

Nytt Nasjonalmuseum (PNN) KLIMAGASSBEREGNING



Fase	Utarbeidet	Rev1	Rev2	Rev3
Forprosjekt «Prosjektert bygg»	10.09.12	19.09.12	18.10.13	10.12.13
Ferdigstillelse «Som bygget»	26.02.21			
Etter 2 års drift «I drift»				

Innholdsfortegnelse

INNLEDNING	3
1. PROSJEKTBEKRIVELSE	4
1.1. BEREKNINGSPROGRAM FOR KLIMAGASSBEREGNINGER	4
2. HOVEDRESULTATER OG SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVER	5
3. STASJONÆR ENERGIBRUK	8
3.1. PROSJEKTFASER – FORUTSETNINGER OG DELRESULTATER	8
3.1.1. Referansebygg.....	8
3.1.2. Prosjektert bygg	8
3.1.3. «Som bygget»	11
3.2. SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVENE – KLIMAGASSUTSLIPP FRA STASJONÆR ENERGIBRUK	12
4. MATERIALER	13
4.1. BEREKNINGSALTERNATIVER – FORUTSETNINGER OG DELRESULTATER	13
4.1.1. Referansebygg.....	13
4.1.2. Prosjektert bygg	14
4.1.3. «Som bygget»	15
4.2. SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVENE – KLIMAGASSUTSLIPP FRA MATERIALBRUK	17
5. TRANSPORT	18
5.1. BEREKNINGSALTERNATIVER – FORUTSETNINGER OG DELRESULTATER	18
5.1.1. Referansebygg.....	18
5.1.2. Prosjektert bygg	18
5.1.3. «Som bygget»	19
5.1.4. «I drift» (etter 2 år)	19
5.2. SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVENE – KLIMAGASSUTSLIPP FRA TRANSPORT	19
VEDLEGG	20
VEDLEGG 1: UNDERLAG BEREGNINGER FOR ENERGI.....	20
VEDLEGG 2: UNDERLAG BEREGNINGER FOR MATERIALER	20
VEDLEGG 3: UNDERLAG BEREGNINGER FOR TRANSPORT	20

INNLEDNING

FutureBuilts prosjekter dokumenteres på FutureBuilts nettside. Her får man en samlerapport som redegjør for prosjektets miljøtiltak og resultater. Denne klimagassrapporten er et vedlegg til øvrig dokumentasjon på nettsiden og går i mer detalj om forutsetninger, datagrunnlag, tiltaksvurderinger, valg av tiltak, mv. som ligger til grunn for klimagassberegningene og oppnådde klimagassreduksjoner.

Prosjekt nytt Nasjonalmuseum (PNN) er et FutureBuilt-prosjekt og foreliggende rapport er dokumentasjon av klimagassberegninger, oppnådde klimagassreduksjoner og foreslåtte og gjennomførte tiltak. Rapporten utarbeides og revideres tre ganger gjennom planlegging/prosjektering, etter bygging og etter 2 års drift.

I versjon 1 av rapporten presenteres:

- et **referansebygg** av samme byggkategori og størrelse, bygget etter minimumskrav i Forskrift om tekniske krav til byggverk, materialvalg uten spesiell tanke på miljø og med gjennomsnittlig lokalisering uten transporttiltak.
- den **prosjekterte bygningen**, med beregnet energibruk (netto iht. NS 3031), planlagt energiforsyning, planlagt materialbruk og faktisk beliggenhet med gjennomsnittlige reisevaner for denne beliggenheten.

Versjon 2 av rapporten suppleres med beregningen for:

- **bygningen «Som bygget»**, fortsatt med beregnet energibruk (netto iht. NS 3031), men med faktiske utslippsdata for valgte bygningsprodukter (fra EPD'er).

Versjon 3 av rapporten suppleres ytterligere med beregningen for:

- **bygningen etter 2 års drift «I drift»**, med målt energi fordelt på ulike energiposter og med transportutslipp iht. gjennomført reisevaneundersøkelse for brukerne i bygget.

Denne rapporten datert 26.02.2021 inneholder versjon 2, dvs beregninger for bygningen «som bygget».

Beregningene for Prosjekt nytt Nasjonalmuseum (PNN) er utarbeidet av Statsbygg v/ miljørådgivere Elin A. Hansen og Hanne Gro Korsvold, på bakgrunn av data rapportert fra entreprenører på excel-mal utarbeidet av prosjekteringsgruppen v/ Jeanette Bøe og Eirik Wærner (da: Hjeltnes consult AS) og arkitektens miljøkoordinator Martin Reichenback (Kleihues + Schuwerk Gesellschaft von Architekten mbH).

1. PROSJEKTBESKRIVELSE

Statsbygg utlyste i 2009 en åpen, internasjonal plan- og designkonkurranse for nytt museumsanlegg på Vestbanen i Oslo. Vinneren ble i 2010 Kleihues + Schuwerk Gesellschaft von Architekten mbH med konseptet «Forum Artis».

