

Analyse Bellahøj Gentænkes 2.0

1. LCA Rapportering

Metode, Genopførelse

Livscyklusanalyse, LCA

Klimapåvirkningen beregnes iht. BR18 kap. 11 § 297. Klimapåvirkningen opgøres i kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år beregnet i henhold til DS/EN15978:2012 Bæredygtighed inden for byggeri og anlæg - Vurdering af bygningers miljømæssige kvalitet - Beregningsmetode. Klimapåvirkningen opgøres for en betragtningsperiode på 50 år fra byggeriets færdigmelding. I beregningen indgår faserne iht. § 297 som vist i diagrammet til højre. Da de kommende klimakrav for nybyggeri inkluderer byggeproces (A4-A5) rapporteres de på ved genopførelsen af Bellahøj.

Ved beregning af klimapåvirkning fra materialer anvendes det generiske datagrundlag der henvises til i bygningsreglementet med få undtagelser af produktspecifikke EPDer.

LCA værktøj

Livscyklusanalysen for diverse scenarier for Bellahøj er beregnet med Henning Larsens interne designværktøj *CarbonSnap* der er en videreudvikling af planlægningsværktøjet PlanCO₂. PlanCO₂ er udviklet i et Plan22+ pilotprojekt, hvori BUILD har tredjepartsverificeret det som scenarieværktøj for bygningers klimapåvirkning. Beregningsgrundlaget, metoden og datakilder er yderligere beskrevet i den tilhørende vejledning "Guide til PlanCO₂".

For vurderingen af bortskaftelsen af eksisterende SAB1 er det danske værktøj LCAbyg benyttet.

Omfattet af LCA'en Genopførelse



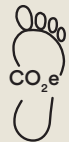
Indlejrede CO₂-ækv. fra materialer iht. BR18

+



CO₂-ækv. fra antaget driftsbehov for nybyggeri

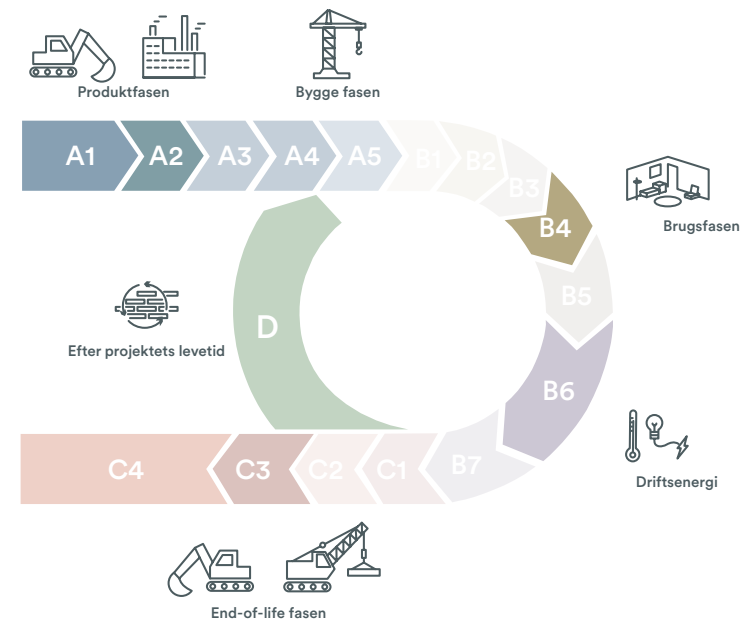
=



Klimapåvirkning af projektet

LCA-beregningens faser

Produktfasen		Byggefasen		Brugsfasen							End of life-fasen				Efter projektets levetid		
Indlejret fra materialer					Drift		Indlejret fra materialer										
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
Råmaterialeudvinding	Transport	Produktion	Transport til byggeplads	Byggeproces	Brug	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Ombygning	Driftsenergi	Vand i drift	Dekonstruktion	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaftelse	Genanvendelse Genopretning Genbrug	
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Metode - Renovering (Arkitema)

LCA på renovering

Hverken Bygningsreglementet eller den europæiske standard EN15978:2021 beskriver en LCA-metode for renovering eller transformation. Dog findes der brancheeksempler på en gentagende beregningsmetode, som anvendes i dette tilfælde. Ved LCA for renovering medregnes der affaldsbehandling og bortskaffelse emissioner fra nedrevne materialer, (faserne C3 og C4). Tilførte materialer vurderes som en LCA i henhold til BR18, hvilket inkluderer faserne A1-A3, B4, C3 og C4. I dette projekt er der desuden tilføjet driftsenergi (fase B6) for at muliggøre en sammenligning mellem renoveringscasen og fire nybygningsscenarier. Beregningen foretages over en 50-årig periode.

Kvantificering af renoveringscase

Renoveringscasen er kortlagt og kvantificeret ved hjælp af detaljetegninger modtaget fra Arkitema og efterfølgende krydstjekket med en 3D-model. Mængder, konstruktionsprincipper og materialer er blevet gennemgået og godkendt af relevante parter.

LCA værktøj

Livscyklusanalysen for renoveringscasen på Bellahøj, SAB1 er beregnet med værktøjet LCAByg 2023. Værktøjet benytter det generiske datagrundlag fra Bygningsreglementet som er baseret på danske branchespecifikke EPD'er, samt data fra ÖKOBAUDAT platformen. Værktøjet benytter de nye emissionsfaktorer for energi fra Artelia, hvilke bliver inkluderet i Bygningsreglementet fra 2025.

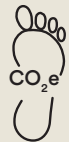
Omfattet af LCA'en Renovering



Indlejrede CO₂-ækv. fra materialer iht. BR18 + affaldshåndteringen af nedrevne materialer



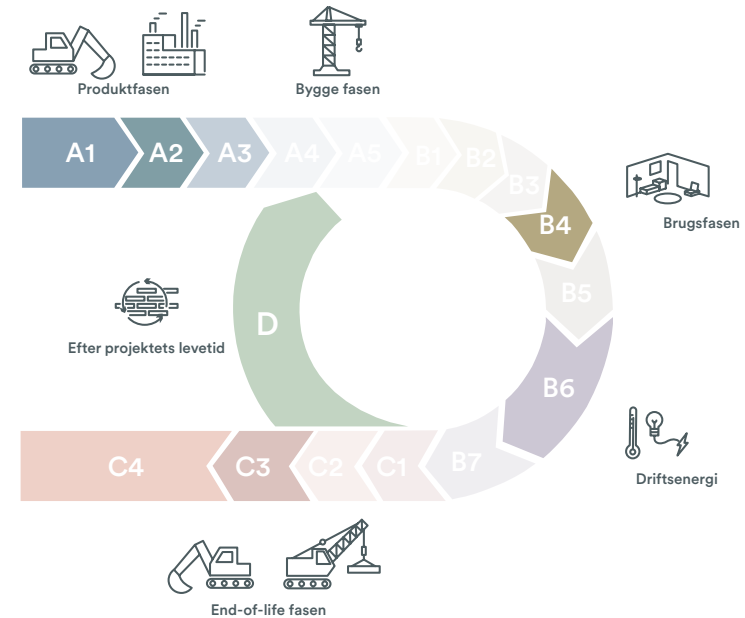
CO₂-ækv. fra antaget driftsbehov for nybyggeri



Klimapåvirkning af projektet

LCA-beregningens faser

Produktfasen		Byggefasen		Brugsfasen							End of life-fasen				Efter projektets levetid	
Indlejret fra materialer					Drift		Indlejret fra materialer									
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Råmateriale-udvinding	Transport	Produktion	Transport til byggeplads	Byggesproces	Brug	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Ombygning	Driftsenergi	Vand i drift	Dekonstruktion	Transport	Affaldsbehandling	Bortskaffelse	Genanvendelse Genopretning Genbrug
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Beskrivelse og afgrænsning

Med målet om at Bellahøj skal opfylde de skærpede krav i Bygningsreglementet i 2025, er der blevet beregnet tidlige livscyklusanalyser af fire scenarier for materialesammensætningen af SAB1.

Idéoplægget indeholder derved en komparativ analyse af genopførelse baseret på fire konstruktionskoncepter for SAB1, sammenlignet med Arkitemas renoveringsprojekt.

LCA-analyserne er blevet løbende udviklet gennem idéoplægget. Derfor præsenteres den seneste LCA-analyse i dette afsnit, mens det næste afsnit viser tidligere rapportering samt proces.

LCA afgrænsning

Livscyklusanalysen for genopførelse er beregnet med Henning Larsens interne designværktøj CarbonSnap – et værktøj i stand til at kvantificere strukturelle mængder, konstruktions opbygninger mm. baseret på få bygnings informationsinput.

Vurderingen er baseret på gængse konstruktionsprincipper med en konservativ tilgang til strukturelle mængder og miljødata. Det er ved genopførelse besluttet at medregne et uopvarmet trappetårn med 2lags glasfacade. Ved at reducere glasmængden i trappetårnet reduceres det samlede klimaaftryk betydeligt, da glas har et højt klimaaftryk.

