruktionsbeton. En del af materialerne stammer desuden fra bygninger, der er nedrevet på selve byggegrunden. Af artiklen fremgår det endvidere, at virksomheden har modtaget Danmarks første end-of-waste-godkendelse fra Miljøministeriet (Dagens Byggeri, 2026).

8.2.3 Case om genbrug af tegl

I 2018 blev det muligt at CE mærke genbrugte mursten, idet ETA-Danmark sammen med firmaet Gamle Mursten udarbejdede grundlaget for CE-mærkning af genbrugte mursten igennem et MUDP-projekt. CE-mærkning er en vigtig dokumentation for byggematerialers ydeevne. Alle byggematerialer, som er omfattet af en harmoniseret standard, skal være CE-mærket, herunder nye mursten. Men genbrugte mursten var tidligere ikke mulige at CE-mærke, da der ikke eksisterede en metodebeskrivelse for dette. Første skridt på vejen mod CE-mærkningen var en såkaldt EAD (European Assessment Document).

EAD'en beskriver, hvordan produktet skal testes, for at den ETA (European Technical Assesment), der ligger til grund for CE-mærket, kan udstedes. ETA-Danmark kunne på baggrund af EADen udstede en ETA til Gamle Mursten, som herefter kan CE-mærke sine produkter (Dagens byggeri, 2018b).

I et BYGERFA erfaringsblad for genbrug af mursten beskrives, hvilke egenskaber der bør deklareres og her nævnes format, trykstyrke og densitet, minutsugning og vedhæftning samt frostfasthed (BYGERFA, 2019).

Gamle Mursten har som virksomhed gennem mange år har specialiseret sig i at genbruge mursten. Her har de leveret mursten til både renovering og nybyggeri, fx har de i 2025 leveret 96.000 hele røde, maskinrensede genbrugssten og 260.000 skaller i lysegule nuancer til CPH Pulse, som er opført af Skanska (Gamle mursten, citeret d. 28-09-2026).

8.2.4 Case om genanvendelse af tegl og mørtel i nye byggesten

Nedrevet tegl og mørtel kan nedknuses og potentielt anvendes i nye byggematerialer.

I et MUDP-støttet projekt er der arbejdet med at genanvende murværksaffald til fremstilling af nye byggesten (kaldet BrickCycling). Projektet havde til formål at gennemføre forsøg og tests på byggesten baseret på genanvendt murværksaffald med afsæt i de produktkrav og specifikationer, der gælder for mursten, som er det konventionelle materiale, der bedst svarede til BrickCyclings fremstillingsproces. Produktionen blev afprøvet i både lille og stor skala for at undersøge mulighederne for opskalering, og materialet blev testet for blandt andet styrke og holdbarhed. De mest lovende blandinger blev efterfølgende opskaleret og produceret på en betonstempelmaskine til betonfliser. Projektet resulterede i et stabiliseret materiale, som kan anvendes indendørs, dog ikke i vådrum, mens den videre ambition er at udvikle produktet til også at kunne anvendes udendørs, herunder som facade- og bærende element (Larsen, 2024).

Et andet udviklingsprojekt omhandler anvendelse af nedknust teglaffald som delvis erstatning for cement i beton og mørtel. Projektet beskriver, at flere internationale forskningsstudier har vist, at nedknust tegl med fordel kan anvendes som delvis erstatning for cement i beton grundet materialets puzzolanske egenskaber. For at kunne anvendes skal teglaffaldet knuses til et meget fint pulver og materialet må ikke være brændt ved for høje temperaturer. Flere studier har rapporteret øgede styrkeegenskaber, forbedret holdbarhed samt ændringer i farvenuancer i de cementbaserede materialer (Dansk Beton, citeret d. 28-09-2026). I projektet blev der undersøgt 5 forskellige mursten: En gammel gul, en ny gul, en gammel rød, en ny rød, og en blandet teglfraktion (nedrivningsaffald modtaget hos Norrecco). I projektet blev de 5 forskellige fraktioner lavet til pulver og testet som delvis cementerstatning (40% erstatning). De 5 fraktioner blev sammenlignet med hinanden og med en reference med 100% cement. Projektet viste blandt andet, at prøverne med tilsat teglpulver i alle tilfælde klarede sig dårligere end referenceprøven. Dette var dog også forventeligt. Forsøget viste dog, at der foregår reaktioner mellem teglpulver og cement. Trykstyrken stiger fra dag 28 til dag 91. Gamle teglsten gav bedre trykstyrke end nye teglsten (op til 85 % af referencen), og den blandede teglfraktion nåede op på en trykstyrke på ca 74 % af referenceprøven. I projektet konkluderes at dette er rigtig gode styrker ved så høj en erstatningsgrad (40%) (Bertelsen, Kunther og Ottosen, 2025).

8.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

8.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning 1 for nedknust beton:

I (BYG-ERFA, 2024) estimeres en årlig 'produktion' af betonaffald på 3 mio. tons, hvoraf 40% (dvs. 1,2 mio. ton) vurderes egnet til genanvendelse som tilslag i ny beton.

Hvis det forudsættes, at 1,2 mio. tons genanvendt beton erstatter 1,2 mio. tons sand og grus ud af de 6 mio. ton råstoffer, der anvendes til beton i byggeriet, er der et potentiale på ca. 20 %. Det bemærkes dog, at det fremgår af BYG-ERFA, 2024 at det skønnes, at genanvendt tilslag kan dække 5% af det årlige forbrug af tilslagsmaterialer til produktion af beton, eksponeringsklasse X0 og XC1, hvilket er en væsentlig mindre andel.

Det bemærkes også, at det genanvendte beton også kan bruges til beton i anlægssektoren, og at nedknust beton i forvejen bliver nyttiggjort i anlægsprojekter, og dermed i forvejen erstatter råstoffer.

For tegl gælder samme betragtning som for beton. Størstedelen nyttiggøres allerede og erstatter råstoffer.

8.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Ved direkte genbrug af beton og tegl kan der opnås CO_2-besparelser, fordi behovet for at producere nye byggematerialer reduceres. Størrelsen af denne besparelse afhænger dog blandt andet af transportafstanden til og fra de steder, hvor materialerne skal anvendes.

Når det gælder genanvendelse af beton som tilslag i ny beton, viser erfaringer, at CO_2-udledningen ved produktionen ikke adskiller sig væsentligt fra produktionen af traditionel beton (BYG-ERFA, 2024).

Derudover har genbrug af materialer fra ældre bygninger også en kulturel og historisk dimension. Ved at bevare og genbruge tegl, sten eller beton fra historiske konstruktioner kan man fastholde en del af den lokale bygningsarv og identitet, hvilket bidrager til både bæredygtighed og kulturel værdi. Dette ses blandt andet i restaureringsprojekter, hvor originale materialer genbruges for at bevare bygningens autenticitet og historie.

8.4 Barrierer

Med udgangspunkt i publikationen "Den gode dokumentationsproces for genbrugsmaterialer" (Kock-Ørvad et al, 2023) er barrierer beskrevet i det nedenstående.

Tekniske og faglige barrierer: Mange byggematerialer er ikke designet med henblik på demontering og genbrug. Sammensatte materialer, fastlimede lag, støbte konstruktioner og kemisk behandlede produkter gør adskillelse og genanvendelse vanskelig. Hertil kommer variation i kvalitet, slid, skader og manglende kendskab til materialernes restlevetid, som begrænser mulighederne for direkte genbrug.

Tilstedeværelse af miljø- og sundhedsskadelige stoffer (fx asbest, PCB, tungmetaller, PAH og PFAS) udgør en væsentlig barriere. Forurenede materialer kræver sanering, særskilt håndtering eller destruktion, hvilket ofte gør genbrug teknisk, økonomisk eller lovgivningsmæssigt svært. Usikkerhed om indhold af problematiske stoffer er i sig selv ofte nok til, at materialer fravælges til genbrug.

Derudover er der manglen på tilstrækkelig og standardiseret dokumentation. Bygherrer, rådgivere og udførende mangler ofte dokumentation for genbrugte materialers tekniske egenskaber, herunder bæreevne, ydeevne samt restlevetid. Information om tidligere anvendelse kan også være svært at indhente.

Økonomiske barrierer: Genbrug er ofte mere arbejdskrævende end traditionel nedrivning og bortskaffelse. Omkostninger til nænsom nedtagning, sortering og oplagring, test og dokumentation samt logistik og koordinering kan overstige prisen på nye materialer, især når miljøgevinster ikke er direkte økonomisk værdisat i projektet.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Manglende sammenhæng mellem udbud og efterspørgsel er en gennemgående udfordring. Materialer bliver tilgængelige på tidspunkter, hvor der ikke er et konkret aftagerprojekt, og opbevaring kan være pladskrævende og kostbar. Transportafstande og CO_2-belastning kan desuden reducere den samlede miljøgevinst ved genbrug.

Traditioner, vaner og risikokultur i byggebranchen spiller en stor rolle. Aktører foretrækker ofte kendte løsninger og standardprodukter frem for genbrugte materialer, som opfattes som mere komplekse og risikofyldte. Manglende erfaring, kompetencer og tid i projekterne forstærker denne barriere.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Byggelovgivningen er i vid udstrækning indrettet efter anvendelse af nye, CE-mærkede produkter. Krav i bygningsreglementet, produktstandarder, udbudsmateriale og kontrakter kan indirekte favorisere nye materialer og dermed gøre genbrug mere administrativt komplekst. Desuden opleves usikkerhed omkring ansvarsplacering ved anvendelse af genbrugsmaterialer.

8.5 Næste skridt

Det vurderes, at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i, at det kan være svært at få materiale nok. Der eksisterer mange eksempler på genanvendelse og genbrug af beton og tegl, som er de affaldsfraktioner i byggeriet, der vil erstatte nye mineralske råstoffer. Ved genbrug af beton anvendes fx huldæk på samme form igen, mens genbrug af tegl kan bestå af genbrug af mursten og tagsten. Genbrug foretrækkes frem for genanvendelse, da der vil være et vidst materialespild, når materialerne nedknuses. Derudover vil CO_2 gevinsten umiddelbart også være større ved genbrug. Genbrug af mursten er det område, der er længst fremme og adskillelige byggerier har allerede anvendt genbrugte mursten. På trods af dette er det ikke løsninger, der anvendes i stor skala.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre og producenter til at bruge genbrugsmaterialer.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet og krav til en andel af genbrugte/genanvendte materialer på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at bruge genanvendte/genbrugte materialer.
- **Regulering og krav:** Afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse og dermed bruge sekundære råstoffer. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Udvikling af standarder for brug af forskellige typer af sekundære råstoffer vil mindske usikkerheder og øge udbredelsen.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til udvikling af nye anvendelser af sekundære materialer, markedspladser, demonstrationsprojekter og kompetenceudvikling vil give branchen øget incitament til udvikling af dette, se desuden branchetiltag.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til en risikofond vil give branchen øget incitament til udvikling af en fond, se desuden branchetiltag.

Branchetiltag

- **Metoder og værktøjer:** Etablering af markedspladser for sekundære materialer vil øge sandsynligheden for at matche udbud og efterspørgsel.
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af løsninger for bedre nedtagning og sortering af sekundære materialer.
- **Metoder og værktøjer:** Fortsat udvikling af løsninger, fx genbrug af beton, genanvendelse af tegl og mørtel vil øge mulighederne for bruge de sekundære materialer igen,
- **Økonomiske incitamenter og finansiering**: Etablering af en risikofond i branchen vil give mere dokumentation samt nedbringe risiko og dermed økonomisk usikkerhed. En risikofond skal accelerere anvendelsen af nye løsninger for materialeudvikling og tekniske løsninger, der sparer råstoffer. Dette kan udføres ved at lave et systematisk afprøvningsforløb for dokumentation, dels lave en risikoafdækning med tilhørende forsikring.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Etablering af undervisningstilbud omkring brug af sekundære råstoffer vil udbrede kendskabet til løsninger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Indsamling og deling af viden om løsninger vil udbrede kendskabet til løsninger.

8.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

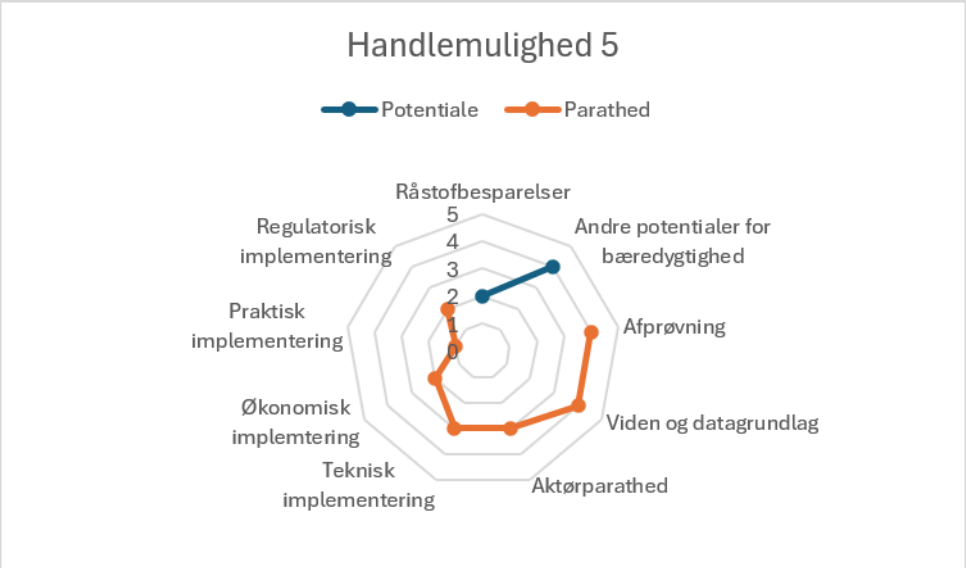
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	2		Mange af de sekundære råstoffer anvendes i forvejen som erstatning for primære råstoffer.
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Reduktion af CO_2 ved genbrug, bevarelse af kulturelle værdier.
Afprøvning		4	Afprøvninger eksisterer i stor skala for nogle sekundære råstoffer
Viden og datagrundlag		4	Erfaringsopsamlinger eksisterer.
Aktørparathed		3	Manglende udbredt erfaring med metoderne.
Teknisk implementering		3	Teknologier og metoder eksisterer, men kan forbedres.
Økonomisk implementering		2	Teknologi/metode er ofte dyrere.
Praktisk implementering		1	Arbejdsgange ift. nedtagning og logistik skal ændres. Matching af materialer er svært.
Regulatorisk implementering		2	Der mangler standarder og normer

Afbilledet ved dette diagram:



8.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på mellemlang sigt, men implementering af det fulde potentiale kræver bedre logistik, markedsmodning og klare regler for dokumentation og ansvar.

9. Overskudsjord som byggematerialer

9.1 Introduktion

Handlemuligheden handler om at bruge overskudsjord som byggemateriale. Der er her tale om en direkte erstatning af råstoffer med overskudsjord, som anvendes til byggematerialer. For at løsningen giver mening i et ressourceperspektiv, skal der være tale om, at overskudsjord kan anvendes i stedet for anvendelse af "jomfrueligt" ler. Ellers vil der blot være tale om at mineralske råstoffer går fra en anvendelse som byggemateriale til en anden anvendelse som byggemateriale, dvs. fra produktion af tegl til stampet lerjord. Overskudsjord anvendes fx. ved brug af teknologien "Stampet lerjord", som er en byggeteknik, hvor fugtig moræne/lerjord komprimeres i lag i en form.

9.2 Udvalgte cases

9.2.1 Case om Leralliancen

Leralliancen er opstået som et fælles initiativ mellem en gruppe af rådgivere, bygherrer, forskningsmiljøer og entreprenører, herunder aktører der arbejder som råmaterialeleverandør og aktører der arbejder med materialeudvikling og robotteknologier. Leralliancen arbejder på at udvikle stampet lerjord til et dokumenteret, standardiseret og skalerbart byggemateriale. I Hanak et al, (2025) beskrives Leralliancens resultater og erfaringer.

Stampet lerjord til byggematerialer udvikles ved, at der indsamles overskudsjord til homogenisering og stampning. Ved stampning af jorden produceres byggeelementerne, der transporteres til en byggeplads, hvorefter en bygning konstrueres af elementerne. Når bygningen rives ned, kan byggematerialet blive til jord igen (Hanak et al, 2025).

Leralliancen arbejder med at industrialisere en proces for stampet lerjord, som ser således ud:
1. En forskalling (form) opsættes
2. Lerjord fyldes i - et lag ad gangen
3. Hvert lag stampes hårdt med tryk
4. Lag på lag bygges op til den ønskede højde
5. Element afforskalles og sættes til tørring

Leralliancen har testet materialet, samt designet og udviklet et produktionsklart byggeelement. Derudover er der arbejdet med at automatisere og effektivisere produktionen (Hanak et al, 2025).

Leralliancen skriver, at moræneler kan anvendes til stampet lerjord. Moræneler er udbredt i Danmark med undtagelse af det vestlige Jylland, hvor sandlag dominerer samt i dele af Nordjylland. Leralliancen

har undersøgt forskellige forekomster af jord, dog med vægt på tre forskellige typer af jordforekomster, herunder jord fra grusgrave, modtageanlæg og byggepladser (Hanak et al, 2025).

Jordens egnethed vil afhænge af en række parametre, som fx kornkurve, trykstyrke, glødetab, organisk indhold, plasticitet og mineralogi. Leralliancen har desuden arbejdet med at lave en fysisk stabilisering og tilsætning af fibre med det formål at forbedre jorden. Der er arbejdet med at tilsætte slamler, brændt flint, bundsikring, stabilgrus og lerpulver, men i praksis viste det sig svært at forbedre jorden. Forureningsgrad er også en parameter, der skal tages højde for, og Leralliancen skriver, at forureningsgraden skal være klasse1/kategori 0-1, hvis materialet skal anvendes i byggeriet (Hanak et al, 2025).

Leralliancen beskriver, at de har taget udgangspunkt i tyske DIN-standarder, som bygger på Eurocode 6. Derudover har de anvendt de tyske Lehmbau Regeln og andre europæiske murværkskoder. De skriver at næste skridt er at opnå teknisk godkendelse af ETA Danmark, samt udvikle lerjordstandarder (Hanak et al, 2025).

9.2.2 Case om Partnerskab for bæredygtigt byggeri

Region Hovedstaden udfører sammen med DTU, Vejdirektoratet, Remco, Holbøll samt Thi og Dencker et projekt der har til formål at undersøge stampet lerjords potentiale som byggemateriale i Danmark. Helt konkret undersøges det i projektet, om stampet ler kan bruges til at bygge støjvægge langs motorveje (Region Hovedstaden, Citeret 13-07-2026).

I projektets første del blev overskudsjord (moræneler) fra to forskellige lokaliteter udvalgt og karakteriseret med det formål at anvende lerjorden til stampede lerkonstruktioner (Bertelsen et al 2022a). De undergik en karakterisering og en række test for at undersøge egnetheden. I projektet blev der udviklet og udvalgt produktions- og testprocedurer, ligesom det blev konkluderet at de geotekniske egenskaber af de to udvalgte jorde lå uden for anbefalede værdier, og at fremtidigt arbejde i projektet fokuseres mod at optimere egenskaberne, fx ved at tilsætte grovere tilslag til lerjorden (Bertelsen et al. 2022a).

I senere dele af partnerskabets arbejde blev der udført egentlige udviklinger og tests af stampet lerjord i støjskærme (Bertelsen et al 2022b; Bertelsen et al, 2025; Maleki et al. 2026). I denne del af projektet blev bygget videre på erfaringer fra første del af projektet. Der blev tilsat forskellige typer af tilslag for at optimere kornstørrelsesfordelingen, ligesom der er udført forskellige tests med fx forskellige bindere (pulveriseret kalk samt Rapid Cement). Der blev i projektet opført demonstrationsmure (hhv. 1x1x0,3 m og 3,3x2x0,6 m. Disse viste at der ikke var udfordringer i forbindelse med opførelsen, men at der kan opstå revnedannelser grundet tørringssvind. Til sidst i projektet er der udviklet en metode/maskine til at producere ekstruderende lerjordselementer. Det anbefales at metoden/maskinen opskaleres og at der arbejdes yderligere på at optimere processer som fx. tilsætning af bindere (Maleki et al 2026).