Rambøll AS har vært rådgiver. Forprosjektet ble ferdigstilt våren 2012, Stortinget vedtok bygging i 2013 og byggefase var fra mars 2014 til februar 2021. Prosjektet er gjennomført med primært byggherrestyrte utførelsesentrepriser, fordelt på ca 25 kontrakter. Hab Construction AS, AF Gruppen Norge AS og Caverion AS har hatt de største byggentreprisene. Kostnadsramme har vært ca 6 milliarder kr for byggeprosjektet, og ca 619 millioner kr for brukerutstyrsprosjektet.

Det vil pågå prøvedrift og innflytting frem mot åpning for publikum i 2022.

Der man tidligere måtte besøke tre ulike museer rundt om i Oslo samles nå eldre og moderne kunst, samtidskunst, arkitektur og design under samme tak. Nasjonalmuseet for kunst, arkitektur og design er en sammenslåing av de tidligere institusjonene Nasjonalgalleriet, Kunstindustrimuseet i Oslo, Museet for samtidskunst, Arkitekturmuseet og Riksutstillinger.

I det nye museet kan 5000 kunstverk fra museets samling vises frem i 89 ulike utstillingsrom. Den nye bygningen samler all kunst på ett sted, som tidligere har vært oppbevart i en rekke magasiner rundt om i Oslo. Nytt Nasjonalmuseum i Oslo blir det største kulturbygget i Norden og et museumsbygg i verdensklasse. Klimagassberegninger har lagt til grunn at museet er åpent 300 av 365 dager, hvilket var standardverdi for kulturbygg i opprinnelig beregningsverktøy.

Bygningen består av en to-etasjers fremre del med utstillingsarealer, med Lyshallen en etasje høyere som en mellomdel, og bakre del på 5 etasjer med magasiner og administrasjon. Underetasjen inneholder tekniske arealer. Det er også en teknisk mellometasje med horisontale tekniske føringer under første etasje. Bygningen er prosjektert etter Statsbyggs miljømål, med FutureBuilt kvalitetskriterier, med passivhusnivå og materialer som skal være redusere påkjenning på ytre miljø, være solide, eldes med verdighet og være enkle å vedlikeholde.

Forutsetninger for klimagassberegningene har vært 273 ansatte, og 6000 besøkende på en travel dag. Brutto bygningsareal 54 600 m² BTA, oppvarmet areal 51 759 m² BRA.

Postnummer 0250, ca 2 moh. Det er benyttet klimadata for Oslo fra NS 3031, hvor dimensjonerende utetemperatur ved sommerforhold (DUT_s) er 26,7 °C og årsmiddeltemperatur er 6,3 °C.

Bygningen er sentralt lokalisert i Oslo sentrum, nært kollektivknutepunkter med omliggende ferjekai, trikkestopp, busstopp og i kort gåavstand fra Nasjonalteatret tog- og t-banestasjon. Det er ikke tilrettelagt for parkering av personbil ved anlegget. Det tilbys sykkelparkering for besøkende.

1.1. Beregningsprogram for klimagassberegninger

Prosjektet bygg ble beregnet i klimagassregnskap.no (KGR) versjon 3. Utslipp fra materialer ble beregnet manuelt i Excel. For ferdigstilt bygg er sluttrapporter for materialer registrert inn i OneClick LCA (et verktøy som er tilrettelagt for NS 3720). I rapporten er det tatt hensyn til sammenlignbarhet mellom de ulike verktøyene som har vært i bruk i prosjektgjennomføringen.

Energi er ikke beregnet i OneClick LCA for ferdigstilt bygg. Endringer i fotavtrykk for energi er konvertert til utslippstall per m² * år som er sammenlignbare med prosjektert byggs forutsetninger, dvs at alle tall per m² * år gjelder for 50 337 m² oppvarmet BRA. Økt areal oppvarmet BRA sammenlignet med prosjektert bygg (+2,8 % til 51 759 m² oppvarmet BRA) telles derfor som økt energibehov for det opprinnelige arealet for å slippe å konvertere alle øvrige beregnede tall.

Transport er ikke beregnet på nytt for ferdigstilt bygg, siden ingen forutsetninger er endret. Rapporten viser imidlertid forskjellen på utslipp fra transport med metodikk fra KGR versjon 4.1 vs versjon 5.

PNN skiller seg fra standard beregningsrutine i FutureBuilt og Statsbygg, ved at det ble gjort en vurdering av prognose for klimagassberegninger etter detaljprosjektering, tidlig i byggefasen (2016). Prognosen var basert på uttak av mengdelister fra arkitektmodell, revidert energiberegning og tidlige dokumenterte materialvalg som bygget. Prognosevurderingene er tatt med i denne rapporten.