Derudover er alle genopførelses scenarier i dette afsnit inklusiv optimeringstiltagene;

- Alt glas er CO₂ besparende Oraé glas fra Saint Gobain
- Alt beton over terræn er CO₂ besparende Uni-Green fra Aalborg Portland
- Alle ikke-bærende indervægge er lette vægge med træskelet.

LCA vurderingerne er derved forudsat disse specifikke materialer. Optimeringstiltagene betragtes som sandsynlige forslag til at reducere emissionerne, men kan omfatte flere forskellige tilgange.

Dertil er der medregnet en usikkerhedsmargin på 10% grundet forudsatte mængder, eventuelle materiale og konstruktions ændringer.

Resultater

Analysen viser at klimapåvirkningen af **genopførelse differentierer fra 6,0 til 6.7 kg CO₂-ækv./m²/år** afhængigt af konstruktionskoncept og derved er alle scenarier under den vejledende grænseværdi for 2027.

Renoveringscasen har et klimaaftryk på 5,0 kg CO₂/m²/år, hvilket er 25 % lavere end Scenarie 1.1 (det mest udledende) og 17 % lavere end Scenarie 3.2 (det mindst udledende). Disse omfatter ikke nedrivning eller bortskaffelse, da dette heller ikke er inkluderet i grænseværdierne.

Konstruktionsbeskrivelser

Scenarie 1.2

Traditionelt betonhus med bærende betonbagmur og huldæk. Ophængt beton facade og tre lags træ/alu vinduer. Tagkonstruktion af huldæk med tagpap. Glastårn med to lags glas og huldæk.

Scenarie 2.2

Den bærende konstruktion består af betonsøjler og -bjælker samt etagedæk af huldæk. Facaden er opbygget med en ophængt betonforplade på trækasette og trelags træ/alu-vinduer. Tagkonstruktionen består af huldæk med tagpap. Glastårnet er udført med tolags glas og huldæk.

Scenarie 3.2

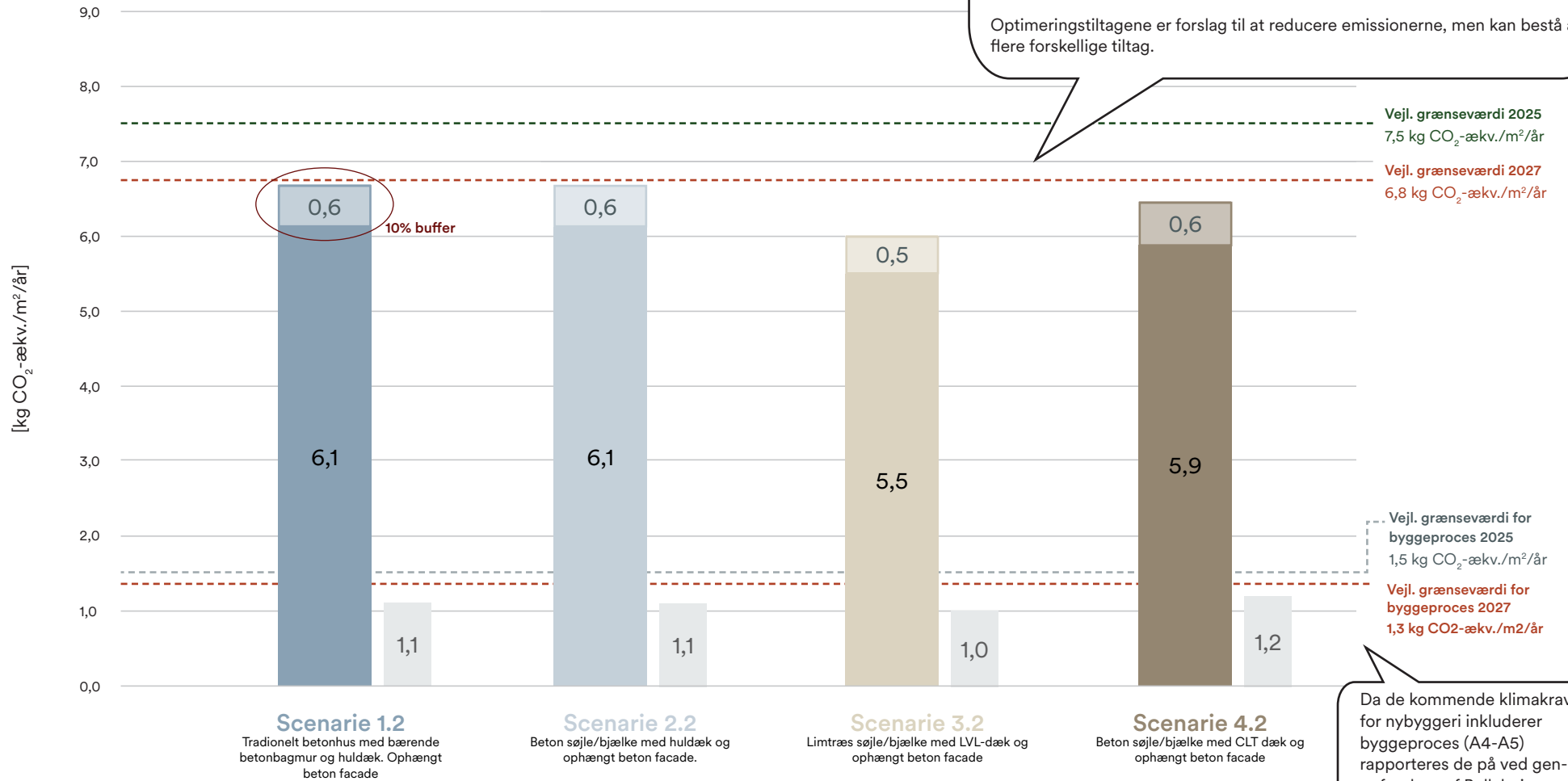
Den bærende konstruktion består af limtræssøjler og -bjælker med etagedæk i LVL-dæk. Facaden er opbygget med en ophængt betonforplade på trækasette og trelags træ/alu-vinduer. Tagkonstruktionen består af LVL-dæk med tagpap. Glastårnet er udført med tolags glas og LVL-dæk.

Scenarie 4.2

Den bærende konstruktion består af betonsøjler og -bjælker samt etagedæk af CLT. Facaden er opbygget med en ophængt betonforplade på trækasette og trelags træ/alu-vinduer. Tagkonstruktionen består af CLTdæk med tagpap. Glastårnet er udført med tolags glas og huldæk.

Scenarieoversigt

CO₂ emissioner forbundet med genopførelse af Bellahøj iht. BR18



De seneste LCA scenarier (.2) af genopførelsen viser at alle fire er under den vejledende grænseværdi for 2027. Dette er inkl. en 10% usikkerhedsmargin/buffer.

Scenarierne er opdateret efter modtagne konstruktions kommentarer. Alle scenarier er med optimeringstiltagene; alt glas er ORAÉ fra Saint Gobain, alt beton over terræn er CO2 besparende Uni-Green samt alle ikke bærende indervægge er lette indervægge med træskelet. LCA vurderingerne er derved forudsat disse specifikke materialer.