9.2.3 Cases med lerjord i konkrete byggerier

I Danmark er anvendelse af lerjord i huse en gammel byggeskik. I landhuse frem til ca. 1800 har der været anvendt en byggemetode, hvor en våd lerjordsblanding er kastet på et fletværk af tynde vidjer eller kraftigere, lodrette stave i konstruktionens tavle. Fra middelalderen og frem til ca. 1850 er tavlerne i byhuse og landhuse af bindingsværk muret ud med ubrændte lersten. I slutningen af 1700-tallet og frem

til ca. 1880 er der blevet bygget omkring 400 bygninger af 60 cm tykke, massive lervægge, og der er ca. 60 beboede huse af disse tilbage. Teknikken "stampet lerjord" er ikke anvendt særlig meget i Danmark. Lerstampede gulve har også været udbredt, ligesom indskudsler mellem gulvbjælker i etageadskillelser på bygninger med grundmur har været anvendt i perioden 1730-1970 (Vadstrup, 2023).

A Natural Pavilion er et midlertidigt pavillonbyggeri opført i København i 2023 og tegnet af den danske tegnestue ReVærk. Et centralt element i pavillonen, er anvendelsen af stampet lerjord som adskillende vægge. Lerjorden er lokalt udtaget og anvendt direkte på byggepladsen, hvor den er komprimeret lag for lag i forskalling (ArcDaily, 2023), (Architectures, 2023).

Holland Park Ecology Centre i London er udført i stampet lerjord og tømmer. Lerjorden bestod af grå ler blandet med knust kalksten, som blev blandet off site og bragt til byggepladsen i sække. Materialet blev blandet med vand i batches i en blander for at opnå den rette fugtighed og blev herefter transporteret i spande og trillebør til forskallingen, som blev opført i et manuelt system. Det tog 10 dage at opføre bygningen (Ebuki, citeret d. 28-09-2026).

Rammed Earth House er et boligbyggeri i England, som har kombineret renoverede murstensbygninger med nye strukturer af stampet lerjord. Nogle bygningsstrukturer blev revet ned og blev anvendt som tilslag i den stampede lerjord. Materialet er godt til at regulere de indendørs temperaturer og skaber et godt indeklima.

Der er to versioner af stampet lerjord: Stabiliseret lerjord og ustabiliseret lerjord. I den stabiliserede lerjord tilsættes cement for at gøre materialet mere robust og modstandsdygtig over for vand. Dette øger CO_2 aftrykket, men der er eksempler, der viser, at andelen af cement kan holdes på et lavere niveau end i beton. Ved brug af ustabiliseret jord uden cement er det vigtigt at anvende byggeteknikker, som sikrer at erosion af materialerne undgås. Det tager mere tid at bygge med stampet lerjord, særligt hvis jorden skal presses manuelt. Lerjorden kan findes lokalt, hvilket sparer transport. Der arbejdes på at fremstille præfabrikerede stampede lerjordsblokke (Fastcompany, 2025).

9.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

9.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning:

Der er ikke fundet tal for hvor meget overskudsjord, der kan anvendes til stampet lerjord. Da jorden skal opfylde en række egenskaber som fx andel af ler, vil al overskudsjord ikke kunne bruges.

Dertil kommer at en stor del af overskudsjorden vil komme fra byområder og være lettere forurenet. Lettere forurenet jord består primært af immobile tungmetaller, som ikke umiddelbart vil udgøre et problem ift. indeklima i et byggeri, men det forventes at der alligevel vil være krav om at jorden skal være ren. Hvis lettere forurenet jord kan anvendes til 3D-print vil det øge potentialet.

I Jordstrømsanalysen fra 2026 (Smith, 2026) estimeres det, at der årlig bliver genereret 25 mio. tons overskudsjord. En stor del af denne jord forventes at være lettere forurenet, og en mindre del vil være

kraftigt forurenet. Derudover vil det meste af jorden bestå af fyldjord, dvs. jord der tidligere har været udsat for menneskelig aktivitet og altså ikke uberørt, intakt jord.

Der er ikke lavet undersøgelser eller vurdering af hvor stor andel af de 25 mio. tons overskudsjord, der kan bruges som stampet lerjord, men hvis bare 1 mio. ton kan anvendes svarer det til potentialet for mange af de andre handlemuligheder. Det vurderes umiddelbart realistisk at 1 mio. tons jord kan anvendes. For at potentialet for råstofbesparelser skal indfries skal råmaterialet til den stampede lerjord bestå af overskudsjord. Jo større andel af overskudsjord den stampede lerjord består af, jo større besparelser, men i nogle tilfælde kan det overvejes at blande overskudsjorden med jomfrueligt udgravet ler for at få den rette kvalitet.

9.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Stampet lerjord kræver ikke energitung forarbejdning, hvilket reducerer energiforbruget og de tilknyttede CO_2-udledninger væsentligt. Hvis bygningerne kan fremstilles af lokal overskudsjord, vil både råstofindvinding og transport blive reduceret, hvilket også reducerer CO_2.

Konstruktioner af stampet lerjord kan efter endt brug demonteres, knuses og genanvendes til byggemateriale eller føres tilbage til jorden.

Konstruktioner af stampet lerjord kan bidrage til et godt indeklima, det skyldes blandt andet et ler er hydrofilt, og dermed optager og afgiver fugt hvorved fugtindholdet i luften i bygningen nemmere stabiliseres end hvis der fx er bygget i beton. Derudover har ler også en bedre lyddæmpende effekt end beton, og kan derfor påvirke akustikken i en bolig i positiv retning (Bæredygtigt Byggeri.dk, citeret 13-07-2026).

9.4 Barrierer

Tekniske og faglige barrierer: Anvendelse af overskudsjord til stampet lerjord stiller høje krav til jordens sammensætning og egenskaber. Ikke al overskudsjord er egnet til formålet, da fx kornstørrelsesfordeling, lerindhold og eventuelle forureninger har betydning for materialets styrke, holdbarhed og anvendelighed. Der kan derfor være behov for sortering, blanding eller frasortering af store mængder jord, hvilket øger den tekniske kompleksitet. Derudover er der begrænset erfaringsgrundlag og standardiseret viden om dimensionering, dokumentation og ydeevne for stampet lerjord i moderne byggeri.

For at forbedre jordens egenskaber og beskytte konstruktionerne mod erosion kan der tilsættes forskellige additiver og bindere, fx fibre, hvilket kan have betydning for materialets renhed efterfølgende. Der er også eksempler på at der tilsættes cement, hvilket vil øge CO_2 aftrykket af materialet.

Økonomiske barrierer: De økonomiske barrierer knytter sig til usikkerhed om omkostninger. Indhentning af jord, undersøgelser af jordens egnethed og eventuel forbehandling samt øget tidsforbrug, særligt hvis stampningen foregår manuelt, kan øge usikkerhed omkring økonomi. Da stampet lerjord endnu anvendes i begrænset omfang, kan der mangle stordriftsfordele, og økonomien kan være vanskelig at dokumentere over for bygherrer, særligt i projekter med fokus på lave anlægsomkostninger.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Anvendelse af stampet lerjord kræver specialiseret viden og kompetencer hos både rådgivere og udførende. Manglende erfaring i branchen kan føre til

usikkerhed i projektering og udførelse, hvilket kan begrænse udbredelsen. Derudover afviger byggeprocessen fra gængse industrielle processer, hvilket kan være vanskeligt at indpasse i eksisterende praksis, tidsplaner og udbudsformer. Tidlig inddragelse og tæt samarbejde mellem aktører er ofte nødvendig, hvilket ikke altid er foreneligt med traditionelle projektforløb.

Overskudsjord fra byggeprojekter graves op mange forskellige steder i landet, og der eksisterer ikke nogen systematisk registrering af den tekniske kvalitet af jorden. Der kan derfor være udfordringer med at få den rette jord og i tilstrækkelige mængder. Derudover kan der også være udfordringer med forureningsgrad, da al jord fra byområder forventes at være lettere forurenet.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Stampet lerjord som byggemateriale er ikke fuldt integreret i gældende standarder og normer for byggeri, og der er mangel på danske standarder. Dette skaber usikkerhed blandt byggeriets aktører.

9.5 Næste skridt

Det vurderes, at hovedbarrieren for handlemuligheden ligger i, at det kan være svært at fremskaffe overskudsjord i den rette kvalitet. Andre typer af jord/ler kan også anvendes, men ift. at opnå råstofbesparelser ved brug af metoden, er det nødvendigt at bruge overskudsjord. Der eksisterer mange eksempler på, at byggeri kan fremstilles af stampet lerjord, og teknologimæssigt kan metoden godt implementeres, men få eksempler eksisterer med brug af overskudsjord.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav:** Skærpede klimakrav i byggeriet vil give et incitament for bygherre og producenter til at bruge stampet lerjord.
- **Regulering og krav:** Krav til materiale-/råstofforbrug i byggeriet på lige fod med klimakravene vil give et mere direkte incitament til at anvende overskudsjord.
- **Regulering og krav:** Afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse og dermed bruge overskudsjord. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvor der i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Udvikling af standarder for brug af overskudsjord som stampet lerjord vil mindske usikkerheder ved brug af materialet og dermed øge udbredelsen.
- **Regulering og krav:** Udvikling af standarder til karakterisering af overskudsjord, der er egnet som stampet lerjord vil sikre at de rette typer af overskudsjord identificeres.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til metoder og demonstrationsprojekter vil give branchen øget incitament til udvikling af dette, se desuden branchetiltag.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til en risikofond vil give branchen øget incitament til udvikling af en fond, se desuden branchetiltag.

Branchetiltag:

- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter, der deler erfaringer med branchen, herunder hvordan overskudsjorden indsamles, vil udbrede kendskabet til metoderne.
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af recepter for overskudsjord, fx med blandinger af cement, med en andel af virgin jord/råstoffer og med tilsætninger af fibre eller andre forstærkninger
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af metoder til brug for risikovurdering af indholdet af kemiske stoffer i jorden, herunder egnethed af lettere forurenet jord.
- **Metoder og værktøjer:** Indhente og dele erfaringer fra andre lande, der bruger metoden i større skala
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af metoder til at karakterisere overskudsjord og udføre ressourcekortlægning af overskudsjord i byggeprojekter.
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af system til at matche overskudsjord fra byggeprojekter med projekter, der vil bygge med stampet lerjord.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering**: Etablering af en risikofond i branchen vil give mere dokumentation samt nedbringe risiko og dermed økonomisk usikkerhed. En risikofond skal accelerere anvendelsen af nye løsninger for materialeudvikling og tekniske løsninger, der sparer råstoffer. Dette kan udføres ved at lave et systematisk afprøvningsforløb for dokumentation, dels lave en risikoafdækning med tilhørende forsikring.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Etablering af undervisningstilbud omkring løsninger for brug af stampet lerjord vil udbrede kendskabet til løsninger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Indsamling og deling af viden om løsninger, herunder om brug af lettere forurenet jord.

9.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

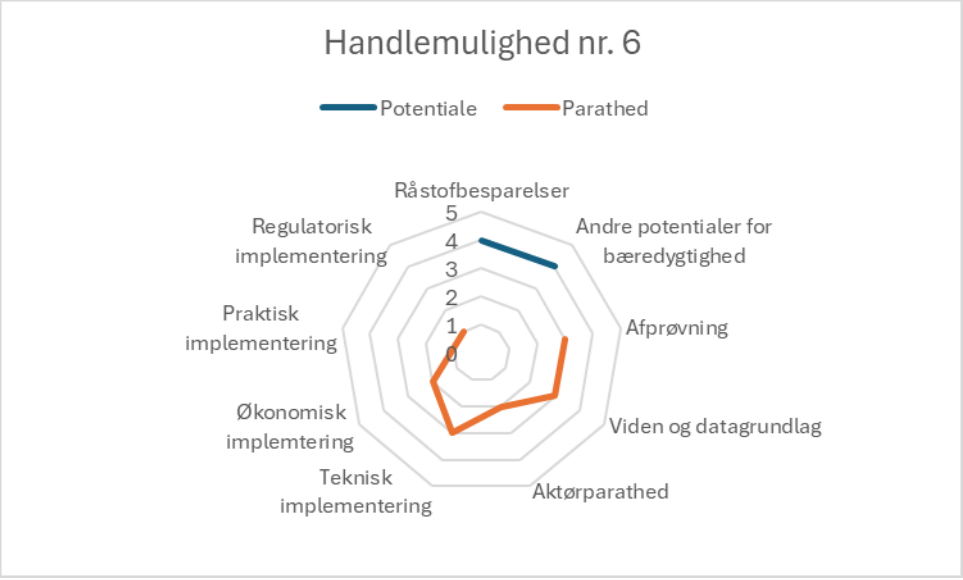
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	4		Vurderet samme potentiale som fx handlemulighed nr. 1
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Reduktion af CO_2, da materialet ikke brændes.
Afprøvning		3	Afprøvninger af stampet lerjord eksisterer i stor skala, men i mindre grad med brug af overskudsjord
Viden og datagrundlag		3	Viden eksisterer, fx gennem Leralliancen, men sparsomt med viden om brug af overskudsjord
Aktørparathed		2	Manglende udbredt erfaring med metoden og særligt med overskudsjord
Teknisk implementering		3	Teknologier og metoder eksisterer, men kan forbedres, særligt ift. at optimere anvendelse af overskudsjord.
Økonomisk implementering		2	Teknologi/metode kan blive dyrere og skabe stor usikkerhed omkring økonomi
Praktisk implementering		1	Arbejdsgange ift. karakterisering af overskudsjord skal ændres. Matching af overskudsjord med projekter, der vil bruge stampet lerjord, er svært.
Regulatorisk implementering		1	Der mangler standarder og normer

Afbilledet ved dette diagram:



9.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på mellemlang til lang sigt, da der er behov for standarder, systematisk karakterisering af jord og flere demonstrationsprojekter.

10. Byggeri på færre m^2 og mindre enheder

10.1 Introduktion

Handlemuligheden fokuserer på at bygge mindre og dermed bruge færre råstoffer til byggeriet. Der opføres hvert år et stort antal boliger, industribygninger, kontorbygninger mv. - og det kræver brug af mineralske råstoffer, når vi bygger i beton og tegl. En reduktion af det nybyggede areal vil betyde, at råstofforbruget kan sænkes.

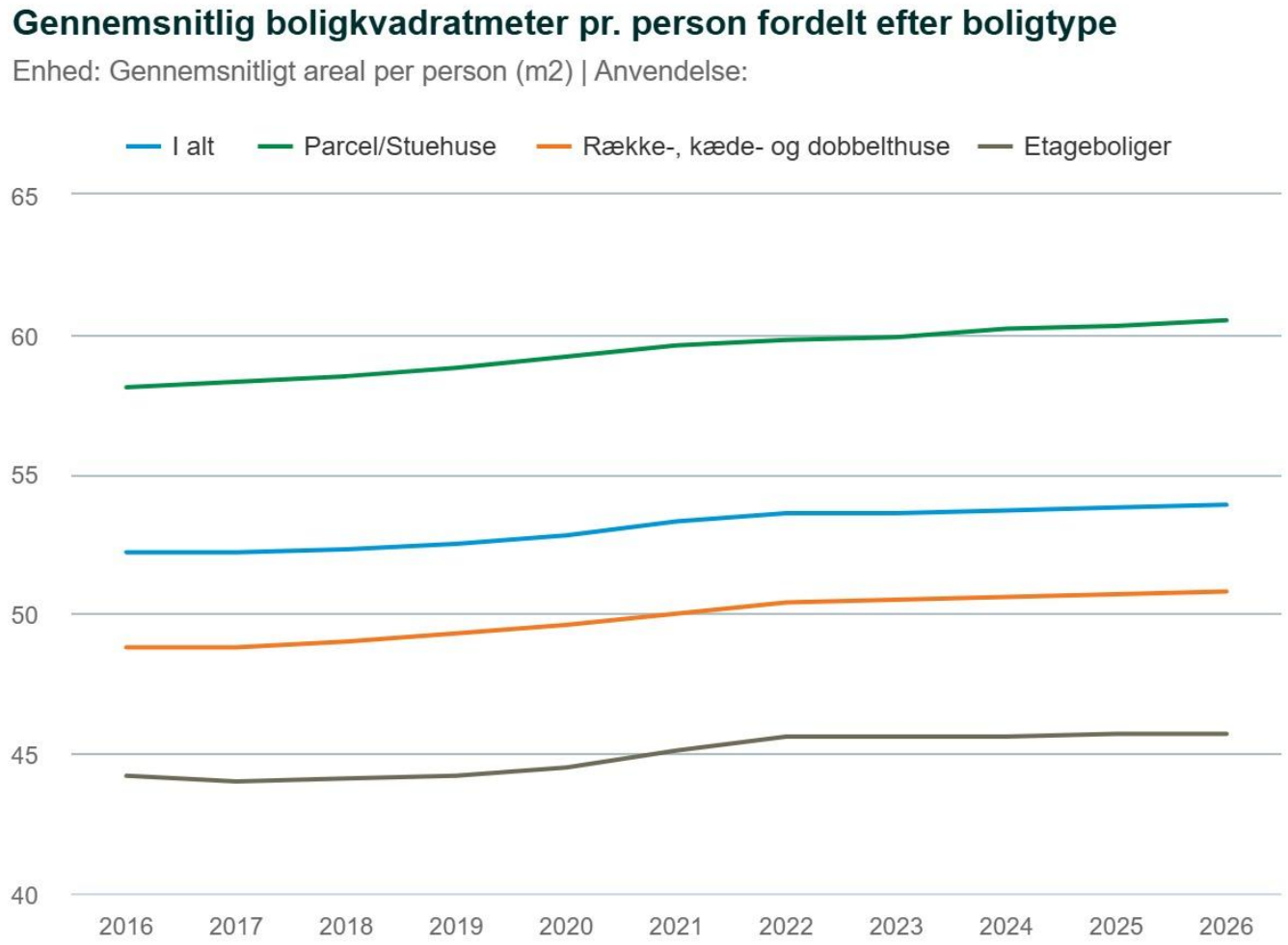
10.2 Udvalgte cases

10.2.1 Case om udvikling i boligstørrelse

Udvikling af boligstørrelsen for den gennemsnitlige dansker har betydning for hvor mange m^2, der bliver bygget i alt. Danske Ark (2024) har undersøgt størrelsen af nyopførte kvadratmeter på tværs af forskellige boligtyper. De finder, at størrelsen af parcelhuse er steget gennem årene. Et parcelhus opført i 2023 har i gennemsnit haft en størrelse på 212 m^2, hvilket er 62 m^2 større end det historiske gennemsnit på 150 m^2 for parcelhuse opført siden 1916. Boligstørrelsen er især steget markant siden 2006.

For andre bygningstypologier er tendens dog en anden. Når man ser på størrelsen af nyopførte rækkehuse og etageboliger, ligger disse i 2023 tæt på det historiske gennemsnit på omkring 82 m^2 for en etagebolig og omkring 102 m^2 for et rækkehus, og arealerne har været faldende de seneste 5 år. Når man sammenholder de nyopførte kvadratmeter på tværs af boligtyper, ses et fald siden 2010. I 2010 var en nyopført bolig i gennemsnit 156 m^2, mens den i 2023 var på 103 m^2. Faldet skyldes en markant ændring i sammensætningen af nyopført boligbyggeri, idet etageboligerne i de seneste år har udgjort en dobbelt så stor andel af de nyopførte boliger (Danske Ark, 2024).

Det gennemsnitlige antal boligkvadratmeter pr. person er dog steget gennem de seneste 10 år, hvilket skyldes at vi er færre beboere per husstand. Af Figur 10.1 ses, at det gennemsnitlige boligareal pr. person er steget fra 52,2 m^2 i 2016 til 53,9 m^2 i 2026, mens det for parcelhuse er steget fra 52,2 m^2 i 2016 til 60,5 m^2 i 2026. For rækkehuse er boligarealet pr. person steget fra 48,8 m^2 i 2016 til 50,8 m^2 i 2026, mens det for etageboliger er steget fra 44,2 m^2 i 2016 til 45,7 m^2 i 2026 (Danmarks Statistik, 2026b).



Figur 10.1 Gennemsnitlig antal boligkvadratmeter per person fordelt efter boligtype (Danmarks Statistik, 2026b).

Der er geografiske forskelle på boligstørrelserne. I Region Hovedstaden var det laveste gennemsnit for boligareal på 97,3 m^2 i 2023, mens der i Region Nordjylland var det højeste gennemsnit for boligareal på 122,1 m^2 (Dansk Boligforsikring, citeret d. 28-09-2026).