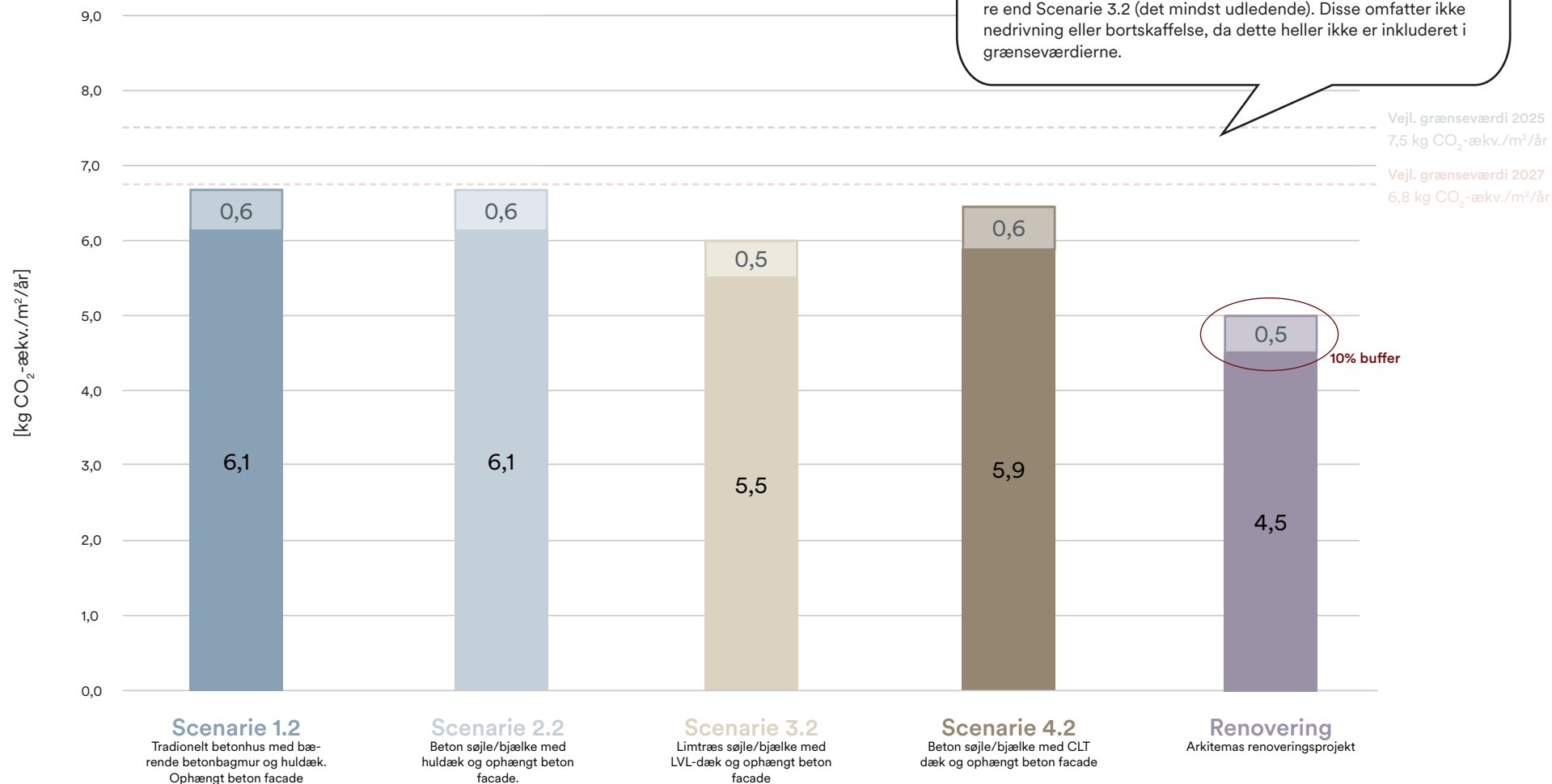
Optimeringstiltagene er forslag til at reducere emissionerne, men kan bestå af flere forskellige tiltag.

Da de kommende klimakrav for nybyggeri inkluderer byggeproces (A4-A5) rapporteres de på ved genopførelsen af Bellahøj.

LCA metode: Tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C3 + C4)

Scenarieoversigt

CO₂ emissioner forbundet med genopførelse og renovering



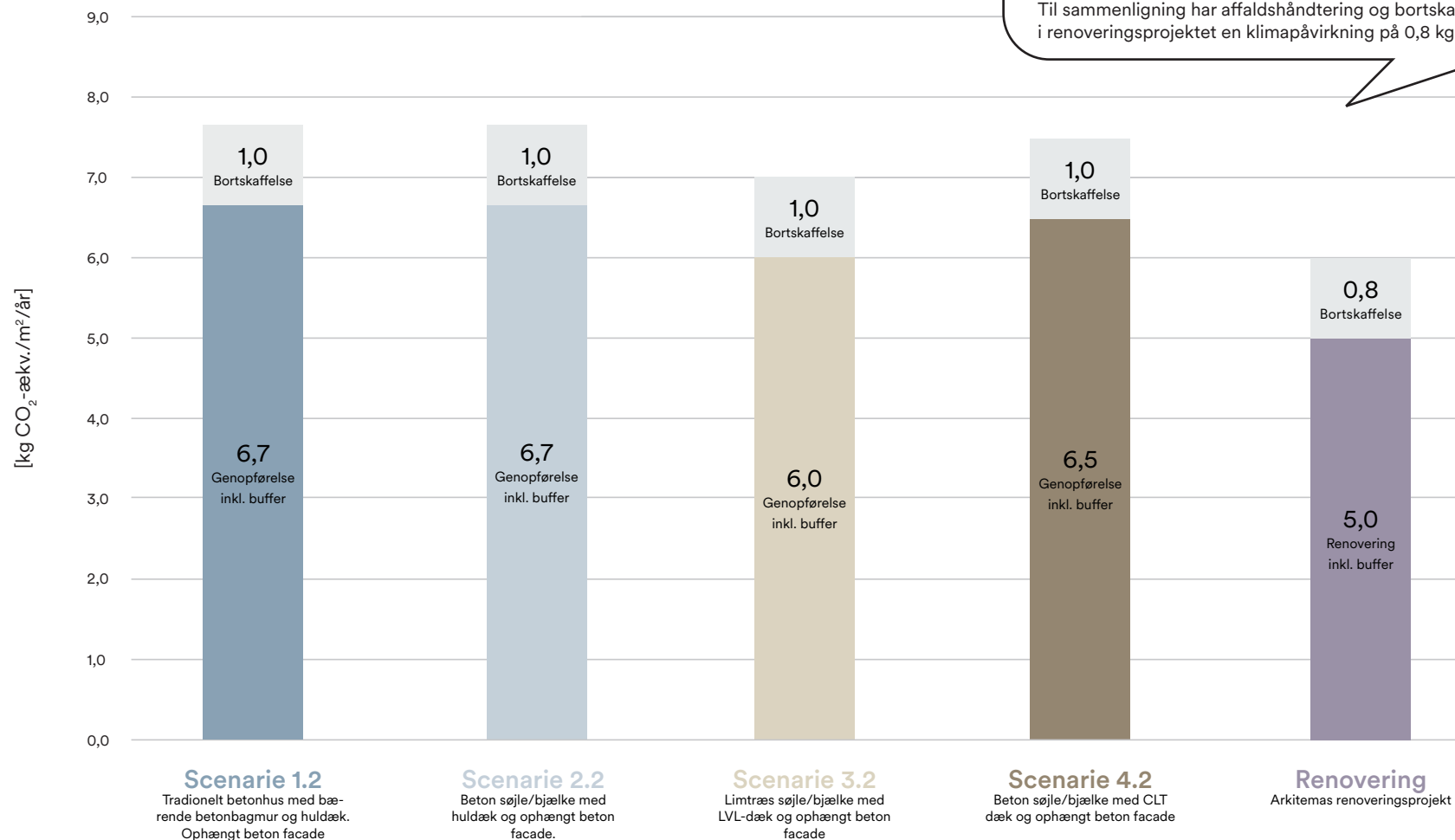
Bygningsreglementets grænseværdier omfatter ikke renovering. Til sammenligningsformål vurderes både renoveringscasen og de fire nybygningsscenarier dog i forhold til de kommende grænseværdier for nybyggeri.

Renoveringscasen har et klimaaftryk på 5,0 kg CO₂/m²/år, hvilket er 25 % lavere end Scenarie 1.1 (det mest udledende) og 17 % lavere end Scenarie 3.2 (det mindst udledende). Disse omfatter ikke nedrivning eller bortskaffelse, da dette heller ikke er inkluderet i grænseværdierne.

LCA metode: Tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C3 + C4)

Scenarieoversigt

CO₂ emissioner inklusiv bortskaffelse



På trods af bygningsreglementets klimakrav ikke omfatter nedrivning, er der stadig en CO₂-udledning forbundet med både nedrivning, affaldshåndtering og bortskaffelse af byggematerialer.

For nedrivningen af SAB1 udgør den samlede emission fra affaldshåndtering og bortskaffelse af materialer (C3+C4) 1,0 kg CO₂/m²/år.

Til sammenligning har affaldshåndtering og bortskaffelse af materialer (C3+C4) i renoveringsprojektet en klimapåvirkning på 0,8 kg CO₂/m²/år.

LCA metode: Bortskaffelse, tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C1 + C3 + C4)

2. Tidligere LCA proces/ appendix

LCA scenarier - Nybyg

Omfang og konstruktionsbeskrivelser

Med målet om at Bellahøj skal opfylde de skærpede krav i Bygningsreglementet i 2025, er der blevet beregnet tidlige livscyklusanalyser af fire scenarier for materialsammensætningen af SAB1.

Grafen på næste side viser den samlede klimaudledning fra de fire scenarier i kg CO₂-ækv./m²/år, til venstre fra livscyklusfaserne A1-A3, B4, B6, C3-C4 og til højre fra livscyklusfaserne A4-A5.

Det ses at **klimaudledningen for nybyggeri differentierer fra 6,4 til 7,9 kg CO₂-ækv./m²/år** for A1-A3, B4, B6, C3-C4.

Klimaudledningen fra byggeplads i alle scenarier er beregnet til 1,0 - 1,3 kg CO₂-ækv./m²/år. Der er medregnet en buffer på 10% grundet eventuelle

materiale og konstruktions ændringer.

De faktiske emissioner forbundet med nybyg-casen rapporteres på derefter. Her medregnes emissionerne fra nedrivning, affaldshåndtering og bortskaffelse af eksisterende bygningsmasse.

Emissionerne for affaldshåndtering og bortskaffelse er beregnet til 1 kg CO₂-eq./m²/år, og for nedrivning til 0,1 kg CO₂-eq./m²/år.

Det fremgår af fordelingen CO₂ emissioner at de fem største udledere er *dæk (over jord), bærende konstruktioner, tekniske installationer, facader og indvendige vægge*.

Slutteligt opdeles emissionerne for alle scenarier i

Upfront Carbon og End-of-life faserne. Dette studie tydeliggør, at emissionerne fra mineralske materialer primært stammer fra produktionen (Upfront carbon), hvor den største del af CO₂-udledningen sker.

I modsætning hertil har biogene materialer som træ og strå negative emissioner i Upfront Carbon, da de optager CO₂ under væksten. Dog opstår der høje emissioner ved slutningen af deres livscyklus (End-of-life), idet det antages, at disse materialer afbrændes ved endt levetid.

Denne forskel i emissionsprofiler understreger vigtigheden af at vælge materialer med lave emissioner i produktionsfasen samt at designe med henblik på adskillelse (design for disassembly). Dette reducerer behovet for afbrænding og affaldshåndtering ved slutningen af materialernes livscyklus, hvilket kan minimere den samlede miljøbelastning.

Konstruktionsbeskrivelser

Scenarie 1: Bærende beton bagmur med etagedæk i af huldæk. Facade består af ophængt betonforplade og tre lags træ/alu vinduer. Indervægge af beton. Tagkonstruktion af huldæk med tagpap. Glastårn med to lags glas og huldæk.

Scenarie 3: Bærende konstruktion i limtræs søjler og bjælker med etagedæk i LVL-dæk. Facade består af ophængt betonforplade og tre lags træ/alu vinduer. Lette indervægge med træskelet. Tagkonstruktion i LVL-dæk med tagpap. Glastårn med to-lags glas og LVL-dæk.

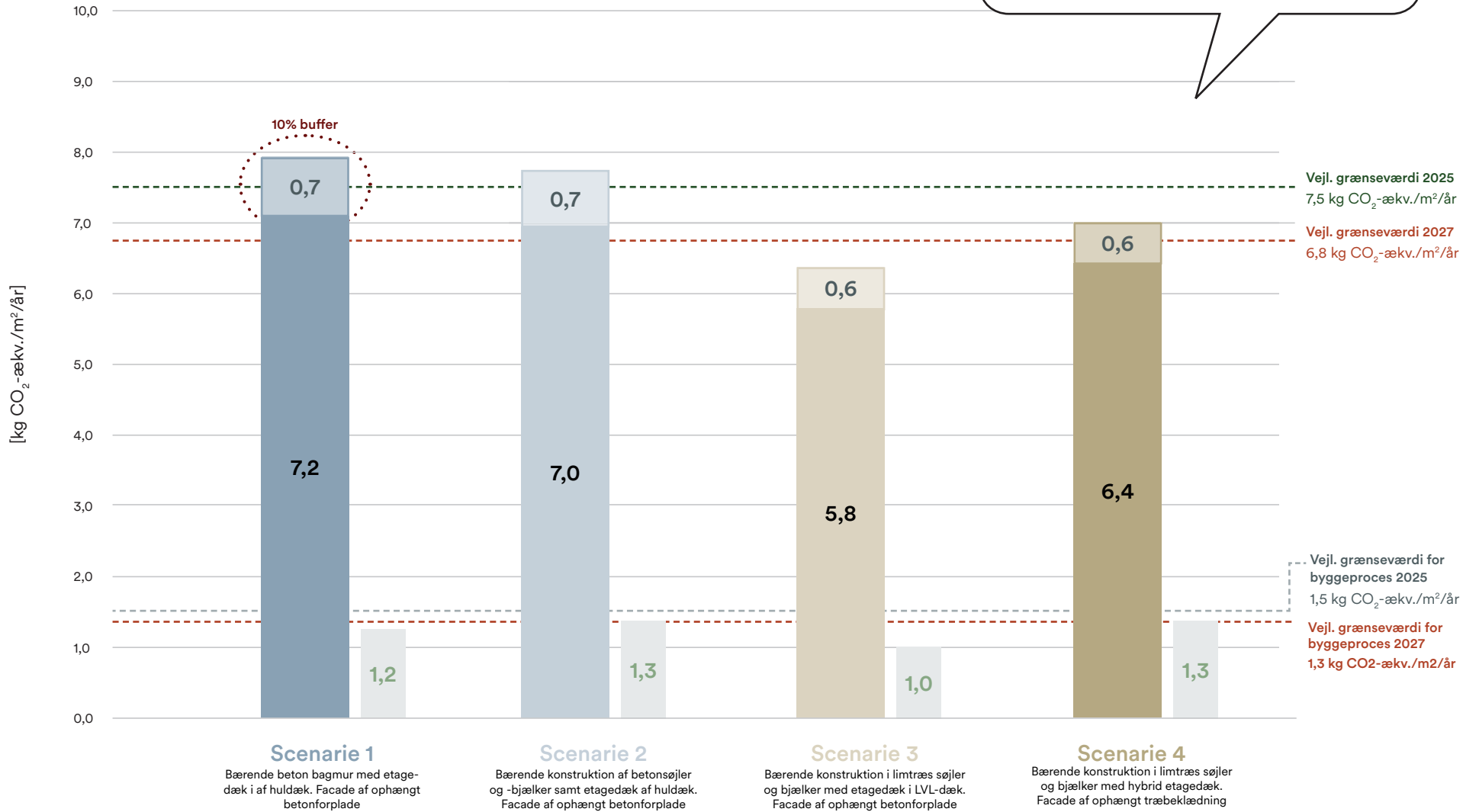
Scenarie 2: Bærende konstruktion af betonsøjler og -bjælker samt etagedæk af huldæk. Facade består af ophængt betonforplade og tre lags træ/alu vinduer. Lette indervægge med stålskelet. Tagkonstruktion af huldæk med tagpap. Glastårn med to-lags glas og huldæk.

Scenarie 4: Bærende konstruktion i limtræs søjler og bjælker med hybrid etagedæk. Facade består af ophængt træbeklædning og tre lags træ/alu vinduer. Lette indervægge med træskelet. Tagkonstruktion i LVL-dæk med tagpap. Glastårn med to-lags glas og LVL-dæk.

LCA scenarier

CO₂ emissioner forbundet med Nybyg iht. BR18

Scenarie 3 og 4 opfylder grænseværdien for bygningen på 7,5 kg CO₂-ækv./m²/år i 2025. Kun scenarie 3 overholder den skærpede grænseværdi for bygningen i 2027 samt alle scenarier overholder grænseværdien for byggepladsen i 2025 og 2027.