10.2.2 Case om reduktion af bebyggelsesprocenten for enfamiliehuse

I oktober 2025 vedtog Gladsaxe Byråd Kommuneplan 2025, som indebærer skærpede rammer for bebyggelsesprocenten for enfamiliehuse. Hvor den maksimale bebyggelsesprocent i den tidligere kommuneplan var 30 %, og der i praksis ofte kunne opnås dispensation op til dette niveau, selv om mange lokalplaner fastsatte 20 eller 25 % for åben-lav bebyggelse, indføres der mere restriktive grænser (Gladsaxe kommune, 2025).

Fremover må der på grunde under 999 m^2 bebygges op til 25 % af grunden, dog maksimalt 200 m^2. På grunde mellem 1000 og 1499 m^2 er den maksimale bebyggelse 20 %, mens der på grunde over 1500 m^2 højst må opføres 300 m^2. Kommuneplanen åbner samtidig mulighed for dispensation på op til 5

procentpoint, hvis en eksisterende boligbebyggelse, der er mindst 10 år gammel, om- eller tilbygges i stedet for at blive revet ned og erstattet af nybyggeri (Gladsaxe Kommune, 2025).

10.2.3 Case om mikroboliger (tiny houses)

Tiny house-bevægelsen er en global trend, der fokuserer på små, funktionelle boliger typisk mellem 10 og 45 m². Den opstod i USA i slutningen af 1990'erne og fik fart efter finanskrisen i 2008 som et alternativ til dyre boliger. Bevægelsen bygger på principper om minimalisme, økonomisk frihed og bæredygtighed. Tiny houses er ofte designet med multifunktionelle løsninger og kan være mobile eller stationære. De reducerer materialeforbrug og CO_2-aftryk, hvilket gør dem attraktive for miljøbevidste forbrugere.

Mikroboliger er også blevet et voksende fænomen i Danmark, idet de understøtter tidens fokus på bæredygtighed, fleksibilitet og alternative boformer. Ifølge en rapport fra BUILD (2024) har Danmark erfaring med flere typer mikroboliger, der alle har til fælles, at de er under 50 m² – ofte helt ned til 15-20 m². Tre hovedkoncepter dominerer billedet, hvilket er tiny houses, mikrolejligheder og co-living.

Tiny houses er små, selvbyggede huse ofte på hjul og typisk anbragt i naturskønne omgivelser med fokus på mobilitet, bæredygtige løsninger og uafhængighed af det offentlige forsyningsnet. Mikrolejligheder, derimod, er kompakte boligenheder i byerne på 15-40 m², særligt målrettet fx studerende, unge og andre personer med midlertidige boligbehov. Co-living-modellen tilbyder små private værelser kombineret med omfattende fællesfaciliteter og sociale aktiviteter, hvilket understøtter fællesskab og fleksibilitet i hverdagen.

Erfaringerne fra disse boligformer viser, at valget af mindre boligareal ofte er bundet i ønsket om andre kvaliteter såsom central beliggenhed, fællesskab eller et mere fleksibelt liv. Mindre plads kræver nye vaner i forhold til indretning og brug af hjemmet og medfører et mindre forbrug. Privatlivet kan udfordres, og adgang til gode fællesområder bliver afgørende for oplevet boligkvalitet. Generelt repræsenterer beboerne i danske mikroboliger i det store hele "gennemsnitsdanskeren". De har nogenlunde samme alder, baggrund, familieforhold, beskæftigelse mv. Undtagelsen er, at beboernes gennemsnitlige indtægt generelt ligger lavere end den øvrige befolkning.

Flere kommuner inkluderer tiny houses i deres planstrategier og bosætningspolitikker. Ofte er der tale om en afgrænset udstykning af sammenhængende matrikler til småhuse under 60 m^2. Derudover er der flere selvorganiserede borgergrupper og foreninger, som arbejder med tiny houses og udbredelsen af små samfund med tiny houses. Fx har Frederikssund Kommune i lokalplan for et område i Vinge udpeget et areal, der udlægges til Tiny houses. I lokalplanen beskrives en maksimal størrelse per tiny house på 45 m^2, ligesom lokalplanen også stiller krav til valg af materialer, hvis der bygges tiny houses (Frederiksunds Kommune 2023).

Af eksemplerne vist i BUILD (2024) fremgår det, at tiny houses eksempelvis består af ombyggede skurvogne, selvbyggerhuse eller modulhuse af træ.

BUILD (2024) peger på, at mikroboligen udfordrer de gængse bolignormer og dermed også den eksisterende regulering. Etablering af tiny houses møder blandt andet barrierer i Bygningsreglementet, men også bestemmelser i serviceloven, lokalplaner og kommunale tilladelser kan gøre realiseringen vanskelig.

Eksempler på lovgivningens udfordringer for tiny houses ses blandt andet i Bygningsreglementet, som normalt kræver separate rum til køkken, bad og wc, og stiller afstandskrav, der kan være svære at

opfylde i små boliger. Samtidig betyder krav om tilgængelighed og plads til plejeudstyr ifølge serviceloven, at badeværelser og adgangsforhold ofte bliver for store i forhold til at kunne passe ind i et tiny house. Derudover kræver Bygningsreglementet en vis isoleringstykkelse, hvilket optager meget af den relative plads i et tiny house. Energiberegninger for nybyggeri kan også komme til at give små huse et højt energiforbrug per kvadratmeter, fordi klimaskærmen udgør en større andel af det samlede areal end i større huse. Samlet set viser disse eksempler, at gældende lovgivning ofte spænder ben for udviklingen af tiny houses.

I Bygningsreglementet er der dog blevet indarbejdet en særlig vejledning om tiny houses, som adresserer en række af de mest almindelige problemstillinger og har til formål at illustrere mulige løsninger. Vejledningen omfatter imidlertid ikke krav vedrørende konstruktioner og brand (Bygningsreglementet, 2026).

BUILD (2024) nævner også, at der kan være risiko for at konceptet med små boliger 'retfærdiggør' boliger af lav kvalitet og stiller spørgsmål ved, om der kan være nogle afledte effekter af at bo småt, fx ved at bruge sin bil mere, eller ved at have et sommerhus eller båd ved siden af.

I strategi for helhedsorienteret bygningsreglement er tiny house et initiativ, der fremhæves. Her står at nybyggeri med færre kvadratmeter kan bidrage til at nedbringe forbruget af byggematerialer, og at initiativet skal afdække mulige barrierer for at opføre små boliger (tiny houses), og undersøge muligheder for at lempe krav i bygningsreglementet, så det bliver nemmere at opføre tiny houses (Social- og Boligstyrelsen, 2024).

10.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

.

10.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning 1:
I DGNB-manual for renovering og nybyggeri 2025 er der sat en målværdi for boliger på 40 m^2 pr. person (DGNB, 2025). I en anden publikation om "Del Hus" peges der på at inden for det nuværende system er 25-30 m^2 pr person tilstrækkeligt for et komfortabelt liv. I et optimeret system kan 15 m^2 være tilstrækkeligt (Hill-Hansen et al, 2024).

I (Johannessen og Thorin, intet årstal) fremgår det, omkring 50 % af kontorarealet i Europa ikke er i brug i arbejdstiden, og der er udført en analyse, hvor andelen af nybyggede kontor reduceres med 25 %. Der er ikke yderligere fundet cases eller talmateriale for, hvor meget man kan reducere arealet i erhvervsbygninger i forhold til industri, handel mm).

Derudover bemærkes det, at en reduktion af boligareal ikke giver en tilsvarende reduktion af mængden af råstoffer anvendt til byggeriet, da klimaskærmen[2] i mindre byggerier vil udgøre en større andel af hele byggeriet ift. store byggerier. Omvendt vurderes det, at enkeltstående mikroboliger som tiny houses vil

[2] som i mange tilfælde er hvor en stor andel af de mineralske råstoffer bruges i fx beton eller mursten

have et mindre træk på mineralske råstoffer end traditionelle byggerier, således at en overgang til flere mikroboliger vil betyde, at materialer med mineralske råstoffer erstattes af fx træ. Disse betragtninger er dog ikke taget med i beregningerne på grund af manglende data.

I 2025 blev der påbegyndt byggeri på samlet 6,6 mio. m^2 etageareal, og heraf var 2,8 mio. m^2 beboelsesbygninger (42 %) (Danmarks Statistik, 2026).

Det antages, at 42 % af mængden af råstoffer til byggeriet går til beboelse baseret på andelen af påbegyndte etage m^2, der går til beboelse. Som en grov betragtning svarer dette til 2,5 mio. tons råstoffer (42 % ud af 6 mio. tons råstoffer årligt).

Det gennemsnitlige boligareal pr person er ca. 54 m^2. Der regnes på 2 scenarier:

- Fra 54 m^2 til 40 m^2, hvilket er en reduktion med ca. 25 % af boligarealet, svarende til en samlet reduktion på 700.000 m^2 af det påbegyndte etageareal for beboelsesbygninger, årligt (med reference i 2025).
- Fra 54 m^2 til 27 m^2, hvilket er en reduktion på ca. 50 % af boligarealet, svarende til en samlet reduktion på 1,4 mio. m^2 af det påbegyndte etageareal for beboelsesbygninger, årligt (med reference i 2025).
- Fra 54 m^2 til 15 m^2, hvilket er en reduktion på ca. 70 % af boligarealet, svarende til en samlet reduktion på 2,0 mio. m^2 af det påbegyndte etageareal for beboelsesbygninger, årligt (med reference i 2025).

Der anslås en råstofbesparelse på 625.000 tons ved en reduktion af boligarealet på 25 %, en råstofbesparelse på 1.250.000 tons ved en reduktion af boligarealet på 50 % og en råstofbesparelse på 1.800.000 tons ved en reduktion på 70 %.

Tilsvarende kan der, hvis det lægges til grund, at det nybyggede erhvervsbyggeri kan reduceres med 25 %, opnås en reduktion af råstoffer på 870.000 tons (25 % af 3,5 mio. tons råstoffer til erhverv).

Potentialeberegning 2:

Der regnes på forbrug af beton med udgangspunkt i case om kværnloftet:

1 m^3 beton indeholder 1130 kg sten og 790 kg sand (Smith og Andersen, 2015).

For en 5 etagers bygning med kælder og et samlet areal på 1.152 m^2 anvendes der 445 m^3 beton, dvs. 503 tons sten og 351 ton sand. Samlet set 0,74 ton sten og sand pr etage m^2.

For en 8 etagers bygning med et samlet areal på 2.350 m^2 anvendes der 787 m^3 beton, dvs. 889 tons sten og 622 tons sand. Samlet set 0,64 ton sten og sand pr etage m^2.

Baseret på ovenstående anvendes som et groft estimat samlet set et forbrug på 0,7 ton sten og sand pr etage m^2.

Det anslås, at der bruges 0,7 tons råstoffer pr etage m^2, og det nybyggede etageareal på 2,8 mio m^2 reduceres med 25-50-70 %, svarende til 0,7-2,0 mio m^2. Ved at reducere boligarealet med 700.000 m^2 spares der omkring 500.000 tons sand og sten, ved at reducere boligarealet med 1,4 mio m^2 opnås en besparelse på omkring 1 mio. tons sand og sten og ved at reducere boligarealet med 2,0 mio m^2 opnås en besparelse på omkring 1,4 mio. tons sand og sten.

Samlet vurdering af potentiale:

Samlet set vurderes det, at der er et besparelsespotentiale ved at reducere mængden af nybyggeri til beboelse på mellem 500.000 – 625.000 tons, hvis nybyggede m^2 reduceres med 25 %. Et besparelsespotentiale på mellem 1 mio. tons – 1,25 mio. tons råstoffer, hvis nybyggede m^2 reduceres med 50 %, og endeligt et besparelsespotentiale på mellem 1,8 - 2,0 mio. tons råstoffer, hvis nybyggede m^2 reduceres med 70 %.

Derudover er der et ubelyst potentiale for besparelse ved at reducere nybygget erhvervsbyggeri, men ved en reduktion på 25 % opnås en besparelse på knap 900.000 tons råstoffer.

Dette svarer i alt til 23 - 45 % af råstofforbruget på 6 mio. tons.

10.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Hvis der bygges mindre og dermed anvendes færre råstoffer, vil der forventeligt også være en CO_2 besparelse. Forskere fra DTU, SDU og AAU har beregnet, at selvom 50% af alle nybyggerier mellem 2026 og 2050 bliver bygget af træ og andre biobaserede materialer, så skal nybyggeri stadig reduceres med 80%, hvis de planetære grænser skal overholdes (SDU, 2023).

Hvis der bygges mindre, vil der også være færre befæstede arealer, hvilket overordnet set vurderes at påvirke nedsivning af regnvand og biodiversitet positivt. Fortætning og mindre byggeri vil reducere det samlede byareal og give plads til det åbne land.

10.4 Barrierer

Med udgangspunkt i den ovenstående gennemgang er en række barrierer oplistet:

Tekniske og faglige barrierer: Byggeri på færre m² og i mindre enheder stiller øgede krav til projektering og design for at sikre funktionalitet, kvalitet og komfort på et begrænset areal. Effektiv pladsudnyttelse forudsætter gennemtænkte planløsninger, fleksible rum og ofte specialdesignede løsninger, hvilket kan øge den faglige kompleksitet. Der kan desuden være tekniske udfordringer knyttet til dagslysforhold, akustik, installationer og opbevaringsmuligheder, som skal løses inden for et mindre bygningsvolumen.

Økonomiske barrierer: De økonomiske barrierer knytter sig til at der være usikkerhed om markedets betalingsvillighed og afsætning for mindre byggeri, hvilket kan gøre bygherrer tilbageholdende med at prioritere denne type byggeri.

Samfundsmæssigt kan en samlet reduktion af nybyggede m^2 give mindre aktivitet i byggebranchen, hvilket kan medføre en økonomisk opbremsning med færre jobs, men omvendt er mindre boliger og enheder ikke nødvendigvis proportionelt billigere at opføre. En højere grad af projektering, specialløsninger og kvalitet pr. m² kan medføre, at anlægsomkostningerne pr. m² er relativt høje.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Byggeri på færre m² udfordrer gængse normer og praksisser i branchen, hvor standardiserede boligstørrelser og planløsninger ofte dominerer. Det kan kræve ændrede arbejdsgange og en større villighed til at eksperimentere hos både bygherrer, rådgivere og udførende. Derudover kan brugernes forventninger og vaner i forhold til boligstørrelse udgøre en barriere for udbredelsen, særligt hvis mindre boliger opfattes som et kompromis frem for et aktivt valg.

Der er generelt set fortsat efterspørgsel efter større boliger fra boligejere. At bo småt i mikroboliger kræver omstilling i forhold til levestil og kulturændringer, og potentielt kan der også være en social ulempe, hvis arealerne bliver for små eller for dårligt isolerede. Det vurderes dog realistisk at bo på 40 m^2 pr person, mens en reduktion af det gennemsnitlige boligareal til fx 15 m^2 vil sætte udnyttelse af boligarealet under pres. Hvis flere bor under samme tag, vil det være lettere at imødekomme dette reducerede areal.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Plan- og bygningsregulering kan i nogle tilfælde begrænse mulighederne for at opføre mindre boliger og enheder. Krav til fx minimumsarealer, parkeringsnormer, tilgængelighed og opholdsarealer kan vanskeliggøre realisering af meget kompakte boligløsninger. Derudover kan lokalplan-bestemmelser og kommuneplan-rammer påvirke, i hvilket omfang byggeri på færre m² kan gennemføres i praksis.

10.5 Næste skridt

Det vurderes at hovedbarrieren for handlemuligheden handler om, at der skal skabes en generel accept af at bo på færre m^2. Dermed er det i høj grad kulturændringer, der vil være bærende, men ændret lovgivning kan være med til at skubbe til udviklingen. Der eksisterer få eksempler på, at det er muligt at påvirke boligarealet, eksempelvis kan kommuner sætte krav til bebyggelsesprocenter i kommuneplanen og udstykke områder til fx tiny houses. Der er fundet en del arbejde, der beskriver hvordan boligarealet kan reduceres, men en stor andel af det bebyggede areal går til industribygninger, herunder handel og kontorbygninger, hvilket også bør få et større fokus i fremtiden. Alt i alt eksisterer en række gode intentioner om at reducere boligarealet, som dog vurderes svære at føre ud i praksis.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav:** Afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse og dermed bygge mindre. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Afgifter på energi kan øge efterspørgslen på færre m^2, idet det bliver dyrere at opvarme sin bolig.
- **Regulering og krav:** Indførsel af lovgivning omkring hvor meget der må bygges i bestemte områder kan indføres i fx kommune og lokalplaner.
- **Regulering og krav:** Ændringer i Bygningsreglementet mod mere fleksible regler kan gøre det mere attraktivt at bygge tiny houses.
- **Metoder og værktøjer:** Planlægning af forskellige boligtyper via kommuneplaner og lokalplaner kan understøtte mere smidige flyttemønstre og dermed reducere behovet for bygge nye boliger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Information om bæredygtighedspekter og andre fordele ved bo mindre kan påvirke en holdnings- og kulturændring, således at der efterspørges mindre boliger.

Branchetiltag:

- **Metoder og værktøjer:** Typehusfirmaer kan reducere areal og dermed materialeforbrug i udbudte type-løsninger
- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af metoder eller værktøjer til arealplanlægning, fx i forbindelse med fortætning af byområder eller etablering af boliger i industrikvarterer.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Information om bæredygtighedspekter og andre fordele ved bo mindre kan påvirke en holdnings- og kulturændring, således at der efterspørges mindre boliger.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Undersøge potentialerne for at reducere nybygget areal af industribygninger.

10.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

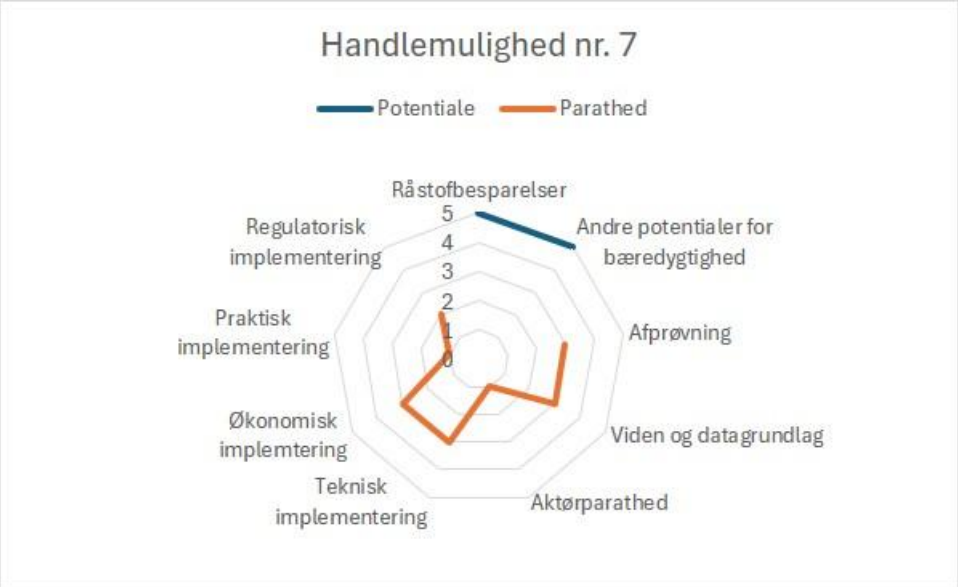
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	5		Vurderet samlet potentiale mellem 500.000 ton og 2 mio. tons råstoffer samt ubelyst potentiale for erhvervsbyggeri.
Andre potentialer for bæredygtighed	5		Reduktion af CO_2, når der bygges mindre
Afprøvning		3	Der er flere eksempler på Tiny Houses og udstykninger.
Viden og datagrundlag		3	Viden eksisterer om brug af bebyggelsesareal, men sparsomt med cases
Aktørparathed		1	Manglende udbredt accept af behovet for at bygge mindre
Teknisk implementering		3	Handlemuligheden bygger på planlægning.
Økonomisk implementering		3	Ved at bygge mindre bliver byggeriet billigere, men ikke nødvendigvis pr m^2
Praktisk implementering		1	Arbejdsgange ift. byfortætning og ændrede boligmønstre er komplekse
Regulatorisk implementering		2	Kommuneplaner kan begrænse byggeri, men anvendes sjældent.

Afbilledet ved dette diagram:



10.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på lang sigt, da effekten afhænger af ændrede boligpræferencer, planlægningsgreb og kulturelle normer.