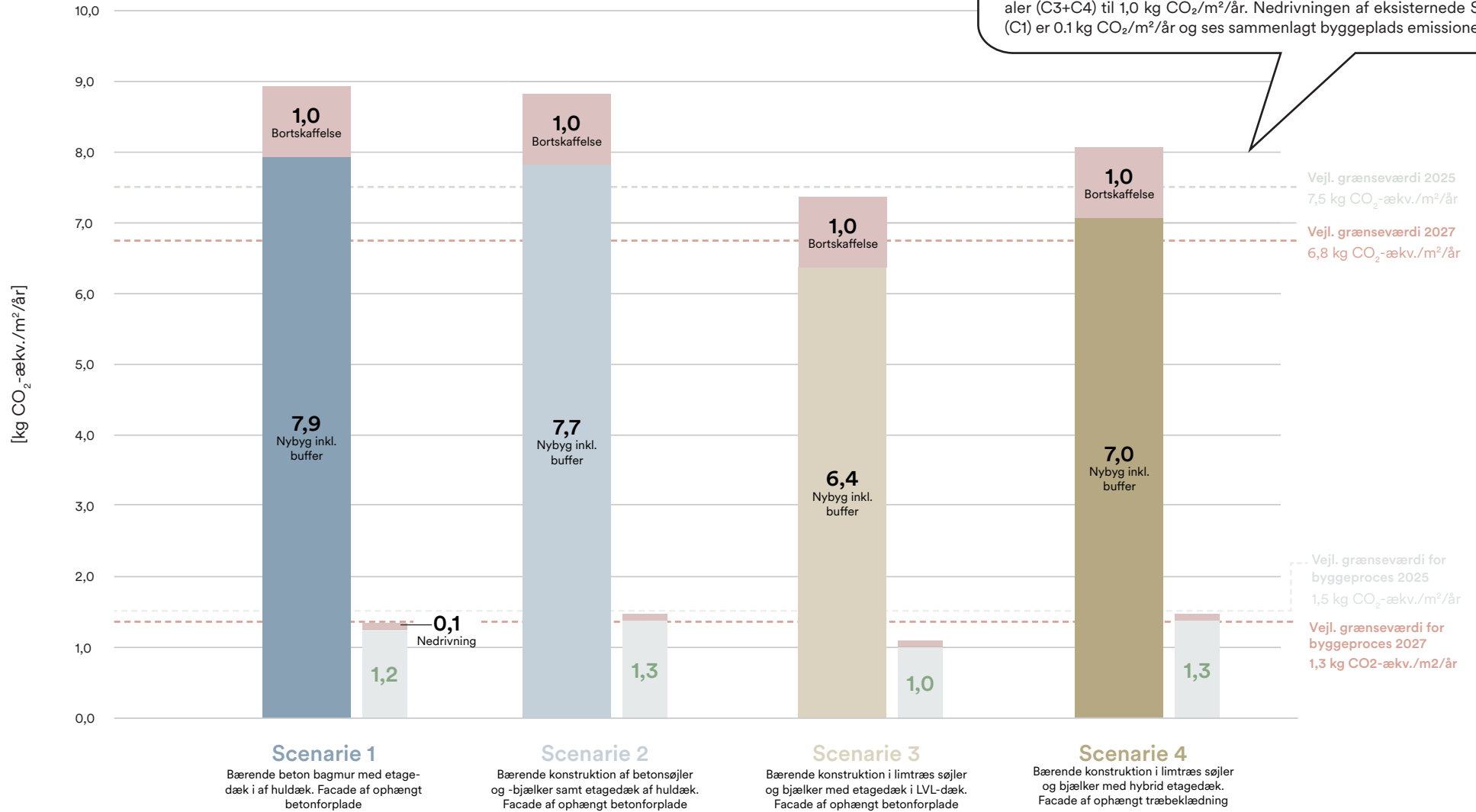


LCA metode: Tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C3 + C4)

LCA scenarier

Faktiske CO₂ emissioner - Nybyg inkl. nedrivning af eksisterende

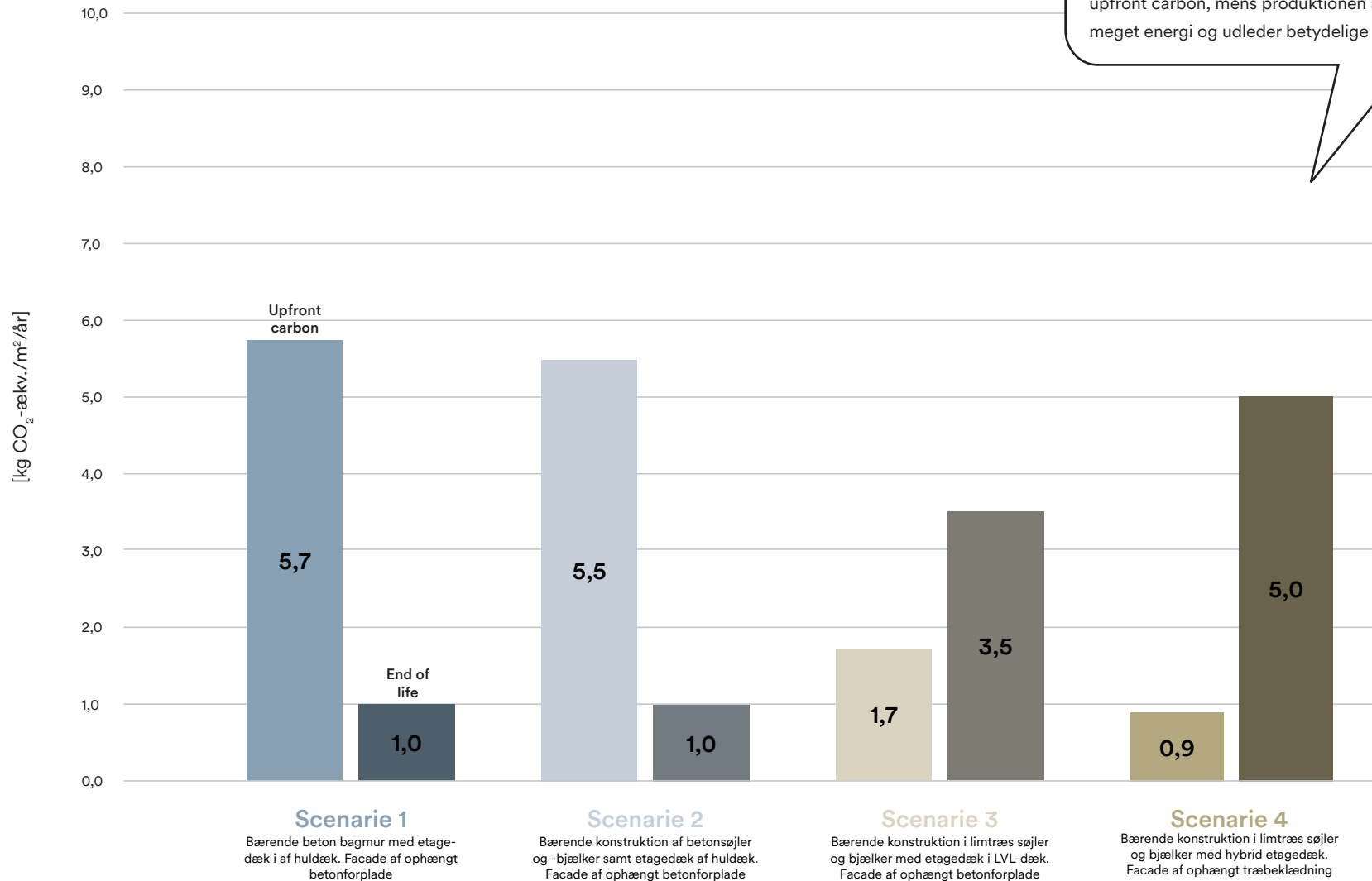
Bygningsreglementets klimakrav omfatter ikke nedrivning. Der er dog stadig CO₂-udledninger forbundet med både nedrivning, affaldshåndteringen og bortskaffelse af byggematerialer. For SAB1 svarer den samlede emission fra affaldshåndteringen og bortskaffelsen af materialer (C3+C4) til 1,0 kg CO₂/m²/år. Nedrivningen af eksisterende SAB1 (C1) er 0,1 kg CO₂/m²/år og ses sammenlagt byggeplads emissionerne.



LCA metode: Bortskaffelse, tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C1 + C3 + C4)

LCA scenarier

CO₂-udledninger fra materiale: upfront carbon kontra end-of-life



Materialevalget påvirker her og nu emissionerne (Upfront carbon). Ved at vælge træ, som er et fornybart materiale, som lagrer CO₂ i væksten sikers de laveste emissioner ved upfront carbon, mens produktionen af beton og stål kræver meget energi og udleder betydelige mængder CO₂.

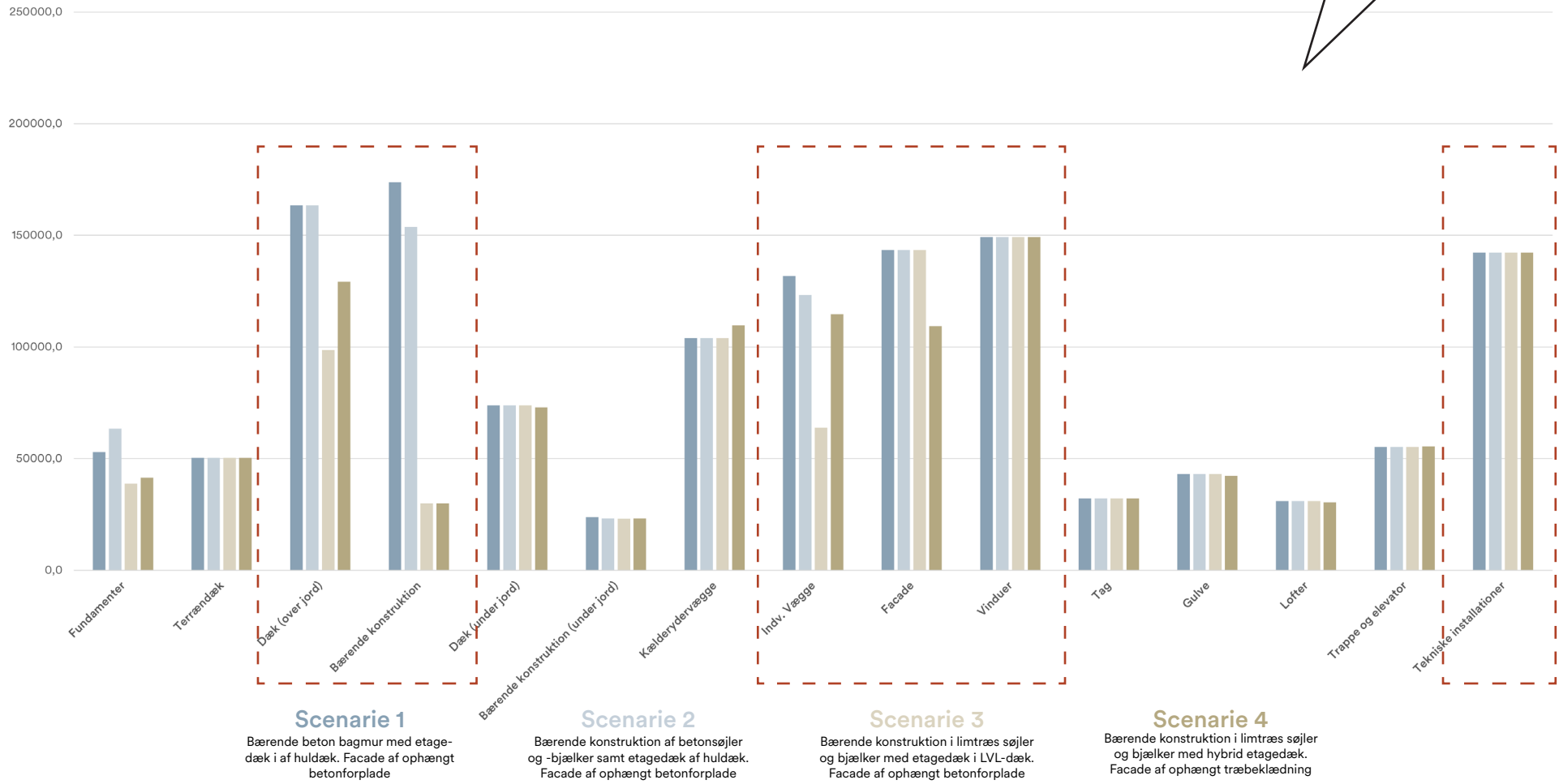
LCA metode: Tilførte materialer - produktion og bortskaffelse (A1-A3 + C3 + C4)

LCA scenarier

Distribution af CO₂-udledninger ved nybyg

Ved genetablering af SAB1 er de fem store udledere er *Dæk (over jord)*, *Bærende konstruktioner*, *Tekniske Installationer*, *Facade* og *Indv. vægge*. Da geometri og udvalgte bygningsdele er det samme i alle fire scenarier er der flere af posterne der har samme udledninger f.eks. taget.

Distribution af emissioner [kgCO₂]



LCA metode: Tilførte materialer, produktion, udskiftning og bortskaffelse (A1-A3 + B4 + C3 + C4)

LCA scenarier - optimeret

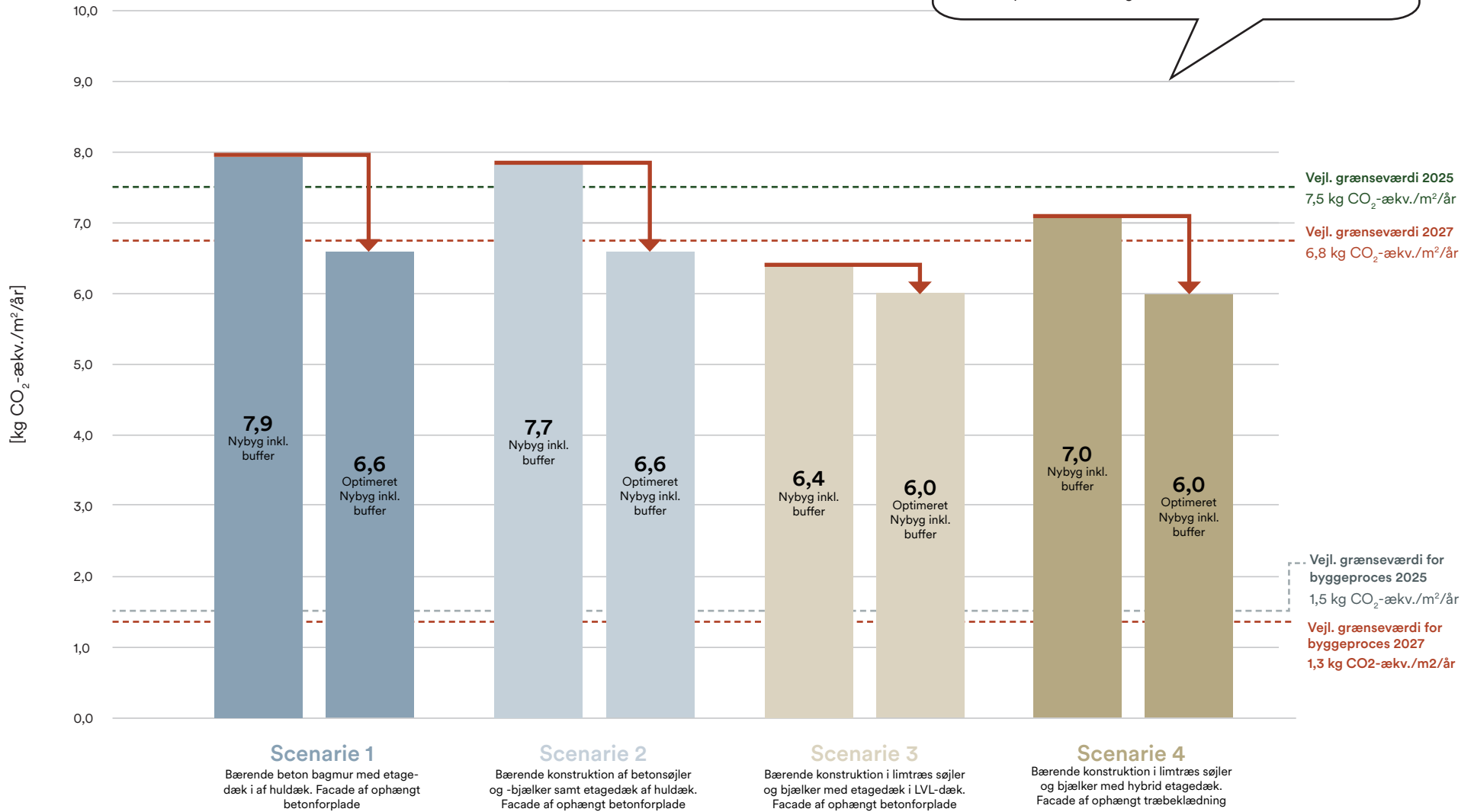
Tiltag for at reducere emissioner

	1.	2.	3.	4.
<p>Scenarie 1</p> <p>Bærende beton bagmur med etagedæk i af huldæk. Facade af ophængt betonforplade</p>	Lav CO2 glas ORAÉ fra Saint Gobain vælges i facaden	Alt beton over terræn erstattes med CO2 reducerende Uni-Green beton fra Aalborg Portland	Dæk erstattes med CLT + CASEA LN 35 + LN 45	Alle ikke-bærende indervægge, med undtagelse af kerne- og kældervægge, udføres nu i træ med fibergips, hvilket erstatter betonindervægge.
<p>Scenarie 2</p> <p>Bærende konstruktion af betonsøjler og -bjælker samt etagedæk af huldæk. Facade af ophængt betonforplade</p>	Lav CO2 glas ORAÉ fra Saint Gobain vælges i facaden	Alt beton over terræn erstattes med CO2 reducerende Uni-Green beton fra Aalborg Portland	Dæk erstattes med CLT + CASEA LN 35 + LN 45	Alle ikke-bærende indervægge, med undtagelse af kerne- og kældervægge, udføres nu i træ med fibergips, hvilket erstatter betonindervægge.
<p>Scenarie 3</p> <p>Bærende konstruktion i limtræs søjler og bjælker med etagedæk i LVL-dæk. Facade af ophængt betonforplade</p>	Lav CO2 glas ORAÉ fra Saint Gobain vælges i facaden	Alt beton over terræn erstattes med CO2 reducerende Uni-Green beton fra Aalborg Portland	Dæk erstattes med CLT + CASEA LN 35 + LN 45	
<p>Scenarie 4</p> <p>Bærende konstruktion i limtræs søjler og bjælker med hybrid etagedæk. Facade af ophængt træbeklædning</p>	Lav CO2 glas ORAÉ fra Saint Gobain vælges i facaden	Alt beton over terræn erstattes med CO2 reducerende Uni-Green beton fra Aalborg Portland	Dæk erstattes med CLT + CASEA LN 35 + LN 45	

LCA scenarier - optimeret

CO₂ emissioner forbundet med Nybyg iht. BR18

Ved at fokusere på nøgleområder for forbedringer kan emissionerne reduceres, således at alle fire scenarier kan overholde de skærpede emissionsgrænser i 2027.