11. Fleksible bygninger og delebygninger

11.1 Introduktion

Delebyggeri handler om at reducere behovet for nybyggeri ved at udnytte eksisterende bygninger bedre. Dette kan blandt andet opnås gennem fælles ejerskab, fx ved kontorfællesskaber eller multifunktionelle bygninger. Fleksibel anvendelse af bygninger er ligeledes en vigtig del og kan understøttes gennem modulært design, så bygninger kan tilpasses over tid til forskellige formål. Indsatsen handler dels om at udnytte mulighederne i de eksisterende bygninger, men også at indrette fremtidige bygninger med en mere fleksibel indretning.

11.2 Udvalgte cases

11.2.1 Case om Ellen MacArthur Foundation

I rapporten *Potential for Denmark as a Circular Economy* fra 2015 (Ellen MacArthur Foundation, 2015) peger Ellen MacArthur Foundation på, at en stor del af bygningsmassen udnyttes ineffektivt. Som eksempel fremhæves det, at 60–65 % af de europæiske kontorlokaler er underudnyttede selv i arbejdstiden, og at omtrent halvdelen af ejerboligerne har mindst to soveværelser mere end behovet tilsiger. På den baggrund anbefaler rapporten, at gulvarealets nytteværdi øges gennem bedre udnyttelse og omdannelse af eksisterende bygninger frem for ensidigt at fokusere på nybyggeri.

Rapporten peger desuden på, at offentlige bygninger med fordel kan anvendes til flere formål, så arealerne udnyttes mere intensivt både sekventielt og parallelt. Det kan eksempelvis ske ved at bruge skoler eller biblioteker til kurser og kulturelle aktiviteter uden for den primære åbningstid. Mere vidtgående vil det indebære, at bygninger allerede fra starten designes til flerformålsbrug (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

11.2.2 Case om målbar fleksibilitet

Negendahl et al. (2023) peger i rapporten *Målbar fleksibilitet: Anbefalinger til implementering af fleksibelt byggeri i dansk kontekst* på, at fleksibelt byggeri indebærer en grundlæggende balance mellem omkostningseffektivitet og tilpasningsevne. Jo mere fleksibel en bygning udformes, desto større kan udgifterne være til både opførelse og drift, men omvendt kan manglende fleksibilitet medføre betydelige omkostninger til senere renoveringer og ombygninger, når behovene ændrer sig.

Bygninger bør designes fleksibelt fra starten, så de kan tilpasse sig forskellige behov uden store ombygninger. Det handler både om økonomi og miljø. Fleksibilitet opnås gennem forskellige strategier som fx at ændre brugen af rum, have flytbare vægge, ændre funktion (fx kontor til bolig), udvide bygningen eller flytte den helt. Nogle elementer i bygningen, som grund, konstruktion og etagehøjde, kan næsten ikke ændres efter opførelse, så de skal tænkes grundigt igennem i designfasen. Overflader,

inventar og tekniske installationer kan lettere ændres, men bør også designes fleksibelt for at undgå dyre ombygninger senere hen. Det er vigtigt at arbejde med lagdeling af bygningens dele for at gøre fremtidige ændringer nemmere (Negendahl et al, 2023).

Rapporten fremhæver desuden, at fleksibilitet skal forstås i både et kortsigtet og et langsigtet perspektiv. Samtidig kan et stort antal valgmuligheder og variationer gøre det vanskeligere at sikre ensartede standarder og en stabil kvalitet i byggeriet. Endelig understreges det, at planlægningen af fleksible bygninger også bør tage højde for den teknologiske kapacitet her og nu samt mulighederne for fremtidige opgraderinger (Negendahl et al, 2023).

Af rapporten fremgår det at der gennem årene har været flere undersøgelser af fleksibilitet i bygningsdesign. I 1987 udgav Statens Byggeforskningsinstitut en anvisning om udvikling af fleksibelt byggeri, hvor fokus var på modulbyggeri og muligheden for at tilpasse bygninger til skiftende behov. Anvisningen understregede, at fleksibilitet er komplekst og kræver videre bearbejdning. Siden da er fleksibilitet nævnt i blandt andet Bygningsreglementet (BR18), hvor der skelnes mellem forskellige typer foranderlige boliger, men uden konkrete målbare krav. Desuden har vejledninger til DGNB forsøgt at indarbejde fleksibilitet, dog uden at definere klare, målbare metoder. Fleksibilitet er heller ikke gjort til et lovkrav. Forskellige faggrupper har desuden forskellige tilgange til fleksibilitet, alt efter fokus på teknik, fremtidig brug eller indretning. Fremadrettet forventes dansk byggeri at skulle udvise en tilpasningsevne ift. klimaændringer uanset om dansk byggelov eller myndigheder har stillet krav til disse forhold (Negendahl et al. 2023).

Negendahl et al, 2023 anbefaler, at der etableres en entydig definition af fleksibilitet, og at begrebet forankres tydeligere i dansk byggelovgivning, eksempelvis gennem krav i Bygningsreglementet. Der peges samtidig på behovet for økonomiske incitamenter, der kan understøtte investeringer i fleksibelt byggeri.

Derudover foreslås det at indføre minimumskrav til bygningers fleksibilitet, herunder i relation til etagehøjde, bygningsdybde og nyttelast. Fleksibilitet bør også integreres i LCA- og LCC-beregninger, så bygningers levetid, transformationsmuligheder og klimatilpasning i højere grad afspejles i både klimaregnskab og totaløkonomi. Rapporten understreger desuden, at fleksible bygninger bør udformes med blik for både brugernes og samfundets skiftende behov over tid.

Endelig fremhæves det, at fleksibilitet bør betragtes som en målbar egenskab, der kan vurderes gennem indikatorer på bygningsdelsniveau. I den forbindelse anbefales det at forstå bygninger som lagdelte systemer, hvor struktur, installationer, rum og inventar i videst muligt omfang kan tilpasses og ændres uafhængigt af hinanden.

11.2.3 Case om nye boliger i gamle bygninger

I (Sweco og Cobe, 2023) er undersøgt, om det stigende boligbehov i de 30 kommuner med størst befolkningstilvækst kan imødekommes ved at udnytte overskydende kapacitet i eksisterende bygningsmasse frem for nybyggeri.

Rapporten viser, at det forventes at der bliver ca. 282.000 flere indbyggere i 2040 i de 30 udvalgte kommuner, hvilket potentielt kan udløse nybyggeri på 14,1 mio. m^2 (282.000 personer gange 50 m^2 pr person). Boligbehovet for de 30 kommuner er på mellem 100.000 og 150.000 boliger om året frem til 2040.

Der er fokus på løsninger med uudnyttede tagarealer, tomgang i udlejningsboliger og erhvervslejemål samt ændrede bomønstre i enfamiliehuse.

- Uudnyttede tagarealer:

  Der findes ca. 707.000 m² uudnyttede tagarealer i etageejendomme og ca. 76.000 m² i kontorejendomme.

  Ved fuld udnyttelse kunne dette give boliger til op til 15.600 personer, men realistisk vurderes potentialet til 4.200–8.500 personer i etageejendomme (30-60 % udnyttelse – 212.000-424.000 m^2) og 200–500 personer i kontorejendomme (10-30 % udnyttelse- 71.000-212.000 m^2).

- Tomme private/offentlige udlejningsboliger:

  Der findes ca. 1.598.000 m² tomgang i private udlejningsboliger og ca. 68.000 m^2 tomgang i offentligt ejede udlejningsboliger.

  Ved fuld udnyttelse kan dette give boliger til op til ca. 33.400 personer, men realistisk vurderes potentialet til kun 1.700–3.400 personer (5-10% udnyttelse – 83.000-167.000 m^2).

- Tomme erhvervslejemål (kontor/butik) og tomme offentligt ejede bygninger:

  Der findes ca. 2.200.000 m² tomgang i erhvervslejemål, svarende til boliger til 44.000 personer, samt ca. 348.000 m^2 tomgang i offentlig ejede bygninger

  Ved fuld udnyttelse kan dette give boliger til op til 51.000 personer, men realistisk potentiale er 5.100–10.200 personer. (10-20 % udnyttelse – 255.000-510.000 m^2)

- Ændrede bomønstre i enfamiliehuse:

  Hvis beboerkapaciteten i enfamiliehuse øges fra 2,6 til 4 personer pr. hus, kan der potentielt skabes plads til op til 455.000 personer alene i huse beboet af singler og par over 50 år.

  Realistisk vurderes det, at 25–50% af dette potentiale kan realiseres, svarende til 114.000–228.000 personer.

I publikationen *Nye boliger i gamle bygninger fra 2023* (Anna Mette Exner Arkitektur, 2023) er der 20 aktuelle eksempler fra Danmark og Nordeuropa, der viser erfaringer med at skabe nye boliger i forskellige bygningstyper, der enten tidligere har haft en anden funktion eller hvor der er fortættet med flere boliger eller generationer under samme tag i en eksisterende boligbebyggelse.

11.2.4 Case om Delhus

I Del hus projektet under Bevar mere er der lavet et vidensprojekt om muligheder og barrierer ved opdeling af enfamiliehuse til flerfamiliehuse. Projektet fokuserer på villa- og parcelhuskvarterer og på mulighederne for at mindske mængden af nybyggede m^2 ved at opdele eksisterende enfamiliehuse til flerfamiliehuse (Hill-Hansen et al, 2024). Derudover er der lavet et procesværktøj til lokal udbredelse af delehuse (Lecker et al, 2025).

I (Hill-Hansen et al, 2024) slås det fast, at der kun er begrænsede praktiske erfaringer med at opdele enfamiliehuse til flerfamiliehuse. Der er ca. 1,17 mio. enfamiliehuse i Danmark og det er dermed den mest almindelige type bolig. I ca. 15% af disse bor der enlige og par med en alder på over 50 år og uden børn. Det er disse 15% af boligerne (175.500 boliger) der antages at kunne opdeles. Den gennemsnitlige størrelse på et parcelhus er 154 m^2. Der bliver flere singler og ældre, og i det hele taget bliver der færre og færre personer per husstand, og i 40% af alle hjem bor der kun 1 person. Dermed

påpeger rapporten en uoverensstemmelse mellem de tilgængelige boliger og den demografiske efterspørgsel, og stiller spørgsmålet om man ved at opdele enfamiliehuse i mindre enheder ville kunne genoprette forbindelsen mellem den nuværende demografi og de tilgængelige boliger. Undersøgelsen påpeger en række fordele ved at opdele husene såsom mindre klimabelastning, mindre boligmangel, "privathed og fællesskab i hverdagen", bevaring af kulturarv mm. Hvis der laves en opdeling af eksisterende huse, bliver der skabt mindre ejerboliger, som eksempelvis tillader unge at entrere boligmarkedet, mens ældre kan skifte den store bolig ud med en mindre. Det gennemsnitlige arealforbrug i enfamiliehusene er i 2024 på over 60 m^2 pr. person, og tallet forventes at stige i takt med at endnu flere bliver singler og kommer til at bo alene i de store huse. Der findes omkring 1.117.000 enfamiliehuse og stuehuse i Danmark. Bliver blot omkring 10% af disse delt op i to, vil det i sig selv kunne rumme det forventede behov for ekstra boliger frem mod 2040.

I (Hill-Hansen et al, 2024) arbejdes der med 'Opdelingstrappen', som viser forskellige grader af opdeling fra udlejning af en del af huset til udstykning. Der er en stigende grad af forhindringer jo højere oppe på trappen, man kommer.

I (Hill-Hansen et al, 2024) påpeges det, at barrieren er, at mange husejere ikke har et økonomisk incitament til at dele huset op. Banker og realkreditforeninger vurderer delte boliger som mere risikable, hvilket kan føre til dyrere lån, strammere vilkår eller afslag. Derudover er der udgifter i forbindelse med ombygning, og det kan kræve ekstra foranstaltninger at dele huset i to. Kommuneplan og lokalplaner kan sætte rammer, der forhindrer opdeling, fx krav om en bolig pr matrikel eller minimumsgrundsstørrelse, ligesom en opdeling udløser krav til brand, lyd, adgang eller parkering.

I (Lecker et al, 2025) har Lejre kommune fungeret som en case. Her blev blandt andet lavet en brugerundersøgelse i Ejby (Lejre Kommune) hvor det fremgår, at 30% af respondenterne kan forestille sig at dele eller opdele deres hus. Efter at have forklaret delehuskonceptet, vokser antallet af personer, der er åbne for delehuse, til 60% i slutningen af spørgeskemaet.

I Vidensprojektet "Bevar, del og bo flere sammen" har Transition Aps og ARK OIE udført en spørgeskemaundersøgelse for at undersøge danskernes lyst til at bo i opdelte huse. Ud over de mere traditionelle barrierer som frygten for mindre privatliv, når boliger deles op, så afslører spørgeskemaundersøgelsen også barrierer som at naboer til kvarterer med delehuse frygter, at der kan opstå problemer med utilstrækkelig infrastruktur, og at der tiltrækkes socialt udsatte borgere, samt at der kan opstå boligspekulation. Projektet indeholder ligeledes en casesamling med 11 cases, der beskriver konkrete muligheder for at dele bygninger op i flere enheder. For størstedelen af cases gælder, at CO_2 udledning angivet per person per år bliver mindre, når bygningerne deles i flere enheder (Transition Aps og ARK OIE, 2026).

11.2.5 Case om indretning af tagboliger

Københavns Kommune har fået undersøgt potentialet ved at indrette tagboliger på/i eksisterende bygninger der enten har uudnyttede tagetager eller har flade tage med tagpap og lille hældning (Københavns Kommune et al. 2026). Undersøgelsen viser, at der er et samlet potentiale på 396.679 m^2, svarende til 4.682 nye boliger (ved en gennemsnitlig boligstørrelse på 85 m^2).

I undersøgelsen sammenlignes etableringen af tagboliger også med klimaaftryk ved opførelse af et tilsvarende boligareal opført som nybyggeri. Etableringen af tagboliger medfører et klimaaftryk på cirka 132.000 ton CO_2 over en 50-årig periode. Et tilsvarende boligareal opført som nybyggeri medfører omkring 259.000 ton CO_2, mens nybyggeri i lavemissionsklassen vil udlede cirka 219.000 ton CO_2. Dermed viser beregningerne at der kan opnås en reduktion på omkring 50 %.

Kigges der på de samfundsmæssige aspekter så vurderes det i projektet, at tagboliger har lavere anlægsinvesteringer og lavere samlede omkostninger pr. m² end nybyggeri. Det skyldes blandt andet at nybyg kræver køb af byggegrunde og byggemodning. De samfundsøkonomiske omkostninger over 20 år er beregnet til cirka: 44.000 kr/m² for renovering af uudnyttede tagrum, 34.000 kr/m² for en ny etage på fladt tag og 66.000 kr/m² for nybyggeri. Det betyder, at for det samlede potentiale i Københavns Kommune på ca. 396.800 m² vil etablering af tagboliger medføre en samlet samfundsøkonomisk omkostning på omkring 16 mia. kr., mens tilsvarende nybyggeri vil koste omkring 26 mia. kr. Besparelsen ved at vælge tagboliger frem for nybyggeri er dermed i størrelsesordenen 10 mia. kr. (Københavns Kommune et al 2026).

11.2.6 Cases om delegårde

For at understøtte personer der ønsker at flytte på landet, har Byværk & Cornelius Vöge – Aterlier for Arkitektur (2026) udgivet et udviklingsværktøj, man kan læne sig op ad, hvis man drømmer om livet på landet og ønsker at bo på en gård med andre. Værktøjet understøtter processen i at finde ud af om en gård er relevant at omdanne og om den kan blive en attraktiv bolig for flere. Værktøjet kan bruges til at undersøge svar på spørgsmål om udfordringer i form af planforhold, naboforhold, finansiering mm. Desuden indeholder projektet eksempler på hvordan forskellige typer af gårde kan omdannes til delegårde, for på den måde at bevare mest mulig af eksisterende bygningsmasse.

11.2.7 Shared use bygninger

I shared use bygninger anvendes bygningens kvadratmeter eller faciliteter af forskellige brugere til forskellige formål. På den måde sikres det fx at bygninger ikke står tomme en del af tiden. Der kan både være tale om bygninger der bruges til nogle aktiviteter om dagen og andre aktiviteter om aftenen eller det kan i visse tilfælde også være bygninger, der har forskellig anvendelse på forskellige tidspunkter af året.

Selv om det ikke beskrives nærmere her, så kan fokus også være på det længere sigt, dvs. at man ved opførsel indretter bygningerne fleksibelt, fordi man har en ide om at bygningerne ikke skal bruges til deres oprindelige anvendelse over længere tid. Ved fleksibel indretning kan bygningerne nemt transformeres til anden anvendelse, fx ved blot at flytte nogle enkelte lettere vægge.

Begrebet Shared space anvendes af Brinkø (2016) som ”*et samlende begreb for arealer og faciliteter der deles mellem personer fra forskellig organisatorisk sammenhæng*”. Fra et samfundsmæssigt perspektiv kan shared spaces være med til at skabe mere livlige og attraktive bymiljøer, mens det fra bygningsejerens perspektiv kan medvirke til at optimere udnyttelse af kvadratmetrene og dermed minimere omkostninger ved tomme eller underudnyttede arealer. Et åbenlyst eksempel på shared space er skoler, hvor lokalerne efter skoletid anvendes til SFO eller klub, og om aftenen anvendes af forskellige foreninger til faglige arrangementer, kor mm.

For kommuner som bygningsejere kan fordelene både ligge i besparelser forbundet med at der skal opføres færre bygninger, men også besparelser forbundet med at der skal driftes færre bygninger. I publikationen ”Guide til shared space i kommuner” (Brinkø 2016) gennemgås det, hvilke praktiske overvejelser kommunerne skal gøre sig i forbindelse med shared spaces, ligesom der gives anbefalinger til processen. Udover de praktiske forhold omkring fx adgangsforhold, forskellige krav til de rum, der

deles mm, så er det også vigtigt at huske på at have fokus på forankring og kommunikation, da der godt kan være forskellige holdninger til om shared space er en fordel.

11.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

11.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning 1:

Ifølge (Sweco og Cobe, 2023) er der estimeret tomgang på 5 mio. m^2 i 30 kommuner. Derudover er identificeret 197.000 parcelhuse, som kun er beboet af singler og par over 50 år, og som derved kan få en øget kapacitet. Ved en gennemsnitlig størrelse på 150 m^2 svarer dette til omkring 30 mio. m^2, som kan udnyttes bedre i stedet for at bygge nyt. Dette svarer til tomgang på i alt på 35 mio. m^2. (Sweco og Cobe, 2023) vurderer, at det ikke er realistisk at udnytte al dette tomgangsareal. Dertil kommer, at der også er et tomgangspotentiale i de øvrige kommuner, hvor der dog ikke forventes så høj befolkningsvækst.

Ifølge (Danmarks Statistik, 2026) er det påbegyndte boligareal omkring 2,8 mio. m^2. Hvis denne aktivitet fortsætter de næste 15 år, svarer dette til 42 mio. m^2. Under forudsætning af at der anvendes 0,7 ton sand og grus pr etage m^2 svarer dette til omkring 29 mio. tons sand og grus eller knap 2 mio. tons pr år, som potentielt kan spares ved at dele hus og udnytte ubeboet areal i stedet for at opføre nyt, svarende til 33 % af det samlede råstofforbrugtil byggeriet årligt. Det vurderes på baggrund af ovenstående betragtninger dog ikke realistisk at hele potentialet kan indfries i de 30 kommuner, og det vil forudsætte at tomgang også udnyttes i de øvrige kommuner, hvilken igen forudsætter at noget af befolkningsvæksten flyttes hen til disse kommuner.

Potentialeberegning 2:

Ifølge (Sweco og Cobe, 2023) er der i løbet af de næste 15 år brug for at udføre nybyggeri på 14,1 mio. m^2 til 282.000 flere indbyggere. Under forudsætning af at der anvendes 0,7 ton sand og grus pr etage m^2 svarer dette til omkring 10 mio. tons sand og grus eller 658.000 tons pr år, som potentielt kan spares ved at dele hus og udnytte ubeboet areal i stedet for at opføre nyt. Set i forhold SWECOS estimater er det dog optimistisk at dette forbrug kan dækkes ind af tomgang, og det skal derfor ses som et max besparelse.

11.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Ved at dele hus og udnytte ubeboet areal, kan der potentielt set opføres mindre byggeri, hvilket vil give en besparelse på CO_2-udledningen, og samtidig løse et problem med boligmangel.

Ved at skabe enheder, hvor flere bor sammen er der muligheder for at mindske ensomhed, skabe tryghed og lette hverdagen, og der er ligeledes muligheder for at ældre kan blive længere i deres eget hjem (Hill-Hansen et al. 2024).

11.4 Barrierer

Tekniske og faglige barrierer: Fleksible bygninger og delebygninger stiller øgede krav til design, projektering og tekniske løsninger. For at muliggøre ændret anvendelse, deling og ombygning over tid skal bygninger ofte dimensioneres anderledes, fx med større spænd, højere etagehøjder og fleksible installationsprincipper. Dette kan øge den faglige kompleksitet og kræver særlig viden om design for fleksibilitet og adskillelse af bygningsdele. Samtidig kan det være vanskeligt at dokumentere de langsigtede gevinster ved fleksibilitet i det enkelte projekt.

Ift. bygninger, der allerede er bygget og som ønskes delt op i forhold til at skabe nye boliger, skal der tages højde for både tekniske og praktiske forhold som fx bærende konstruktioner, adgangsforhold, dagslys samt antallet af køkkener og badeværelser.

Økonomiske barrierer: De økonomiske barrierer knytter sig til, at fleksible løsninger ofte indebærer højere anlægsomkostninger her og nu. Investeringer i ekstra bæreevne, fleksible konstruktioner og generelle løsninger kan være vanskelige at forsvare i projekter, hvor økonomien vurderes ud fra kortsigtede anlægsbudgetter. Samtidig kan de økonomiske gevinster ved øget levetid, reduceret behov for nybyggeri og bedre ressourceudnyttelse være usikre eller vanskelige at værdisætte på projektniveau.

I forhold til at dele den nuværende bygningsmasse op, så har mange husejere ikke et økonomisk incitament til at dele deres hus op, og det kan desuden opleves som besværligt. Der kan desuden være en tendens til at banker og realkreditforeninger vurderer delte boliger som mere risikable, hvilket kan føre til dyrere lån, strammere vilkår eller afslag.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Fleksible bygninger og delebygninger udfordrer gængse praksisser for både planlægning, ejerskab og drift. Delefunktioner og fællesarealer kræver klare aftaler om ansvar, drift og vedligehold, hvilket kan øge den organisatoriske kompleksitet. Ved en højere grad af udnyttelse af ubenyttede m^2, vil fortætningen i et område øges, hvilket betyder mere trafik i området, hvilket igen øger den organisatoriske kompleksitet.

På et overordnet samfundsplan er det ikke sikkert, der er overensstemmelse mellem beliggenhed af de ubenyttede m^2 og den enkelte persons ønskede beliggenhed for en bolig, ligesom det ikke er sikkert at de ubenyttede m^2 er understøttet af en ønsket infrastruktur. Boliger i erhvervskvarterer kan være uhensigtsmæssigt, idet der ikke nødvendigvis er taget hensyn til sikker trafik, støj, forureninger eller lignende.

Det kan desuden være svært at overbevise befolkningen om, at de fx skal bo på tagetage-arealer eller i bygninger med en overvejende indretning som kontor, men betydningen af et områdets popularitet vil have stor betydning for hvilke løsninger, der kan etableres.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer: Plan- og bygningsregulering er ofte indrettet efter entydige anvendelser og faste funktionsopdelinger, hvilket kan gøre det vanskeligt at realisere fleksible bygninger og delebygninger. Derudover kan lokalplaner og kommuneplanrammer være udformet på en måde, der ikke understøtter delebygninger og multifunktionelle løsninger, fx krav om en bolig pr matrikel eller minimumsgrundsstørrelse.

11.5 Næste skridt

Det vurderes, at hovedbarriereren for handlemuligheden handler om, at det kan være uattraktivt at dele en bolig op eller indrette en bolig i fx tagetager eller kontorbygninger. Kommuneplaner og lokalplaner kan bruges som planlægningsværktøjer, fx ved at give mulighed for at dele en boliggrund op til at indeholde flere husstande eller til at indrette boliger i tomme erhvervslokaler. Der er ikke fundet cases, der har afprøvet konceptet i et demonstrationsprojekt, og det vurderes, at det kan være svært at få handlemuligheden til at fungere i praksis. Ejendomsejere har dog en gevinst i at de kan udnytte tomgang, men de forskellige arealanvendelser som bolig, kontor, industri og deres indvirkning på hinanden bør undersøges.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav:** Afgifter på mineralske råstoffer kan øge incitamentet til at spare på disse og dermed bygge mindre. Dette skal dog ses i sammenhæng med øvrige prisstrukturer for byggeriet og øvrige byggematerialer, så der fx ikke opnås en effekt, hvis der i højere grad importeres stål.
- **Regulering og krav:** Afgifter på energi kan øge efterspørgslen på færre m^2 og dermed delebygninger, idet det bliver dyrere at opvarme sin bolig.
- **Regulering og krav:** Indførsel af lovgivning omkring hvor meget der må bygges og hvor meget et område må fortættes i fx kommune og lokalplaner kan øge incitamentet til delebyggeri.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Indførsel af bedre lånemuligheder, når boliger opdeles, vil gøre deleboliger mere attraktive.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til metoder og demonstrationsprojekter vil give branchen øget incitament til udvikling af dette, se desuden branchetiltag.
- **Metoder og værktøjer:** Brug af kommune/lokalplaner til at fremme delebyggeri.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Information om bæredygtighedsaspekter og andre fordele ved delebyggeri kan påvirke en holdnings- og kulturændring, således at der efterspørges mindre boliger.

Branchetiltag

- **Metoder og værktøjer:** Udvikling af metoder eller værktøjer til arealplanlægning, fx i forbindelse med fortætning af byområder eller etablering af boliger i industrikvarterer.
- **Metoder og værktøjer:** Planlægning af byudvikling, hvor fordele og ulemper ved fortætning i forskellige typer af områder (fx boligområder og erhvervsområder) vurderes. Det kan være fordelagtigt at vurdere dette op mod arealanvendelsen i det åbne land.
- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter med delebyggeri, der deler erfaringer med branchen kan øge kendskab til løsninger og vise fordele frem.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Information om bæredygtighedsaspekter og andre fordele ved delebyggeri kan påvirke en holdnings- og kulturændring, således at der efterspørges mindre boliger.

- **Viden, kompetencer og kultur:** Undersøge potentialerne for delebyggeri i forhold til industri/erhvervsbygninger.

11.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

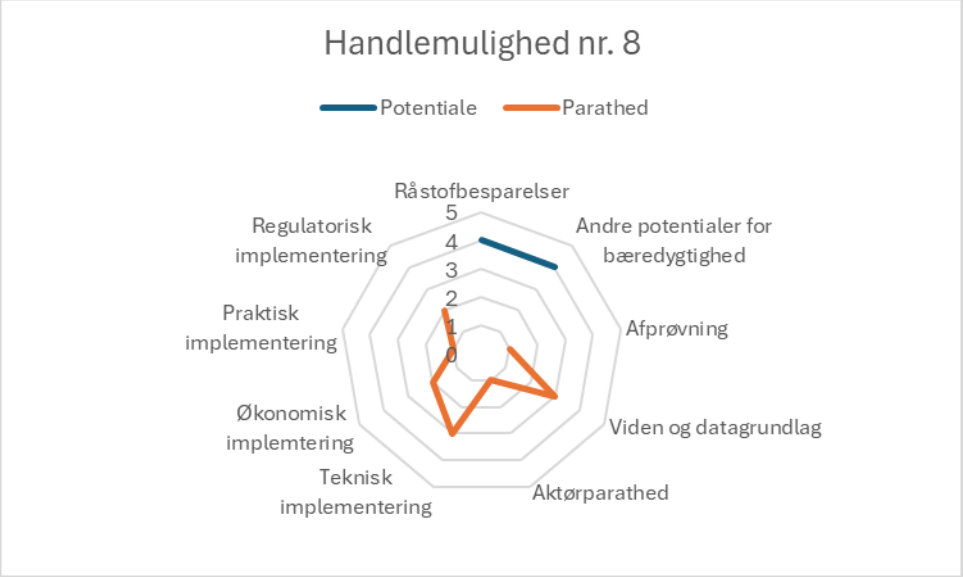
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	4		Ca. 2 mio. tons som skal dækkes af tomgang i alle kommuner.
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Reduktion af CO_2, når der bygges mindre
Afprøvning		1	Ikke fundet demonstrationsprojekter
Viden og datagrundlag		3	Viden eksisterer via Bevar Mere og Delhus
Aktørparathed		1	Manglende udbredt accept af at dele boliger
Teknisk implementering		3	Metoden bygger på planlægning. Værktøjer findes i nogen grad via Delhus
Økonomisk implementering		2	Der kan være omkostninger ved at dele hus
Praktisk implementering		1	Arbejdsgange ift. byfortætning og ændrede boligmønstre er komplekse
Regulatorisk implementering		2	Kommuneplaner kan begrænse udbredelsen

Afbilledet ved dette diagram:



11.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på lang sigt, at realisering kræver organisatoriske ændringer, nye forretningsmodeller og højere accept af deling og fleksibilitet.

12. Mere renovering

12.1 Introduktion

Handlemuligheden omhandler at reducere forbruget af mineralske råstoffer ved hjælp af renovering. Nedrivning af bygninger med efterfølgende nybyg kan erstattes af renovering og transformation. Renovering og transformation er et bredt begreb, der dækker både vedligehold, reparation, omdannelse og tilbygning. Renovering kan spænde fra bevaring af eksisterende konstruktion eller råhus og tilføjelse af flere etager eller tilbygninger til transformation af bygningens indre ved fx flytning af vægge og gulve eller udskiftning af tag, vinduer mm. Ligeledes kan mindre reparationer og vedligehold øge bygningens funktionelle levetid.

Ved transformation af en bygning øges muligheder for genbrug af materialer. Etablering af nye døre og vinduer medfører at oprindelige mursten kan bruges til reparationer mm andre steder i bygningen. Renovering kan udføres således at fx gulve et sted i bygningen bruges et andet sted eller gulvbrædder kan bruges som døre eller inventar.

En renoveringsproces skal tilpasses de enkelte bygninger, der renoveres. Derimod er nedrivning og nybyg mere standardiserede processer.

Meget byggeri er udført i beton og tegl eller andre materialer, som er lavet af mineralske råstoffer. Når bygningerne renoveres eller transformeres er der i et vist omfang brug for at bygge i netop sådanne materialer.

12.2 Udvalgte cases

12.2.1 Cases om renoveringer

I både Danmark og udlandet er der mange erfaringer med at renovere og transformere byggeri med fokus på at bevare materialer. Eksemplerne viser at nedrivning i høj grad kan undgås. I Anna Mette Exner Arkitektur (2023) er beskrevet 20 eksempler fra Danmark og udland om transformation og renovering, hvor der tilmed også er skabt flere boliger i gamle bygninger:

Dette tæller blandt andet eksempler på tilbygninger af træ på teglbygninger, herunder blandt andet:

- Hermodsgade, som er en bevaringsværdig fabriksbygning i 2 etager bygget i mursten, der er bygget højere med en ny tilbygning af træ. Transformationen viser, at der kan bygges videre og ovenpå bevaringsværdige bygninger. Det samlede areal blev fordoblet, og der er etableret ungdomsboliger under 50 m^2. Renoveringer af murværket og tilpasning til den nye form er lavet med genbrugstegl.
- Carmelites i Belgien, er et byhus i tegl i 3 etager, der ligger mellem et højt og lavt byggeri, som er blevet omdannet fra at være et byhus i tre etager til et byhus i fem etager med to boliger. Tilbygningen er lavet i træ. Tilbygningen blev udført ved at forhøje murværket efter det gamle tag

var fjernet, hvorefter der blev tilføjet en træstruktur i to etager ovenpå. Dette var afgørende på grund af bæreevnen i de eksisterende mure.
- I Espergærde er omdannelsen af et hus i gasbeton sket med tilbygning af træ, nyt tag og sortmalede træfacadeløsninger på hele bygningen, hvilket gav plads til to boliger i stedet for en.

Derudover er beskrevet eksempler på bevaring af råhuse, der omdannes til at rumme flere boliger eller lejemål, herunder blandt andet:

- The Silo, der er en gammel kornsilo i Nordhavn, er lavet til en boligejendom med 38 etagelejligheder. Den originale rå betonstruktur er næsten blevet fuldstændig bevaret.
- Siljangade er en tidligere bogdistributionscentral, der er omdannet til 138 erhvervsboliger, som kombinerer boliger og erhverv. Den oprindelige betonkonstruktion er bevaret og der er påført facademoduler af aluminium, der kan afmonteres enkeltvis, så de let kan repareres eller skiftes ud.
- Rudkøbing skole er en bygning fra 1920 opført i tegl, som er blevet bevaret og ombygget til 22 almene seniorboliger. Der har været fokus på at bevare så meget af den gamle bygning som muligt, og slidte bygningsdele som døre og tag er blevet udskiftet. Nogle boliger har fået altan og andre har fået kviste eller tagterrasser.
- Samuels Hus er en kirke, som er ombygget til 32 ungdomsboliger og 2 familieboliger. Bygningskroppen består af materialer i høj kvalitet og med lang restlevetid og både døre, vinduer og teglsten er blevet brugt igen.
- Fabers fabrikker, er omdannet til fire boliger. Fabrikkens ydre er blevet istandsat men rørt så lidt som muligt, hvorimod den nye indre konstruktion er udført i træ med træfiberisolering. Konceptet består af en kerne med boligernes basale elementer inde i fabrikken og uopvarmede fleksible rum, som afhængigt at årstiden kan bruges som værksted, atelier eller opholdsrum.

Udover ovenstående eksempler fra eksempelsamlingen (Anna Mette Exner Arkitektur 2023), nomineres der hvert år en række renoveringer til Renover-prisen. Heriblandt er også mange gode eksempler på at materialer bevares (Renoverprisen, hjemmeside citeret 15-07-2026).

12.2.2 Cases om ’bevar eller forklar’

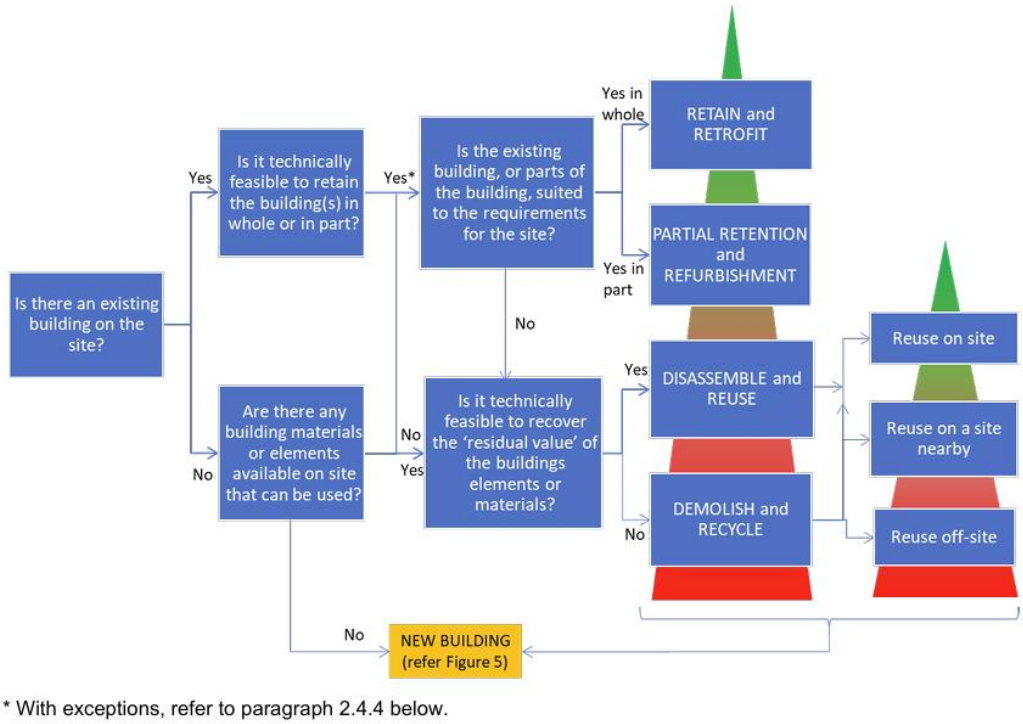
”Bevar eller forklar” er et princip, der prioriterer renovering frem for nedrivning og nybyggeri, ved at bygherrer, der ønsker at rive ned, skal redegøre for, hvorfor de eksisterende bygninger ikke kan bevares.

I Danmark er princippet endnu ikke særlig udbredt. I London er princippet implementeret, her kaldes ”Bevar eller forklar” for ”retro-fit first” - princippet. I 2022 udgav The Greater London Authority (GLA) deres ”London Plan Guidance”, der består af to dele: «Whole Life-Cycle Carbon Assessments» og «Circular Economy Statements» (GLA, 2022).

Circular Economy Statements handler om, at bygherre skal indsendes en redegørelse for hvordan nybyggeri, eksisterende byggeri og nedrivning skal behandles på en lokalitet i forbindelse med udvikling af en ejendom. Vejledningen gælder for de største udviklingsprojekter i London, som skal forelægges borgmesteren. Det opfordres dog også til at tilgangen skal anvendes for mindre udviklingsprojekter.

I guiden fremgår et beslutningstræ, som ender i 4 tilgange til den eksisterende bygning, der skal ses som et hierarki, hvor 1 er mest ønskværdigt: 1) Retain and retrofit (bevarelse og renovering), 2) Partial

retention and refurbishment (delvis bevaring og ombygning), 3) Disassemble and reuse (nedtagning og genbrug) og 4) Demolish and recycle (nedrivning og genanvendelse). Beslutningstræet er illustreret i nedenstående Figur 12.1.



Figur 12.1 Beslutningstræ der viser tilgangen til "bevar eller forklar" i London (GLA, 2022).

Et CE-statement (Circular Economy Statement) skal udfyldes og der skal redegøres for hvilken af de 4 tilgange, der skal udføres. Jo længere ned i hierarkiet man bevæger sig, jo mere grundige skal forklaringerne være.

Et CE-statement skal indeholde:
- målsætninger for cirkulær økonomi
- design tilgange for cirkulær økonomi
- design principper for CØ
- design principper ift. "layers of the building"
- pre-redevelopment audit og pre-demolition audit, hvor pre-redevelopment audit handler om hvordan bygningen kan blive bevaret, mens pre-demolition audit handler om hvordan materialerne kan blive håndteret ved nedrivning
- bill of materials
- affaldshåndteringsplan
- rapportering af genanvendelse og affald

Det anbefales, at der sker en tidlig dialog med de lokale planlægningsmyndigheder. Dokumentet indeholder ligeledes tilgange for, hvordan nye byggerier skal designes med henblik på fleksibilitet, tilpasning og efterfølgende genbrug.

I 2022 var der 82 sager med CE-statements og i 2023 var der 71 sager med CE-statements. Målsætningen om at mindst 20 % af bygningen skal genbruges eller genanvendes blev opnået i 21 % af

sagerne, mens målsætninger om 95 % nyttiggørelse (genbrug, genanvendelse, nyttiggørelse) blev opnået i 95 % af sagerne. I 2023 blev der modtaget 14 Pre-redevelopment audits, som tog udgangspunkt i beslutningstræet. Mange ansøgere redegjorde for forskellige løsningsforslag fra fuld bevarelse til nedrivning og nybyggeri (Mayor of London, 2023).

I en Dansk kontekst har Arup Danmark (2026) udviklet et "Bevar eller forklar-værktøj" som kan understøtte kommuner og andre aktører i vurderingen af, om eksisterende bygninger skal bevares og transformeres. Værktøjet er således primært målrettet kommunernes planafdelinger, der som myndighed kan stille krav om analyser af eksisterende bygningers potentiale. Værktøjet understøtter en analyse af om bygningen kan rives ned baseres på vurderinger af følgende:

- Bygningens tilstand
- Om det ønskede projekt kan realiseres inden for de rammer som den eksisterende bygning tilbyder
- Om en hel eller delvis bevaring kan dokumenteres som mere CO_2-venlig end nedrivning og nybyg

Tanken er at krav fx kan skrives ind i lokalplaner, hvis analysen viser, at bygningerne bør bevares.

Kolding Kommune:
Kolding kommune har i 2025 udarbejdet en arkitekturpolitik, som bygger på "Bevar eller forklar"-princippet. I politikken er der 5 indsatsområder: bevar det eksisterende, værdsæt de fælles rum, revitaliser med respekt, byg nyt med værdi og riv ned med mening (Kolding kommune, 2025).

Indsatsområdet "Revitaliser med respekt" omhandler revitalisering, som er en mulighed for at genskabe områders værdi (fx bymidter, landsbyer, boligområder og erhvervsområder), både som funktionelle steder, men også som rammer for hverdagsliv, fællesskab og sammenhængskraft. Ved revitalisering kan byer fortættes og fornys indefra i stedet for at ekspandere udad i landskabet og tage nye arealer i brug.