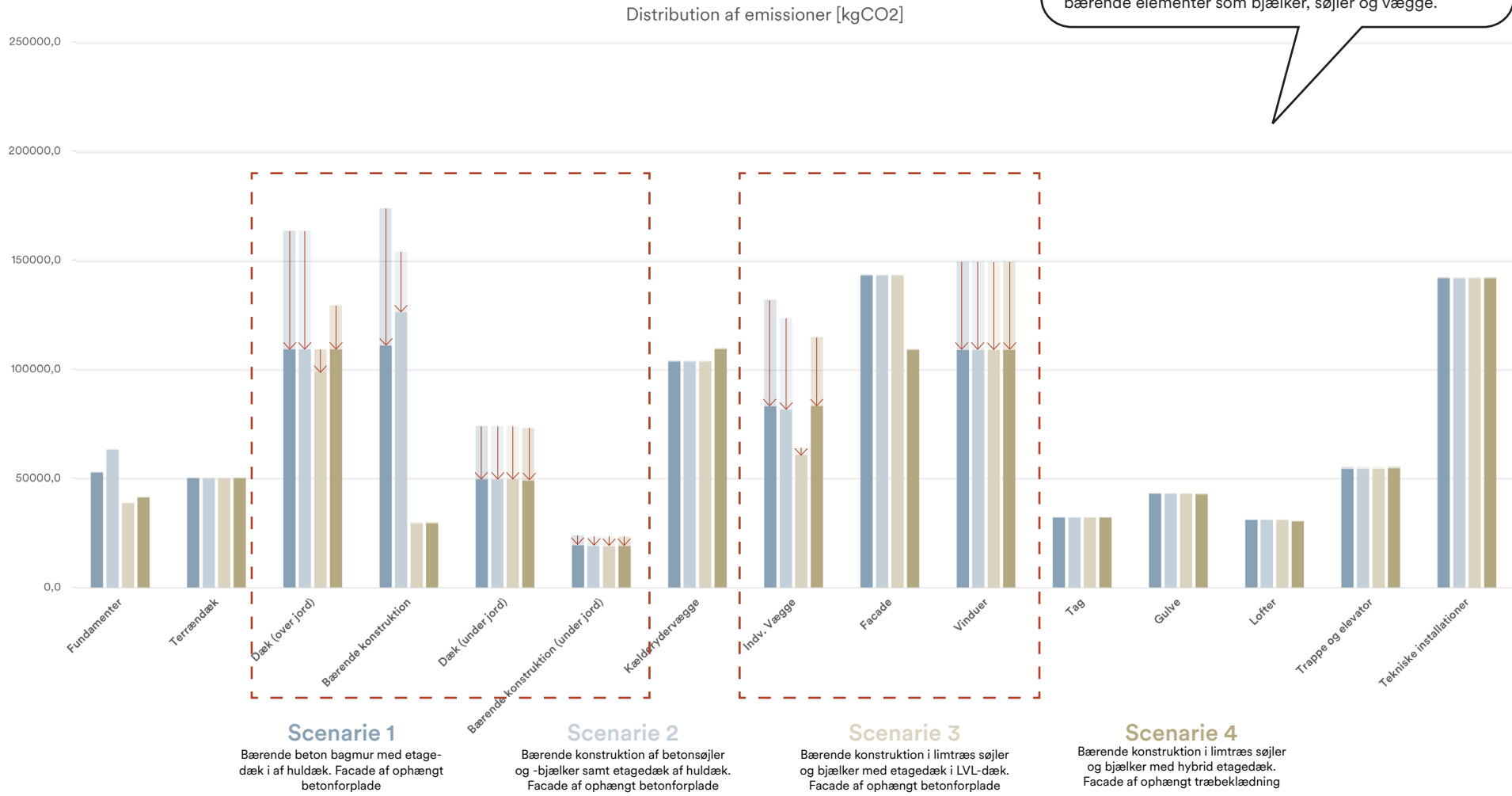


LCA metode: Tilførte materialer, udskiftning, drift og byggeplads (A1-A5 + B4 + B6 + C3 + C4)

LCA scenarier

Distribution af CO₂-udledninger ved optimeret nybyg

Fem store udledere, *Dæk (over jord)*, *Bærende konstruktion*, *Dæk under jord*, *Bærende under jord*, *Indv. Vægge* og *Vinduer* reduceres alle med optimerede materialevalg. For bærende konstruktioner og dæk skyldes CO₂-reduktionen anvendelsen af mere klimavenlig beton i huldæk og bærende elementer som bjælker, søjler og vægge.

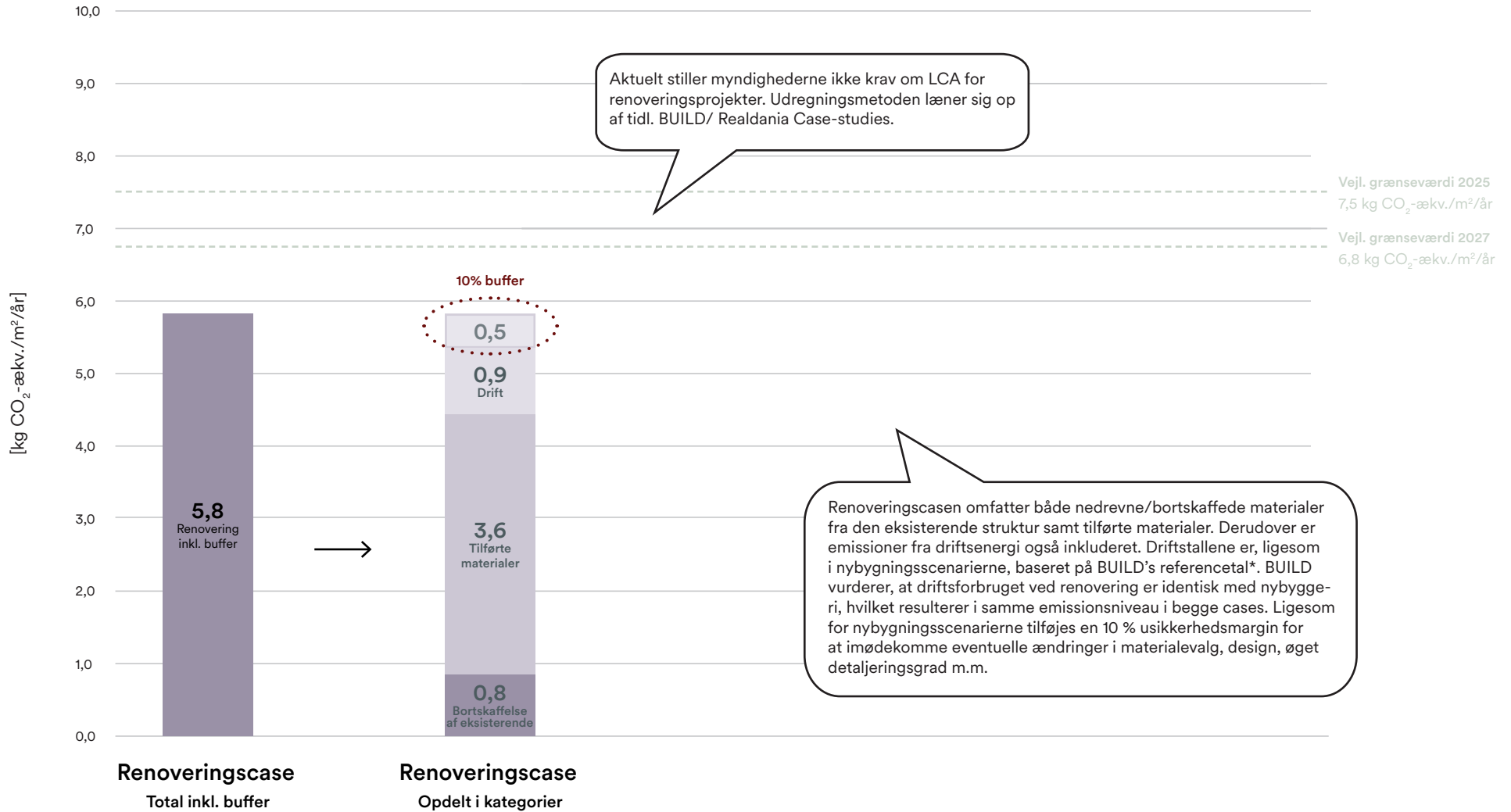


LCA metode: Tilførte materialer, produktion, udskiftning og bortskaffelse (A1-A3 + B4 + C3 + C4)