Indsatsområdet "Byg nyt med værdi" handler om at skabe bygninger, der opfylder fremtidens krav, fx via en effektiv udnyttelse af eksisterende arealer og ved at bygge fleksible bygninger (Kolding kommune, 2025).

Indsatsområdet "Riv ned med mening" handler om at nedrivning kun sker, når det er absolut nødvendigt, og at man skal kunne forklare hvorfor. Nogle bygninger er i så dårlig stand, at de ikke kan bevares, mens andre bygninger har en funktion, der ikke længere kan opretholdes eller omdannes. I alle tilfælde må beslutningen om nedrivning baseres på en grundig vurdering af mulighederne – både teknisk, arkitektonisk og bæredygtighedsmæssigt (Kolding kommune, 2025).

12.2.3 Case om renovering af enfamliehuse

Projektet IGENBO (Teknologisk Institut, Responsible Assets, Build, Aalborg Universitet, citeret 15-07-2026) har afdækket overvejelser og barrierer, som danske husejere oplever ift. at bygge nyt eller renovere og kommer med fire anbefalinger til hvordan nedrivning af enfamiliehuse kan undgås.

Anbefalingerne er, at kommuner skal fremme bevaring af enfamiliehuse i lokalplaner og gennem borgerdialog, men bevaring også skal understøttes af lovgivning. Landsdækkende kampagner i

mainstreammedier, der gør renovering attraktiv, skal iværksættes. Boligejere skal have adgang til uvildig viden om renovering ift. nedrivning og nybyg, håndværkere skal markedsføre renovering og tilbyde pakkeløsninger, ejendomsmæglere bør visualisere renoverede huse og forklare CO_2-, ressource- og økonomifordele, mens banker skal understøtte renovering via lån og rådgivning med fokus på klima og økonomi.

I projektet er der lavet 3 delanalyser af henholdsvis boligkøberen, der vælger at rive ned og bygge nyt, boligkøberen, der vælger at renovere samt af aktører omkring boligkøberen.

De boligkøbere der vælger at rive ned og bygge nyt gør det ofte, for at få 'et perfekt hus' uden kompromisser. Barrierene for renovering er usikkerhed om økonomi, manglende viden om muligheder og frygt for uforudsete problemer. Nybyggeri ses som enklere og mere forudsigeligt. Husejerne har ofte vurderet, at huset har udstået sin levetid og er udtjent på grund af sin stand. Energiforbruget er også en parameter, da nye huse opleves som værende mere energieffektive.

De boligkøbere, der vælger renovering har motiver som økonomiske hensyn og at bevare husets karakter. Huset opleves at være i en stand, der kan renoveres, ligesom husets arkitektoniske udtryk og historie har en værdi. Renovering kræver ofte mere planlægning og koordinering, men kan være billigere og mere klimavenlig. Det kræver aktiv deltagelse i renoveringen fra boligejeren og der skal tages mange beslutninger, ligesom samarbejdet med håndværkerne kan være kompliceret. Derudover er der en del spørgsmål og tvivl om forsikring og ansvar i visse renoveringsprojekter.

Aktører omkring boligkøberen er ejendomsmæglere, banker, håndværkere og kommuner, der har stor indflydelse på beslutningen, og i dag er der et bias mod nybyggeri i rådgivning og markedsføring. Banker rådgiver fx ud fra økonomisk sikkerhed i lånet og har nogle gange samarbejde med typehusfirmaer, hvor boligkøbere optager lån og køber nedrivning samt nyt typehus samtidig. Ejendomsmæglere har først og fremmest fokus på et salg.

12.3 Potentialer

I det følgende estimeres potentialer for råstofbesparelser og andre bæredygtighedsparametre vurderes. Det bemærkes at estimater for råstofbesparelser er forbundet med store usikkerheder og bygger på en række antagelser og dermed skal tages med forbehold. Hvor det er muligt, kvalificeres estimaterne ved at bruge forskellige metoder eller kilder.

12.3.1 Potentielle råstofbesparelser

Potentialeberegning 1:

Et notat fra BUILD (Jensen et al 2025) om nedrivning af bygninger, viser at der i perioden fra 2012 til 2023 er nedrevet ca. 2,2 mio. m² pr. år (bolig + erhvervsareal), hvoraf landbrugsbygninger alene udgør ca. 1 mio. m². Dernæst kommer erhverv med ca. 200.000 m².

I notatet er beregnet, hvor stor en andel projekter med Riv-Ned-Byg-Nyt udgør, dvs. projekter hvor der er opført et nyt byggeri på samme matrikel. Samlet udgør Riv-Ned-Byg-Nyt arealer med efterfølgende nybyggeri til samme anvendelse 500.000 m^2/år, hvilket er 20 % af det samlede nedrevne areal.

Riv-Ned-Byg-Nyt udgør kun 20 % af alle nedrivninger, men ved fx at inkludere sager, hvor nybyggeriet har en anden anvendelse eller inkludere sager, hvor man river ned på en geografisk lokation og bygger nyt på en anden geografisk lokation, kan andelen forhøjes.

Dertil kommer at der til renoveringer kan være brug for materialer med mineralske råstoffer, hvilket ikke er inkluderet i beregningerne, da der mangler data.

Hvis der regnes med et forbrug på 0,7 ton sand og grus pr nyopført etage m^2, kan der spares 350.000 tons råstoffer pr år, hvis arealet med Riv-Ned-Byg-Nyt på 500.000 m^2 pr år erstattes af renovering.

Hvis der derimod regnes med at 70 % af al nedrivning stoppes og erstattes af renoveringer, kan der spares i alt 1 mio. tons råstoffer.

Hvis der regnes med, at al nedrivning stoppes og erstattes af renoveringer, kan der spares i alt 2,2 mio. m^2 etageareal og med 0,7 ton sand og grus pr etage m^2, estimeres en potentiel besparelse på i alt 1.540.000 tons råstoffer.

Af dette kan afledes en potentiel besparelse af mineralske råstoffer på omkring 1 mio. tons, ca. 17 % af det samlede forbrug på 6 mio. tons råstoffer.

12.3.2 Andre bæredygtighedsaspekter

Renovering af bygninger kan også reducere udledningen af CO_2, da behovet for nye materialer reduceres. Mange renoveringer er desuden energirenoveringer, hvorved der opnås CO_2 besparelser i driftsfasen.

Renovering har også den fordel, at bevaringsværdige bygninger bliver beskyttet mod nedrivning. Ved at istandsætte og opgradere eksisterende byggeri kan kulturarven og historie bevares.

Når bygninger renoveres i stedet for at rives ned, mindskes andelen af affald der skal håndteres. Dette har stor betydning da der er store økonomiske omkostninger til håndtering af affaldet, der desuden kan udgøre en miljøproblematik. I Danmark stammer op i mod 40% af alt affald fra byggesektoren. Denne andel kan mindskes hvis andelen af bygninger, der rives ned, mindskes.

12.4 Barrierer

Tekniske og faglige barrierer: Renovering af eksisterende bygninger kan være teknisk og fagligt kompleks, da bygningernes tilstand, opbygning og brug af materialer ofte varierer betydeligt. Skjulte konstruktioner, mangelfuld dokumentation og uforudsete forhold kan gøre projektering og udførelse mere usikker end ved nybyggeri. Derudover kan det være vanskeligt at opnå samme tekniske ydeevne, fx i forhold til energi, indeklima og installationer, som ved nybyggeri, uden omfattende indgreb i den eksisterende bygningsmasse.

Ved renovering skal der være unikke løsninger for hvert enkelt byggeri, mens nybyggeri bedre kan sættes i standardløsninger, og det kan derfor opleves som lettere at rive ned og bygge nyt end at renovere, og fx typehus firmaer sælger standardløsninger for nybyggeri, som kan være attraktive for boligejere.

Renovering kræver specialiseret viden og byggetekniske kompetencer. Manglende erfaring hos bygherrer, rådgivere og entreprenører kan føre til konservative valg, hvor man fravælger renovering til fordel for nybyggeri.

Økonomiske barrierer: De økonomiske barrierer ved renovering knytter sig blandt andet til usikkerhed om omkostninger og risici. Manglende dokumentation for konstruktioner og materialer gør projektering mere kompleks og øger risikoen i renoveringsprojekterne. Uforudsete forhold som skjulte skader og behov for supplerende undersøgelser kan medføre budgetoverskridelser, og renovering kan i nogle

tilfælde fremstå mindre økonomisk attraktiv end nybyggeri, særligt hvis anlægsøkonomien vurderes isoleret. Samtidig kan traditionelle finansieringsmodeller og forretningsmodeller favorisere nybyggeri, selvom renovering kan have langsigtede samfunds- og ressourceøkonomiske fordele.

Tidligere var det en naturlig ting at renovere frem for at rive ned. Det skyldtes blandt andet at materialeprisen var højere og arbejdslønnen lavere. I dag er det omvendt, hvilket er medvirkende til at det kan være mere økonomisk attraktivt at bygge nyt fremfor at renovere.

Organisatoriske og praksisrelaterede barrierer: Renoveringsprojekter kræver ofte mere unikke løsninger og tættere samarbejde mellem aktører end nybyggeri. Dette kan udfordre gængse arbejdsgange, tidsplaner og udbudsformer, som ofte er tilpasset standardiserede byggeprocesser. Derudover kan beboere eller brugere være til stede under renoveringen, hvilket stiller særlige krav til planlægning, kommunikation og gennemførelse og kan øge kompleksiteten i projektet.

Renoveringsprojekter stiller store krav til tidlig afklaring, tværfagligt samarbejde og inddragelse af mange fagkompetencer inden for fx byggeteknik, skadesudredning og forekomst af skadelige stoffer. Hvis dette ikke prioriteres tidligt, kan potentialer for bevaring gå tabt. Traditionelle udbuds- og kontraktformer understøtter ofte ikke den nødvendige tidlige indsats.

Regulatoriske og rammebetingede barrierer
Bygningsreglement, lokalplaner og øvrige myndighedskrav kan udgøre barrierer for renovering, særligt når eksisterende bygninger skal tilpasses nutidige krav. Krav om opgradering til gældende standarder kan i nogle tilfælde gøre renovering teknisk eller økonomisk vanskelig. Samtidig kan planmæssige forhold, bevaringshensyn og fredningsregler begrænse mulighederne for ombygning og tilpasning, selv når der er et ønske om at bevare og videreudvikle eksisterende byggeri.

Eksisterende bygninger er ofte opført efter ældre standarder og med materialer, som kan være vanskelige at tilpasse nutidige krav til energi, indeklima, brandsikkerhed og tilgængelighed. Krav til nybyggeri i Bygningsreglementet kan være svære at opfylde for renoveringer.

12.5 Næste skridt

Det vurderes, at hovedbarriereren for handlemuligheden er at renoveringer kræver unikke løsninger tilpasset den enkelte bygning, og at de kan udføres i forskelligt omfang fra vedligehold til udskiftning af dele af bygningen til omdannelse af dele eller hele bygninger. Dette kræver specialiseret viden og byggetekniske kompetencer, og der vil ofte være knyttet en vis økonomisk usikkerhed. Der eksisterer en række eksempler på renovering, hvor der er sparet på materiale og der er et oplagt potentiale i renovering med råstofbesparelser, ligesom bygningsmassen med dertilhørende historie bevares. På trods af dette tilvælges nybyggeri ofte.

Derfor gives en række ideer til tiltag, der kan få handlemuligheden op i skala. Tiltag er delt op i hvilke tiltag, branchen selv kan gøre og hvilke tiltag, der kræver politisk stillingtagen. Yderligere er tiltag inddelt i kategorier fordelt på 1) Regulering og krav, 2) Metoder og værktøjer, 3) Økonomiske incitamenter og Finansiering samt 4) Viden, kompetencer og kultur.

Politiske tiltag:

- **Regulering og krav**: Indførelse af princip om "Bevar eller forklar" i lovgivning vil fremme renovering. Dette kan indføres på kommune/lokalplansniveau, men vil have allerstørst effekt i lovgivning, fx i lovgivning om selektiv nedrivning.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Indførelse af bedre lånemuligheder for renoveringsprojekter vil gøre dem mere attraktive.
- **Økonomiske incitamenter og finansiering:** Økonomisk støtte til metoder og demonstrationsprojekter vil give branchen øget incitament til udvikling af dette, se desuden branchetiltag.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Arbejde for kulturændring, således at renovering og bevaring af en bygning, bidrager med værdi til bygningen. Hvis renovering og bevaring ses som mere attraktivt end nybyggeri, kan renoverede bygninger potentielt stige i værdi ift. nybyggeri.

Branchetiltag

- **Metoder og værktøjer:** Bedre markedsføring af renoveringsprojekter med visualiseringer af hvordan et hus kommer til at se ud efterfølgende kan øge efterspørgslen efter renovering.
- **Metoder og værktøjer:** Planlægning af byudvikling, hvor fordele og ulemper ved fortætning i forskellige typer af områder (fx boligområder og erhvervsområder) vurderes. Det kan være fordelagtigt at vurdere dette op mod arealanvendelsen i det åbne land.
- **Metoder og værktøjer:** Udførelse af demonstrationsprojekter med renovering, der deler erfaringer med fokus på at spare på materialer/råstoffer.
- **Viden, kompetencer og kultur:** Inddragelse af fagkompetencer tidligt i byggeprojekterne.

12.6 Potentiale og parathed

Der laves en samlet vurdering af handlemulighedens potentiale og parathed ud fra følgende vurderingsparametre.

Potentiale:

Råstofbesparelsespotentiale: I hvilken grad er det muligt at reducere forbruget af mineralske råstoffer.

Andre potentialer for bæredygtighed: I hvilken grad er der andre bæredygtighedspotentialer.

Parathed:

Afprøvning: I hvilken grad er handlemuligheden allerede afprøvet.

Videns- og datagrundlag: I hvilken grad findes dokumentation og cases i Danmark.

Aktørparathed: I hvilken grad kan aktørerne håndtere handlingsmuligheden.

Teknisk implementering: I hvilken grad er teknologi/metoder klar.

Økonomisk implementering: I hvilken grad er handlemuligheden økonomisk fordelagtig.

Praktisk implementering: I hvilken grad understøtter nuværende arbejdsgange handlemuligheden.

Regulatorisk implementering: I hvilken grad understøtter regulering handlemuligheden.

Der gives en score fra 1-5, hvor 5 er højst og 1 er lavest.

5: I meget høj grad

4: I høj grad

3: I nogen grad

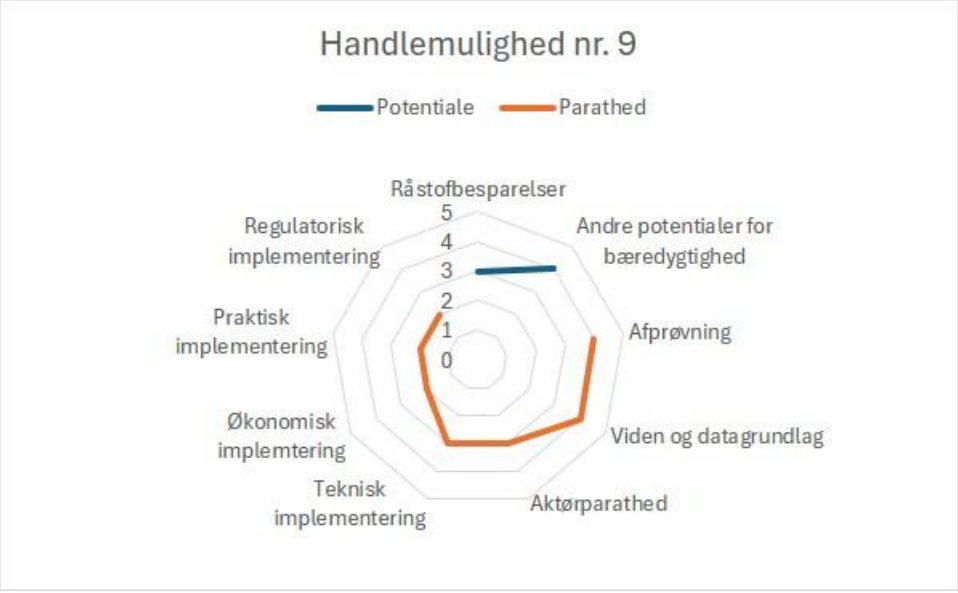
2: I lille grad

1: I meget begrænset grad

På baggrund af gennemgangen af handlemuligheden gives følgende score til handlemuligheden:

Vurderingsparameter	Potentiale	Parathed	Begrundelse
Råstofbesparelser	3		Ca. 1 mio ton råstoffer besparelse, 17 % af det samlede forbrug til byggeriet.
Andre potentialer for bæredygtighed	4		Reduktion af CO_2 og bevaringsværdighed
Afprøvning		4	Der findes mange renoveringsprojekter
Viden og datagrundlag		4	Viden eksisterer i høj grad
Aktørparathed		3	Mange aktører er parate, men der er også stadig usikkerhed. Der er et bias for nybyggeri.
Teknisk implementering		3	Der eksisterer i høj grad tekniske løsninger, men der er også fortsat brug for udvikling
Økonomisk implementering		2	Renovering kan opfattes som økonomisk uattraktive
Praktisk implementering		2	Arbejdsgange er i høj grad tilpasset nybyggeri
Regulatorisk implementering		2	Regulering er i høj grad tilpasset nybyggeri

Afbilledet ved dette diagram:



12.7 Tidsperspektiv

Handlemuligheden er vurderet ift. om den kan implementeres på kort sigt, mellemlang sigt og lang sigt.

Det vurderes at handlemuligheden kan implementeres på kort sigt i konkrete projekter, men større samfundseffekt kræver langsigtede ændringer i incitamenter, praksis og planlægning.

13. Reducer forbruget af råstoffer i anlægsarbejder

13.1 Introduktion

Anlægssektoren bruger langt flere råstoffer end byggesektoren, og derfor er det relevant at se på hvad der kan gøres for at reducere forbruget i anlægssektoren. Det er de samme råstofforekomster som de to sektorer trækker på, og ved at mindske råstofforbruget i anlægssektoren, kan der ”frigives” råstoffer til byggesektoren.

Anlægssektoren består af en lang række forskelligartede projekter, hvor der kan være brug for at tilføre råstoffer. Dette gælder etablering af veje, jernbaner, broer, tunneller, havne, lufthavne, forsyningsprojekter i form af fx vand, spildevand, fjernvarme, havne, kystsikringsprojekter, støjvolde, pladser, parker, stier, regnvandsløsninger mm.

Tilsvarende de mange forskelligartede projekter i sektoren, er der ligeledes mange forskellige aktører i anlægssektoren, der er knyttet til den enkelte type af projekter. Fx har Vejdirektoratet ansvaret for drift og vedligehold af statens veje, mens kommunerne har ansvaret for kommuneveje, ligesom der også findes private veje med privat grundejeransvar.

Anlægssektoren og dens forbrug og ansvarsfordeling er således stor og kompleks, og da det primære fokus i dette projekt har været på byggesektoren, behandles muligheder for reduktion af råstofforbrug i anlægssektoren samlet som én handlemuligheden her. Nedenfor er der således gennemgået en række områder og teknologier, som kan have et potentiale ift. at reducere anlægssektorens afhængighed af råstoffer, men det er ikke en tilbundsgående analyse af anlægssektoren.

13.2 Udvalgte cases

Reduktion af råstofforbruget i anlægssektoren kan ske på flere måder. I praksis kan mange af de handlinger, der er beskrevet for byggesektoren, også bruges for anlægssektoren. Således kan man overordnet set etablere færre nye anlæg, man kan renovere/vedligeholde mere, man kan mindske materialeforbrug i det der anlægges og man kan genbruge/genanvende. I relation til genbrug og genanvendelse er der potentielt store besparelser at hente ved at udvinde råstoffer fra overskudsjorden (fx jordvask) og ved at genanvende jorden (fx genindbygning eller kalkstabilisering)

I nedenstående handlingsmuligheder og cases gives der eksempler på nogle af disse handlinger.

13.2.1 Reduktion af råstofforbrug i belægninger

Råstofinitiativet arbejder med at reducere råstofforbrug under anlægsarbejder som parkeringspladser, cykelstier, gågader, indkørsler og havebelægning, hvor der er et overforbrug og hvor forbruget bliver overestimeret med 52-75 % (Licitationen, 2024b).

Der bliver brugt store mængder grus til at etablere bundsikringslag under belægninger som terrasser, indkørsler, fortove og stier for at sikre mod frosthævninger. Det er ofte ikke nødvendigt og en erfaringsopsamling har vist, at mange ældre belægninger holder fint, selv om de ikke lever op til nutidens krav. Frosthævninger er sjældent et problem og bærelaget er ofte ikke nødvendigt. I nogle tilfælde foreskriver rådgivere også tykkere bærelag end normerne for at være på den sikre side. Man kan også genbruge hele bundopbygningen. Danske Anlægsgartnere foreslår at undlade bundsikringslag under mindre fortove og indkørsler, ligesom der skal være fokus på at bruge gruset under belægningerne igen til andre belægninger (Dagens Byggeri, 2025b).

CO-PI (Center for Offentlig-Privat Innovation) har analyseret potentialet ved genindbygning af råstoffer i mindre anlægsprojekter, som fx veje, stier og fortove. Rapporten viser at der er et nationalt potentiale for besparelse på op til 160.000 tons råstoffer (Bygge og anlægsavisen, 2025).

Generelt kan der spares en del råstoffer ved at mindske andelen af belægninger i projekter og i stedet øge overflader med græs og beplantning. Reduktion af befæstede arealer og etablering af grønne arealer bidrager til at mindske forbruget af råstoffer, fordi der anvendes færre byggematerialer som beton, asfalt, sand, grus og sten. Belægningskonstruktioner er generelt materialetunge, og et mindre omfang af befæstede arealer reducerer derfor behovet for udvinding af jomfruelige råstoffer.

13.2.1 Lokal genindbygning af jord

I visse tilfælde er det muligt at genindbygge overskudsjord helt lokalt, fx på samme matrikel, eller på nogle af nabomatriklerne. Genanvendelse af jord reguleres sjældent af restproduktbekendtgørelsen, men typisk anvendes i stedet en tilladelse i henhold til §19 eller §33 i Miljøbeskyttelsesloven.

Til at illustrere konceptet kan der nævnes et projekt, hvor WSP var rådgiver for bygherre der etablerede boligblokke på to matrikler, der lå lige ved siden af hinanden. På den ene matrikel skulle der graves ud til parkeringskælder, mens der på den anden matrikel skulle laves terrænregulering, idet terrænet skulle forhøjes som en del af den kommende kystsikring. Ved at undersøge muligheden tidligt i projektet, blev det i sidste ende muligt at flytte den jord, der blev vurderet til at være indbygningsegnet (geoteknisk og miljømæssigt) fra kælderudgravningen til nabomatriklen.

I praksis blev overfladerne indmålt og sammenholdt med de fremtidige krav til overfladeniveau. Ved jorden fra kælderudgravningen blev der taget miljøprøver i et grid øverst i overfladen af intaktjorden, mens fyldjorden undergik fuld forklassificering og blev bortskaffet til godkendt modtager. Desuden blev der lavet en række geotekniske boringer for at vurdere om intaktjorden var indbygningsegnet. Ved selve indbygningen blev der først lavet en række proctorforsøg. Jorden blev typisk indbygget i gårdrum o.lign. Der blev søgt en §19 tilladelse hos kommunen forud for indbygning.

Ovenstående projekt viser en tilgang, hvor der både kan spares på bortkørsel af overskudsjord, og på de råstoffer som ellers skulle have været brugt til terrænreguleringen.

Der kan også være tale om mindre mængder, der holdes internt på matriklen, hvor overskudsjord fra fx udgravning af fundamenter bruges til at skabe lokale forhøjninger mv. på matriklen. I disse tilfælde

projekteres forhøjningerne ofte for at kunne beholde overskudsjorden på matriklen, mere end der er tale om egentlige besparelser af råstoffer.

13.2.2 Kalkstabilisering af jord

Ved kalkstabilisering af jord udnytter man, at der ved blanding af (våd) lerjord og brændt kalk sker en reaktion der gør, at jorden bliver indbygningsegnet. I praksis sker der både en korttidsreaktion og en langtidsreaktion. Kalken reagerer med vandet i lerjorden, hvorved der sker en temperaturstigning og en umiddelbar udtørring af jorden. Herefter sker der en ændring i lerpartiklernes struktur ved at calcium-ionerne binder sig til lerpartiklernes negativt ladede lag, og der kan ske ionbytning, hvorved der sker en flokkulering af jorden, og til sidst sker der en yderligere hærdning pga. dannelsen af pozzolane geler der lægger sig mellem de flokkulerede lerpartikler, og skaber cementholdige forbindelser (Jun Hejlesen & Hansen, 2024). Kalkstabilisering kan altså føre til at jorden bliver tørrere, mere stabil og mindre plastisk samt får øget styrke.

Kalkstabilisering af lerjord er ikke en ny metode, og man har derfor en del viden og erfaringer med kalkstabilisering. Derfor ved man at metoden virker, samt på hvilke jorde, den virker bedst. Fx ved man:

- at der skal være et vist indhold af ler i jorden før metoden virker,
- at man skal være opmærksom på at kalkstabiliseret jord har høj PH-værdi (ca. 12), og
- at den hydrauliske ledningsevne i kalkstabiliseret jord bliver lav, og dermed ikke er så veldrænet.

Kalkstabilisering kan både udføres in situ og ex situ. Ved anvendelse af metoden in situ, kan man sprede kalken ud på arealer og blande den i jorden, mens jorden ligger på stedet. Der kan også stilles et mobilt kalkstabiliseringsanlæg op på stedet hvor jorden udgraves og genindbygges. Ved at blande jord og kalk i et kalkstabiliseringsanlæg er det nemmere at dosere, samt at minimere spredning af kalk til omgivelserne, sammenlignet med metoden hvor man iblander kalken, når lerjorden ligger på terræn.

Anvendelse af kalkstabilisering ex situ vil typisk foregå på en plads, der er udlagt til formålet, og hvor der modtages jord fra forskellige projekter, som så kalkstabiliseres på pladsen, hvorefter jorden køres ud og anvendes i forskellige projekter.

Et eksempel på kalkstabilisering ex situ er en fjernvarmeudvidelse på en 655 m lang strækning på Ådalen i Køge, hvor der blandt andet pga. kalkstabilisering af jord på VEKS' ressourceplads på Køge Havn var en 100 procent genindbygning af jord, samt yderligere en 88 % genindbygning af sand i ledningsgraven (Region Sjælland, citeret 24-07-2026).

Kalkstabilisering involverer forbrug af kalk (typisk 2-3 %) hvilket medfører en klimabelastning, og omkostninger til processen hvor kalken blandes i skal inddrages i en kalkule af fordele og ulemper, fx i forhold til anvendelse af jomfrueligt grus.

13.2.3 Jordvask

Ved jordvask benytter man et jordvaskeanlæg, der vha. vand og sigter hhv. vasker jorden og opdeler den i partikelstørrelser. På denne måde kan der udvindes uforurenede materialer (sand og grus), der kan nyttiggøres, og en restfraktion (de fine partikler), der er mere forurenet, men som mængdemæssigt fylder mindre.

Jordvaskeanlæggene kan være sammensat af forskellige aggregater, og have forskellige størrelser, være indstillet til at producere forskellige partikelstørrelsesfraktioner, samt enten bruge centrifuger eller filterpresser til at få vandet ud af finjordsfraktionen. Overordnet gælder dog samme principper. I praksis fylder man altså overskudsjord ind i anlægget, og får en række materialefraktioner ud, samt en restfraktion (finfraktionen).

Jordvaskeanlæg har typisk en vis størrelse og en vis kompleksitet som gør, at de næppe finder anvendelse lokalt på mindre projekter. Det vil altså typisk være en metode der bruges ex situ, hos jordhåndteringsanlæg eller på ressourcepladser.

I lande som Holland og Belgien har jordvask været anvendt igennem en længere årrække, og er rimelig vidt udbredt, selv om det er svært at finde tal der viser, præcist hvor meget jord, der vaskes.

I løbet af de seneste år er der flere aktører der har etableret stationære anlæg i Danmark. Disse aktører modtager overskudsjord, som de behandler på jordvaskeanlæggene, hvorved de producerer forskellige materialefraktioner. Fx har BluePhoenix haft jordvaskeanlæg siden primo 2025 og de producerer materialer der erstatter råstoffer i anlægsprojekter. Sandet de producerer anvender Saint Gobain i deres mørtelproduktion (BygTek.dk 2026). Dette er et eksempel på at de vaskede fraktioner fra jordvask ikke alene kan bruges til anlægsprojekter, men også kan bruges i byggematerialer.

Norrecco og Genjord havde i en periode fra sommeren 2023 – ultimo 2025 et samarbejde, hvor der er vasket forskellige typer af jord for at skabe erfaringer med hvilke typer af jord, der er mest egnede til jordvask samt få opstillet en praksis for håndtering og dokumentation af materialer.

I den første halvdel af perioden blev der således udført en række tests på vask af forskellige typer af jorde, dvs. jorde med forskellige teksturer og forskellige forureningsgrader (jord forurenet med tungmetaller, kulbrinter og PAH). Der er i forsøgene vasket ca. 7.500 tons jord fordelt på 12 forskellige jordpartier. Jordene stammer i alle tilfælde fra Østdanmark og er typisk morænejorde. De udførte tests har vist, at den procentvise fordeling af de fire forskellige fraktioner ca. er som følger:

- Filterfraktion: 10-35%
- Sand: 50-70%
- Grus: 2-5%
- Sten: 10-30%

Forsøgene viste også, at uanset koncentrationerne af PAHer, kulbrinter og tungmetaller i inputjorden, så skete der en kraftig opkoncentrering af stofferne i filterfraktionen, mens stofferne stort set ikke blev fundet i grus- og sandfraktionen (Jensen og Vind, 2024). Dette er i tråd med forventningen om, at forureningen bindes mere til de fine partikler, da disse både er mere reaktive og har en relativt større overflade (fx per m^3 jord).

13.2.4 Nyttiggørelse af jord

Nyttiggørelsesprojekter, hvor der indbygges jord, kan fx være støjvolde og landvindingsprojekter. I nyttiggørelsesprojekterne tilkøres der ofte overskudsjord, som erstatning for jomfruelige råstoffer. Nyttiggørelsesprojekterne kan variere i størrelse ligesom det varierer om jorden kommer fra en eller flere lokaliteter.

Nyttiggørelsesprojekterne kan have en vis størrelse og have stor betydning for både lokale og regionale muligheder for bortskaffelse af overskudsjord. Nyttiggørelsesprojekterne modtager typisk jord fra flere modtagere. Jorden anmeldes til den kommune som jorden opgraves i, og der fremsendes dokumentation for at jorden overholder de modtagekriterier, der gælder for det relevante modtageanlæg. Efter indgåelse af aftale kan jorden transporteres til projektet.

Eksempler på store nyttiggørelsesprojekter er fx Lynetteholmen og Vordingborg Havn, hvor der er etableret en perimeter (spuns eller sten) ude i vandet, i forlængelse af eksisterende terræn. Dette skaber et "bassin" som der kan fyldes overskudsjord i, for i sidste ende at skabe et nyt landområde. For begge projekter er der beskrevet en række vilkår, herunder hvilke fraktioner der må anvendes i projektet. Desuden er der fastsat en række vilkår for anlæg, drift og vedligehold. Af miljøgodkendelsen for Vordingborg Havn fremgår en mængde på 1.150.000 m^3 materialer, hovedsageligt ren og lettere forurenet overskudsjord (Vordingborg Kommune, 2021). Lynetteholmen vil i fase 1 kunne modtage ca. 8,6 mio. tons forurenet jord (Bygtek.dk 2021) mens hele Lynetteholmen forventes at kunne modtage ca. 40 mio. m^3 jord (Rambøll, 2020).

Når der er tale om nyttiggørelsesprojekter er en del af præmissen netop at de materialer, der nyttiggøres, erstatter jomfruelige materialer. Af mængderne der fremgår alene for de to projekter ovenfor, fremgår det tydeligt at der er store besparelser af jomfruelige materialer at hente, når der i stedet bruges fx overskudsjord.

Projekterne er dog også med til at sikre, at overskudsjord kan håndteres forholdsvist billigt, og jo flere nyttiggørelsesprojekter der er, jo større er muligheden for at håndtere overskudsjorden lokalt.

13.2.5 Brug af overskudsmaterialer som knust beton, knust asfalt

Jomfruelige råstoffer i anlægsprojekterne kan erstattes med restprodukter som knust beton og tegl, der i henhold til reglerne i Bekendtgørelse nr. 1672 af 15 dec. 2016 (Restproduktbekendtgørelsen) kan nyttiggøres i anlægsprojekter uden en konkret tilladelse efter miljøbeskyttelsesloven, hvis materialerne er sorteret, forarbejdet og uforurenet.

Det betyder at størstedelen af beton- og teglaffald i Danmark nedknuses og anvendes i bygge- og anlægsarbejder som fx stier, veje og pladser som erstatning for grus, sand og sten (Miljøstyrelsen, 2018). Nedknusningen kan enten ske på stedet, hvis der er tale om større mængder, og det vurderes af myndighederne, at der ikke opstår utilsigtede problemer med støj og støv, eller nedknusning kan ske på et godkendt anlæg, der modtager beton og tegl til knusning, og producerer nedknuste materialer der dokumenteres i henhold til miljøkrav og tekniske egenskaber, hvorefter materialerne sælges til brug i anlægsprojekter.

Knust asfalt nyttiggøres også i en vis udstrækning som erstatning for jomfruelige råstoffer. Dette sker både som ubundne lag i vejkassen eller som bundsikringslag, og i nogle tilfælde genanvendes asfalti produktionen af ny asfalt. Nyttiggørelse af knust asfalt ved udlægning på jord kan føre til at grunden af regionen kortlægges som forurenet (Holbæk Kommune, Citeret 26/8-2026)

Da størstedelen af de nedknuste materialer i dag nyttiggøres i anlægsprojekter i stedet for at blive genbrugt eller genanvendt, vurderes det at potentialet for at erstatte råstoffer med knuste overskudsmaterialer, er fuldt udnyttet. Hvis det lykkes at flytte en del af anvendelsen af beton og tegl fra nyttiggørelse til genbrug og genanvendelse, vil det kunne føre til at der er en mindre del af beton og tegl til rådighed til nyttiggørelsesprojekter i anlægssektoren.

13.3 Potentiale

Der er ikke regnet potentialer som i de foregående kapitler der vedrører byggeriet, men det bør nævnes, at der er et meget stort potentiale for råstofbesparelser ved at implementere nogle af de handlingsmuligheder, der er inddraget i kapitlet. Det skyldes at der er et stort forbrug af råstoffer i anlægssektoren, og der samtidig er store mængder af overskudsjord. I en landsdækkende jordstrømsanalyse fra 2026 er det estimeret, at der opgraves 25 mio. tons jord om året. Af de 25 mio. tons jord er 16 mio. tons fra anmeldepligtige områder, hvor det forventes at jorden er lettere forurenet, hvilket kan have betydning for jordens efterfølgende anvendelse (Smith, 2026).

I en anden analyse af jordstrømme fra Sjælland, estimeres det at 25 % af overskudsjorden kan anvendes til at erstatte råstoffer. Dette vil kræve at en stor del af jorden bliver sorteret og at en stor del af jorden skal oparbejdes, fx ved kalkstabilisering (Region Hovedstaden og Region Sjælland, 2024).

Potentialet er stort, men udbredelsen af metoder som kalkstabilisering og jordvask er blandt andet afhængig af råstofpriserne, samt omkostningerne til bortskaffelse af overskudsjord. Jo højere omkostningerne er, jo større er incitamentet til at anvende alternative løsninger som kalkstabilisering, jordvask og lokal genindbygning.

13.4 Næste skridt

Anlægssektoren har et meget stort råstofforbrug og dermed også et meget stort potentiale for at spare råstoffer. I denne handlemulighed er nogle af mulighederne beskrevet meget overordnet, men ikke lige så detaljeret som for byggeriet, hvor der er beskrevet 9 handlemuligheder inden for tre principper om at undgå overforbrug, bruge alternativer og bygge mindre.

Der er en række muligheder for at mindske råstofforbruget i anlægsprojekter ved at bruge alternativer, blandt andet ved at substituere nogle af de jomfruelige råstoffer som sand, sten og grus med overskudsjord, knust beton mv. Nogle af metoderne er allerede i anvendelse, mens andre langsomt vinder frem.

Da der er 25 mio. tons overskudsjord hvert år fra bygge- og anlægsprojekter, vurderes det, at der er et særligt potentiale for genanvendelse af jord, der bør undersøges nærmere.

Når det kommer til håndtering af overskudsjord, er der flere muligheder for, hvordan jorden kan anvendes bedst muligt. En central diskussion handler om, hvorvidt det er mest hensigtsmæssigt at kalkstabilisere eller jordvaske jorden, så materialerne kan genanvendes direkte som erstatning for sand, grus og sten i anlægsprojekter, eller om det i stedet giver mere værdi at bruge jorden til udvidelse af havnearealer og landvinding.

Det kan også være at nogle af de metoder, der er implementeret via lovgivning for nedrivninger, eksempelvis miljø- og ressourcekortlægninger i henhold til ”Bekendtgørelse om håndtering af affald og materialer fra bygge- og nedrivningsarbejde, BEK nr 496 af 21/05/2024”, kan implementeres når der udføres gravearbejder i anlægsprojekterne, således at der allerede forud for opgravning laves en kortlægning af jordens egenskaber samtidig med, at der tages stilling til, hvad overskudsjorden kan bruges til.

Af andre muligheder for at mindske råstofforbruget i anlægsprojekter kan der kigges nærmere på nogle af de handlemuligheder for byggeriet, som er beskrevet tidligere i rapporten. Dette er tiltag som mere renovering, etablering af færre anlægsprojekter, brug af alternative materialer hvor muligt og undgå overdimensionering.

Det er et væsentligt næste skridt, at der kigges nærmere på dette samtidig med at der dykkes yderligere ned i potentialer og barrierer for udpegede specifikke handlemuligheder i anlægssektoren.

Referencer

3druck, 2026. When innovation meets regulations: The regulatory hurdles of 3D concrete printing - Interview with Mikkel Brich, 3DCP Group. When innovation meets regulations: The regulatory hurdles of 3D concrete printing - Interview with Mikkel Brich, 3DCP Group

4til1planet. Genbrugte betondæk i terræn, skruefundamenter og andre kreative løsninger skal bane vej for alment etagebyggeri med lavt CO2-aftryk. Genbrugte betondæk i terræn, skruefundamenter og andre kreative løsninger skal bane vej for alment etagebyggeri med lavt CO2-aftryk — Boligbyggeri fra 4 til 1 planet. Citeret d. 25-09-2026.

Andersen, C.E., Garnow, A., Sørensen, C.G., Wittchen, A., Stranddorf, L.K., Hoxha, E., Rasmussen, F.N., Birgisdottir, H. Klimapåvirkning fra: 45 træbyggerier. BUILD 2023:10. Klimap_virkning_fra_-_45_Tr_byggerier.pdf

Andersen, T.J., Thrane, L.N, da Silva, W.R.L., 2018. 3D-print – Arkitektioniske muligheder. Teknologisk Institut.

Anna Mette Exner Arkitektur, 2023. Nye boliger i gamle bygninger.

ArchDaily, 2023. A Natural Pavilion / ReVærk. A Natural Pavilion / ReVærk | ArchDaily

Architectures, 2023. A natural Pavilion. A Natural Pavilion - Architectures - Jidipi

Arup Danmark, 2026 : Bevar eller forklar. Del 2, Baggrundsrapport. Udgave 1, februar 2026.

BAYOS. Styrk dit byggeprojekt med skruefundamenter – et dokumenteret alternativ til beton i moderne byggeri. BAYO.S Skruefundamenter - Dokumenteret fundering uden beton. Citeret d. 25-09-2026.

Bertelsen, I; Goltermann, P; Kirkelund, GM, 2022. Anvendelse af overskudsjord til produktion af stampede lerkonstruktioner. DTU.

Bertelsen, I; Golterman, P; Kirkelund, GM, 2025. Udvikling og test af støjskærme ved anvendelse af stampet lerjord – etape 4-6. DTU.

Bertelsen, IMG; Kunther, W.; Ottosen, LM, 2025 : Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton og mørtel. Powerpoint præsetation. DTU Sustain.

Betonelement-Foreningen, intet årstal. Procesbeskrivelse for genbrug af huldæk. Sådan kommer du i gang med Templafy

Bolius, 2026. Hvor stort er et gennemsnitligt hus, rækkehus, lejlighed og sommerhus i Danmark? Personer i boliger - Danmarks Statistik - Hvor stor er et gennemsnitlige dansk hus, rækkehus, lejlighed og sommerhus?