3. Renoveringscase

LCA Renoveringscase

Faktiske CO₂ udledninger ved renovering og fordelingen deraf

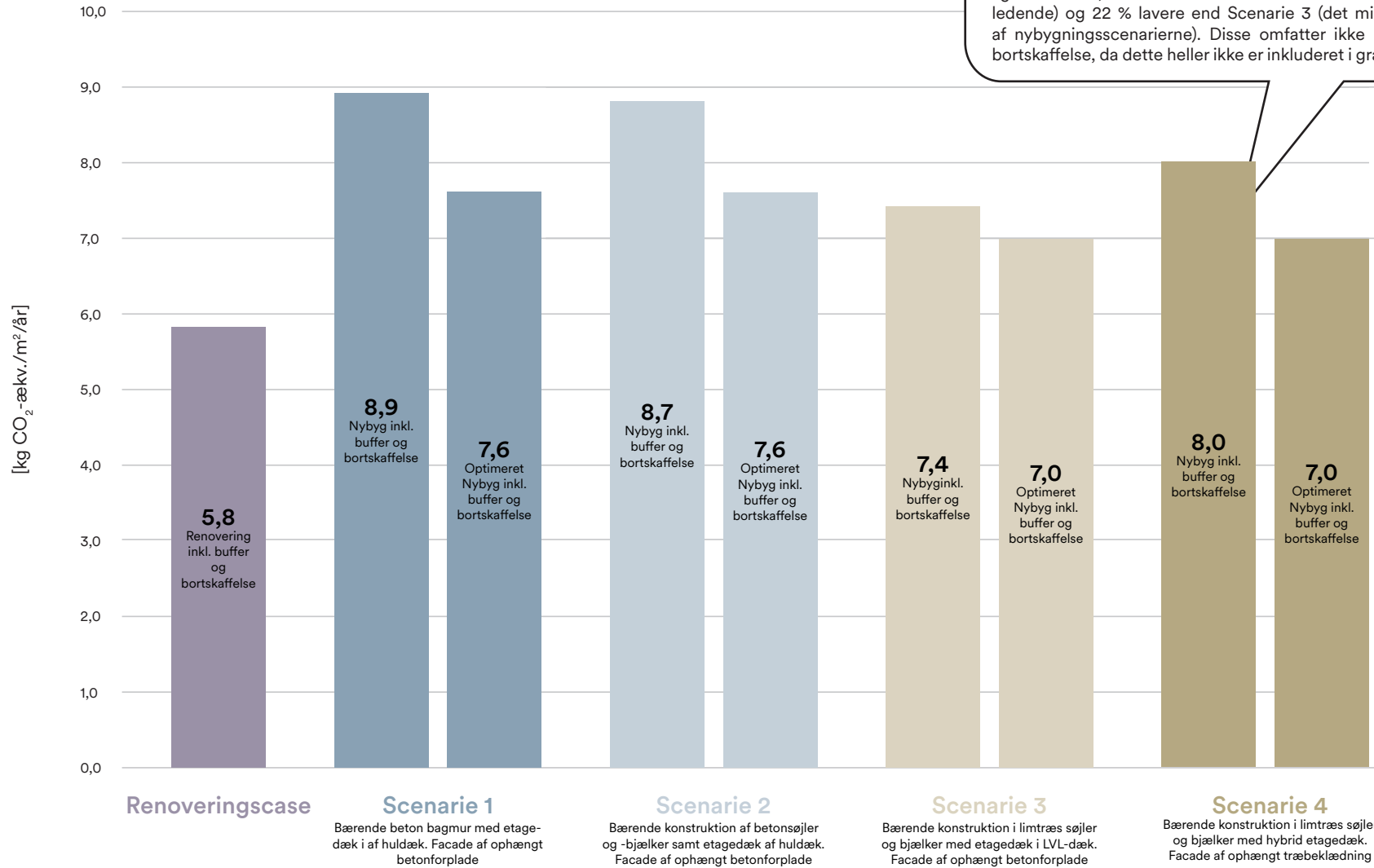


LCA metode: Bortskaffelse + Nybyg (A1-A3 + B4 + B6 + C1 + C3 + C4)

*<https://vbn.aau.dk/da/publications/varmebesparelse-i-eksisterende-bygninger-segentering>

LCA scenarier

Renoveringscase og nybyg scenarier inkl. bortskaffelse



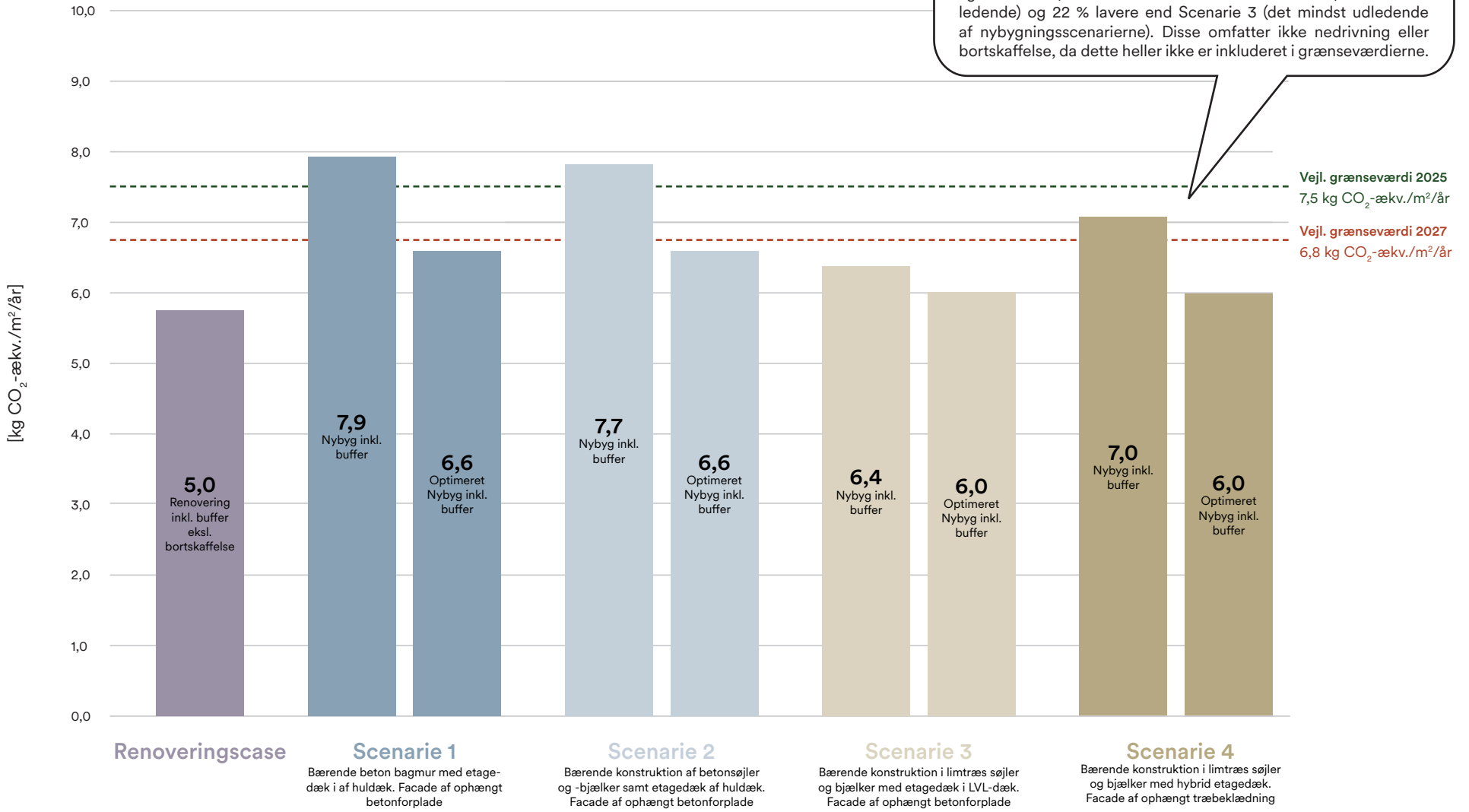
Bygningsreglementets grænseværdier omfatter ikke renovering. Til sammenligningsformål vurderes både renoveringscasen og de fire nybygningsscenarier dog i forhold til de kommende grænseværdier for nybyggeri. Renoveringscasen har et klimaaftryk på 5,0 kg CO₂/m²/år, hvilket er 37 % lavere end Scenarie 1 (det mest udledende) og 22 % lavere end Scenarie 3 (det mindst udledende af nybygningsscenarierne). Disse omfatter ikke nedrivning eller bortskaffelse, da dette heller ikke er inkluderet i grænseværdierne.

LCA metode: Bortskaffelse + Nybyg (A1-A3 + B4 + B6 + C1 + C3 + C4)

LCA scenarier

Renoveringscase og nybyg scenarier eks. bortskaffelse jf. BR18 krav

Bygningsreglementets grænseværdier omfatter ikke renovering. Til sammenligningsformål vurderes både renoveringscasen og de fire nybygningsscenarier dog i forhold til de kommende grænseværdier for nybyggeri. Renoveringscasen har et klimaaftryk på 5,0 kg CO₂/m²/år, hvilket er 37 % lavere end Scenarie 1 (det mest udledende) og 22 % lavere end Scenarie 3 (det mindst udledende af nybygningsscenarierne). Disse omfatter ikke nedrivning eller bortskaffelse, da dette heller ikke er inkluderet i grænseværdierne.



LCA metode: Iht. BR18 (A1-A3 + B4 + B6 + C3 + C4)