Brinkø 2016. Guide til Shared space i kommuner. 1 udgave. DTU, Oktober 2016. Shared_Spaces_web.pdf

BUILD. Bæredygtige skruefundamenter revolutionerer byggebranchen Bæredygtige skruefundamenter revolutionerer byggebranchen - Aalborg Universitet. Citeret 25-09-2026.

BUILD, 2024. Mikroboliger i Danmark – Erfaringer med tiny houses, mikrolejligheder og co-living i en aktuel dansk kontekst

Building Supply, 2020. Det vidste du sikkert ikke : Skruefundamenter giver mega-store klimagevinster. Det vidste du sikkert ikke: Skruefundamenter giver mega-store klimagevinster

Built offside, 2025. Europe's largest 3D printed housing project completed by 3DCP Group in Denmark Europe's largest 3D printed housing project completed by 3DCP Group in Denmark | Built Offsite

BYG-ERFA, 2019. Genbrug af mursten – begrænsninger og anvendelsesmuligheder. Erfaringsblad (21) 19 09 05

BYG-ERFA, 2024. Genanvendelse af beton som tilslag i ny beton. Erfaringsblad (99) 24 10 11.

Bygge- og anlægsavisen, 2025. Offentlige bygherrer med fælles fodslag om mere nøjsomt forbrug af råstoffer. Offentlige bygherrer med fælles fodslag om mere nøjsomt forbrug af råstoffer

Bygge- og anlægsavisen, 2026. Ny rapport kortlægger knasterne for fleretagers træbyggeri. Ny rapport kortlægger knasterne for fleretagers træbyggeri

Byggematerialer, 2026. Nu falder den store barriere for skruefundamenter i dansk byggeri for alvor. Nu falder den store barriere for skruefundamenter i dansk byggeri for alvor | Byggematerialer.dk

Byggeri-arkitektur, 2024. Bliver der også betonbyggeri i fremtiden? Bliver der også betonbyggeri i fremtiden?

Byggeri København, uden årstal. Genbrug af betondæk fra Rønnebo Botilbud. Genbrug af betondæk fra Rønnebo Botilbud | Byggeri København

Byggeri København, 2025. Referat. Rønnebo betonprojekt – seminar. Dagsorden_Referat

Bygningsreglementet, 2026. Vejledning om Tiny Houses BR18

Bygtek.dk, 2021. Lynetteholmen foran virkeliggørelse | BygTek.dk)

BygTek.dk, 2026. Genanvendt sand kan løse stort problem i | BygTek.dk

Byværk & Cornelius Vöge – Aterlier for Arkitektur, 2026. Delegårde. Et udviklingsværktøj til dig med drømme for gården på landet. Støttet af Bevar Mere.

Bæredygtigt Byggeri.dk. Byggematerialer – Ler. Byggematerialer - Ler — BÆREDYGTIGT BYGGERI DK. citeret 13-07-2026

Cirkulær Sjælland, uden årstal. Affald fra byggepladser og byggevirksomheder – inspirationsnotat til ressourcescreening.

ConTech Lab, 2024. Minimering af ressourceforbrug på byggepladsen. Entreprenørens guide til dataindsamling og ressourceoptimering på byggepladsen.

CSR, 2023. Betonbranchen vil have, at vi bruger mindre beton. Betonbranchen vil have, at vi bruger mindre beton

Dagens Byggeri, 2016. Teknologisk gennembrud i betonbranchen: ”Kan skaleres direkte til alle EU-lande”. Teknologisk gennembrud i betonbranchen: ”Kan skaleres direkte til alle EU-lande” - Dagens Byggeri

Dagens Byggeri, 2018. Affaldssortering på byggepladser kræver fokus og disciplin. Affaldssortering på byggepladser kræver fokus og disciplin - Dagens Byggeri

Dagens Byggeri, 2018b. Klar til genbrugte mursten med CE-mærkning Klar til genbrugte mursten med CE-mærkning - Dagens Byggeri

Dagens Byggeri, 2025. Realdania deler ny viden om biobaseret byggeri. Flere eksempelbyggerier på vej. Realdania deler ny viden om biobaseret byggeri. Flere eksempelbyggerier på vej - Dagens Byggeri

Dagens Byggeri, 2025b. Anlægsbranchen foran paradigmeskifte: ” Kan ikke forsvare overforbruget”. Anlægsbranchen foran paradigmeskifte: ”Kan ikke forsvare overforbruget” - Dagens Byggeri

Dalvang, L og Smith, K.S., 2023. Årsager til materialespild på byggepladser. WBDK-projekt.

Danmarks Statistik, 2026. Fald i byggeaktiviteten i fjerde kvartal. Tabel om samlet etageareal, estimeret og sæsonkorrigeret. NYT: Fald i byggeaktiviteten i fjerde kvartal - Danmarks Statistik

Danmarks Statistik, 2026b. Personer i boliger. Personer i boliger - Danmarks Statistik

Dansk Beton. Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton. Genanvendelse af nedknust teglaffald som delvis cementerstatning i beton - Bæredygtig Beton initiativet - Dansk Beton - DI. Citeret d. 28-09-2026.

Dansk Beton, 2023. Betonbranchen anbefaler mindre brug af beton. Betonbranchen anbefaler mindre brug af beton - Dansk Beton - DI

Dansk Boligforsikring. Boligstørrelse: Så stort er gennemsnitshuset i din landsdel Boligstørrelse 2023: Så store er vores boliger. Citeret d. 28-09-2026.

Dansk Byudvikling, 2024. Ny rapport: Der er både klimamæssige og økonomiske gevinster ved træbyggeri. Ny rapport: Der er både klimamæssige og økonomiske gevinster ved træbyggeri - Dansk Byudvikling

Dansk Byudvikling, 2025. Nu opføres 36 3D-printede studieboliger i Holstebro: – Måden at bygge på ændrer sig for altid Nu opføres 36 3D-printede studieboliger i Holstebro: - Måden at bygge på ændrer sig for altid - Dansk Byudvikling

Danske Ark, 2024. Parcelhusene bygges store som aldrig før. Parcelhusene bygges store som aldrig før

Danske Tegl, 2023. ”Lidt naivt set håber vi at blive klogere på, hvilket materiale vi skal bygge med i fremtiden. Vi skal være klogere på materialer til fremtiden - Danske Tegl

DGNB, 2025. DGNB Renovering og nybyggeri. Version 2025 2.0. 2025 DGNB Renovering og nybyggeri v2.0.0.pdf

Ebuki. Building Case Study: Holland Park Rammed Earth Eco Building. Building Case Study: Holland Park Rammed Earth Eco Building — Earth Building UK and Ireland. Citeret d. 28-09-2026.

Egernsund, hjemmeside. LESS is more – 15 % lettere, 15 % bedre. LESS murstenen - 15% bedre | En mursten til fremtidens byggeri

Elbobladet, 2025. Fælleshus i Kanalbyen bygges på 16 særlige søjler: - Det ligner lidt det, du lavede i forming. Fælleshus i Kanalbyen bygges på 16 særlige søjler: - Det ligner lidt det, du lavede i formning | ugeavisen.dk

Ellen MacArthur Foundation, 2015. POTENTIAL FOR DENMARK AS A CIRCULAR ECONOMY. A CASE STUDY FROM: DELIVERING THE CIRCULAR ECONOMY – A TOOLKIT FOR POLICY MAKERS. Potential-for-Denmark-as-a-circular-economy.pdf

EPD Danmark, 2023. LESS (Egernsund Wienerberger). DK_MKT_DOC_FAC_TEC_EPD_MD-21028-en.pdf

Erhvervsforum Holstebro, 2023. En byggerevolution skyder op på Slagterigrunden i Holstebro En byggerevolution skyder op på Slagterigrunden i Holstebro | Erhvervsforum Holstebro

Fastcompany, 2025. Architects are embracing this ancient building technique to combat climate change—and soulless design. Architects embrace rammed earth to combat climate change and soulless design - Fast Company

Frederikssunds Kommune, 2023: Lokalplan 153 for boliger i Søkvarteret og i Solsikken i Vinge.

Gamle mursten. Projekter. Projekter Arkiv - Gamle Mursten. Citeret d. 28-09-2026.

Gate 21, intet årstal. Et lukket kredsløb af beton i Høje-Taastrup- mød aktørerne bag. Genanvendelse af jord og beton.pdf

Geopile, citeret 09/09-2026. Fundering med skruepæle – den effektive løsning fra Geopile. https://www.geopile.dk/fundering

GLA, The Greater London Authority, 2022: Circular Economy Statement Guidance | London City Hall circular_economy_statements_lpg_0.pdf

Gladsaxe Kommune (2025): Kommuneplan 2025.

Hanak, C. Schmidt Nielsen, T.S.D, Bamford, S., Sørensen, M.S. og Engel, M.E. 2025. Udviklingsprojekt Leralliancen Udviklingsprojekt Leralliancen

Hasselsteen, L., Otovic, A.P., Birgisdottir, H., Kanafani, K., 2025. Benchmarking Potential Construction Waste Streams and Their Climate Impact: Life Cycle Assessment-Based Targets for Strategic Planning of Construction Processes. Sustainable Development, 2025; 0:1-16.

Hill-Hansen, D., Lecker, F., Mousa, H., Gill, J.P.H., Reimer, K. Heebøll, L., 2024. Del Hus Vidensprojekt. Muligheder og barrierer ved opdeling af enfamiliehuse til flerfamiliehuse.

HMC, 2024. Projekt afsøger løsninger til mere klimavenligt byggeri Projekt afsøger løsninger til mere klimavenligt byggeri - HMC Byg og Anlæg A/S

Holbæk Kommune, Citeret 26/8-2026. Genanvendelse af asfalt | Holbæk Kommune

Ibsen, Lars Bo; Sørensen, John Dalsgaard; Andreasen, Daniel Kristian, 2025. Forslag til krav til dokumentation af stålskruepæle-projekter. BUILD 2025. Rapport_Anbefaling_til_dokumentation_30-06-2025.pdf

Ingeniøren, 2025. 3D-printet beton i byggeriet: Nye former og mindre CO2. 3D-printet beton i byggeriet: Nye former og mindre CO_2 | Ingeniøren

JAJA Architects, 2025. Veje til biobaseret byggeri. Et blik på tværs. 2025-veje-til-biobaseret-byggeri-jaja.pdf

Jensen, J. O., Kragh, J., Jensen, O. M. (2025). Nedrivning: Omfanget af og årsager til nedrivning af bygninger i perioden 2012-2023. Institut for Byggeri, By og Miljø (BUILD), Aalborg Universitet. BUILD Notat Bind 2025

Jensen, J K; Vind, H. (2024): Praktiske erfaringer med jordvask af forurenet jord. ATV Vintermøde 2024. Vi sætter et positivt aftryk på miljøet

Johannesen og Thorin, intet årstal. Paradigmeskrifte i råstofforvaltningen. Del 2. Hvordan realiseres bæredygtig råstofforvaltning.

Jun Hejlesen & Hansen Aps (2024): Kalkstabiliseret lerjord i vejkassen. Revision 1.0. (12-07-2024).

Koch-Ørvad, N., Andersen, H.V., Munch-Andersen, J., Gottlieb, S.C., Hoxha, E., Sturlason S., Weiling, M., 2023. Den gode dokumentationsproces for genbrugsmaterialer. Social og Boligstyrelsen.

Kolding kommune, 2025. Fremtiden er den by, vi bygger sammen. Kolding Kommunes Arkitekturpolitik. Kolding-Arkitekturpolitik.pdf

Københavns Kommune, Viegand Maagøe, NielsenArk, 2026: Analyse af bæredygtig etablering af tagboliger: Fra potentiale til implementering. Version 5.0 dateret 29.05.2026.

Larsen, K.H., 2024. BrickCycling – Bæredygtige mursten af murværksaffald. Slutrapport MUDP forprojekt BrickCycling - Bæredygtig mursten af murværksaffald

Lecker, F., Mousa, H., Gil, J., P., H., Lynge, S., Heebøll, L., 2025. Del Hus i Kommunen. Procesværktøj til lokal udbredelse af delehuse.

LESS, hjemmeside: På vej mod CO_2-neutral teglproduktion - ProjectZero - LESS - En mursten til fremtidens byggeri

LESS, 2025: LESS is more. Brochure fra Egernsund Wienerberger. DK_MKT_DOC_FAC_LESS.pdf

Liang, S., Hongmei, G., Bergman, R., Kelley, S.S., 2020. COMPARATIVE LIFE-CYCLE ASSESSMENT OF A MASS TIMBERBUILDING AND CONCRETE ALTERNATIVE. Wood and Fiber Science 52 (2): 217-229.

Licitationen, 2017. Europas første 3D-printede bygning opføres i København Europas første 3D-printede bygning opføres i København

Licitationen, 2024. DTU-forsker: 3D-print i byggeriet giver mange muligheder. DTU-forsker: 3D-print i byggeriet giver mange muligheder

Licitationen, 2024b. Råstof-initiativet finder løsninger, der sparer råstoffer. Råstof-initiativet finder løsninger, der sparer råstoffer

Liven, H. og Abrahamen, R., 2023. Mjøstårnet: The world's tallest timber buidling. World conference on timber engineering Oslo 2023. wcte2023-mjostarnet.-the-worlds-tallest-timber-building.pdf

Magasinet beton, 2023a. NU FÅR 3D-PRINTEDE BETONBYGNINGER DET ENDELIGE GENNEMBRUD NU FÅR 3D-PRINTEDE BETONBYGNINGER DET ENDELIGE GENNEMBRUD - DI

Magasinet beton, 2023b. 3D-BETONPRINT ER VED AT VÆRE HVERDAG. Perspektiv: 3D-BETONPRINT ER VED AT VÆRE HVERDAG - DI.

Magasinet Beton, 2025. Der venter et stort potentiale i designoptimering. DER VENTER ET STORT POTENTIALE I DESIGNOPTIMERING - DI

Maleki, M; Brix, N; Lind Gregersen, J; Spangenberg, J (2026): Extrusion of Large Compressed Earth Blocks (CEB): Machine Development, Testing, And Application for Sustainable Construction. Region Hovedstaden.

Mathiesen, D., Hansen, J.S., 2023. Dialoggrundlag for designoptimering af betonkonstruktioner. Bæredygtig Beton initiativ DownloadDocument

Mayor of London, 2024. Greater London Authority: Circular Economy Monitoring 2023. Analysis of circular economy data monitored from applications received by GLA and determined during the 2023 calendar year November 2024.

Mesnil, R., Rosa, P.S., Demont, L., 2025. Thickness optimisation in 3D printed concrete structures. Automation in Construction. Volume 174. Article 106076.

Miljøstyrelsen, 2018: Forekomst og udvaskning af problematiske stoffer i knust beton og tegl. Miljøprojekt nr 1991, Marts 2018.

Minke og Frandsen, 2024. Roadmap for grøn omstilling i det murede byggeri. Besparelsespotentialet ved implementering af udvalgte initiativer i Danmark. Teknologisk Institut.

Negendahl, K., Lyngholm Petersen, D., Halding, P. S., Nielsen, M. V., Banke, T., Stokholm Poulsgaard, K., Rafn, F., & Bäckman, K. (2023). Målbar fleksibilitet: Anbefalinger til implementering af fleksibelt byggeri i dansk kontekst. Technical University of Denmark

NIRAS, Copenhagen Ressource Institute, Lauritzen Advising, 2017. Affaldsforebyggelse i byggeriet. Forprojekt. Rapport

Pension Danmark, 2024. Danmarks højeste hus i træ og genbrugsmaterialer indvies i dag. Danmarks højeste hus i træ og genbrugsmaterialer indvies i dag

Rambøll, 2020. LYNETTEHOLM ANSØGNING OM MILJØGODKENDELSE AF ANLÆG FOR NYTTIGGØRELSE AF JORD. Lynetteholm miljansgning inkl bilag18112020 10.pdf

Rambøll, 2024. Designoptimering af Kværnloftet, Risskov Brynet. Hovedrapport.

Randers Tegl, 2025. RT603. Innova grå rustik m/spil maskinste massiv. Datablad

Realdania, uden årstal. Veje til biobaseret byggeri. Veje til biobaseret byggeri

Realdania, 2024. Realdania By & Byg tester tegl i Fredericia. Realdania By & Byg tester tegl i Fredericia

Realdania, 2025. Sådan vil kommende betonhuse vise nye veje for CO2-reduktion. Fuldt fokus på CO2 reduktion i Mini CO2 Etagehus BETON

Realdania, 2026. MiniCO2 etagehus TRÆ. MiniCO2 Etagehus TRÆ

Renoverprisen. Renoverprisen.dk citeret 15-07-2026

Region Hovedstaden. Jord som byggemateriale - stampet ler og jord i støjskærme . Citeret 13-07-2026.

Region Hovedstaden og Region Sjælland (2024): Analyse af jordstrømme i Region Hovedstaden og Region Sjælland. Potentiale for at anvende jord fra bygge- og anlægsprojekter som erstatning for primære råstoffer. Niras, 18 sept. 2024.

Region Sjælland. Fjernvarmeudvidelse med ressourceplads og genindbygning - Region Sjælland - Vi er til for dig. citeret 24-07-2026

SDU, 2025. Danske forskere: Fire ud af fem nybyggerier skal stoppes. Danske forskere: Fire ud af fem nybyggerier skal stoppes

Smith, K.H., 2026. Nyeste data om jordstrømme i Danmark. Præsentation. Katrine-Hauge-Smith-Praesentation-til-ATV1.pptx

Smith, K.H. og Andersen, S. C., 2020. Fremtidens byggematerialer – Har vi mangel på råstoffer?. getmedia.asp

Social- og Boligstyrelsen, 2024. Helhedsorienteret bygningsreglement. Helhedsorienteret bygningsreglement

Sweco og Cobe, 2023. Potentialer for indretning af flere boliger i den eksisterende bygningsmasse. Baggrundsrapport

Teknologisk Institut, intet årstal. Plan for implementering af 3D-betonprint – Guidelines til opstart af 3D-betonprint i byggebranchen.

Teknologisk Institut. (P)RECAST - Genbrug af betonelementer - (P)RECAST Papers. (P)RECAST - Genbrug af betonelementer - (P)RECAST Papers - Teknologisk Institut. Citeret d. 25-09-2026.

Teknologisk Institut, 2024. Projekt – Nulspildsprojektet – Genanvendelse af spildbeton fra egen produktion. Projekt - Nulspildsprojektet – Genanvendelse af spildbeton fra egen produktion - Teknologisk Institut

Teknologisk Institut, 2026. Indsatsområder for fremme af fleretagers træbyggeri i Danmark. Rapport - Indsatsområder for fremme af fleretagers træbyggeri i Danmark (3).pdf

Teknologisk Institut, Responsible Assets, Build, Aalborg Universitet, citeret 15-07-2026. IGENBO. Renovering af enfamiliehuset. IGENBO-Riv-ned-og-byg-nyt-eller-bevar-enfamiliehuset.pdf

Thrane, L.N., Normann Munch-Petersen, G., Mathiesen D., Nielsen, C.V., 2018. Bæredygtig optimering af betonkonstruktioner. Depatoplæg – Interviewundersøgelse blandt repræsentanter fra byggeriet. Teknologisk Institut. DownloadDocument

Transition Aps og ARK OIE, 2026. Bevar Mere. Vidensprojekt – Bevar. Del og bo flere sammen. Februar 2026.

TV Midtvest, 2022. Kom med indenfor: Banebrydende 3D-printet hus står færdig. Kom med indenfor: Banebrydende 3D-printet hus står færdig | TV MIDTVEST

Uretek Engineering, citeret d. 9/9-2026. Kvalitetssikring og tests. https://www.uretek.dk/teknisk-information/screwfast/kvalitetssikring-og-test-af-skruepaele

Vadstrup, S. Lerjord som historisk byggemateriale. Forskningsprojekt 2018-2023. Bygningsbevaring.

Vordingborg Kommune, 2021: *Miljøgodkendelse: Nyttiggørelse af overskudsjord og andre fraktioner til Vordingborg Havns havneudvidelse – etape 4. D 17 december 2021*

Zohourian, M., Pamidimukkala, A., Kermanshachi, S. og Almaskati,D., 2025. Modular Construction: A Comprehensive Review. Modular Construction: A Comprehensive Review. Buildings 2025, 15(12), 2020.

Aarhus Universitet, 2024. Betonhuldæk genbruges i rækkehuse i Gellerup. Betonhuldæk genbruges i rækkehuse i Gellerup

wsp.com