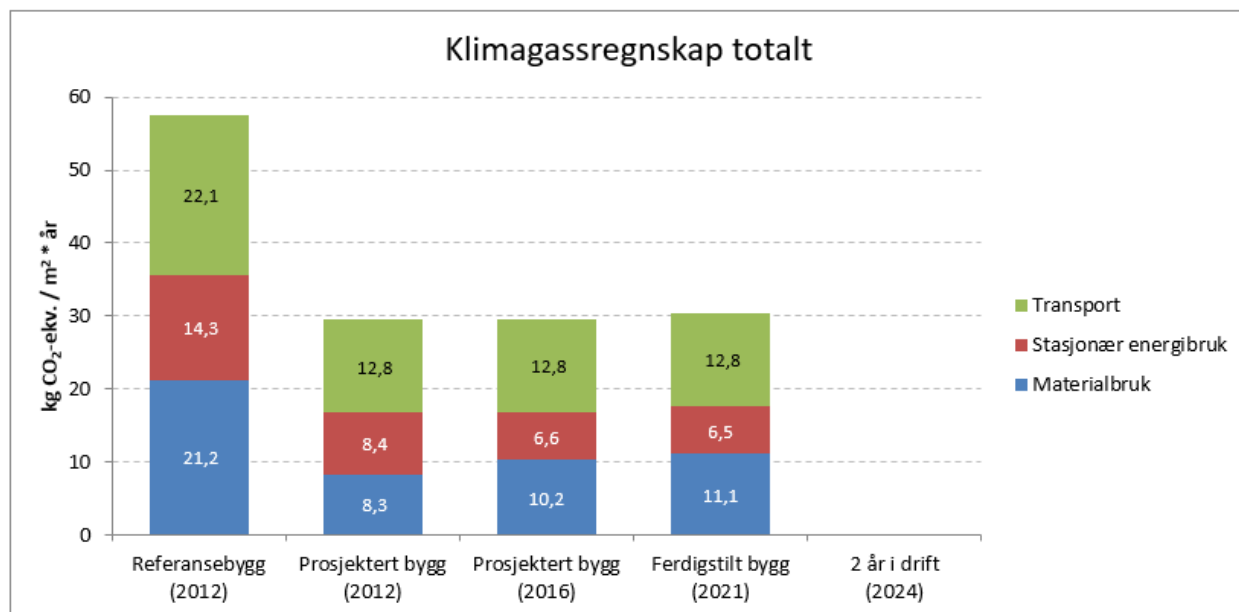
2. HOVEDRESULTATER OG SAMMENLIGNING AV ALTERNATIVER

Prosjektets totale klimagassutslipp er sammenlignet med referanseberegningen redusert med 48,8 % for prosjektert bygg, og **47,3 %** for "som bygget".

Klimagassutslippet for prosjektet som bygget er beregnet til **30,4 kg CO₂-ekv./m²*år**. Totalt for bygget utgjør dette **1 528 653 kg CO₂-ekv./år**.

I tabell 2.1 er reduksjonene for alternativene vist for henholdsvis materialbruk, stasjonær energibruk til drift av bygget, samt person- og varetransport i driftsfasen.

Figur 2.1: Fordeling av beregnede klimagassutslipp [kg CO₂-ekv./ m²* år] for nytt Nasjonalmuseum.



Alle tall i figuren over viser utslipp per m² for samme opprinnelige arealforutsetning: 50 337 m² oppvarmet BRA. Oppvarmet areal økte i fra forprosjekt til detaljprosjekt, til 51 759 m² BRA (+2,8%), men fotavtrykk for energi er her regnet om til opprinnelig arealforutsetning av hensyn til sammenlignbarhet.

Tabell 2.1: Fordeling av beregnede klimagassutslipp pr år for nytt Nasjonalmuseum

	Referansebygg 2012	Prosjektert bygg 2012	Prosjektert bygg 2016	«Som bygget» 2021	«i drift» 2024
	[kg CO ₂ / år]	[kg CO ₂ / år]	[kg CO ₂ / år]	[kg CO ₂ / år]	[kg CO ₂ / år]
Materialbruk	1 067 144	417 797	513 437	558 337	
Stasjonær energibruk	719 819	422 831	330 349	326 003	
Transport	1 112 448	644 314	644 314	644 314	
Total	2 899 411	1 484 942	1 488 100	1 528 653	
Reduksjon vs referansebygg		48,8 %	48,7 %	47,3 %	

Nivå på klimareduksjon i forprosjekt har holdt seg omtrent stabil til ferdigstilt bygg. Dette til tross for at det har vært stor variasjon i utslippsnivå for både materialbruk og energibruk.

Prosjektet har, i likhet med de fleste kjente prosjekter, konstatert at materialmengder modellert i forprosjektfase er mye lavere enn endelige materialmengder for ferdigstilt bygg. En rekke forutsetninger for energiløsninger og energiytelse ble dessuten utviklet i løpet av detaljfasen. Energieffektivitet ble betydelig forbedret (-25 %), og oppvarmet areal økte noe (+2,8 %).

Reduksjon i utslipp fra energibruk har derfor «nullet ut» økning i utslipp fra materialbruk. Hadde endelige energiforutsetninger vært kjent allerede i forprosjektfasen, ville økte materialmengder og høyere utslippsfaktorer enn forutsatt for materialvalg medført i størrelsesorden 6000 tonn CO₂ økte utslipp, dvs ca 3,5 % sammenlignet med referansebygg.

Tabell 2.2: Fordeling av beregnede klimagassutslipp over hele livsløpet (60 år) for nytt Nasjonalmuseum

	Referansebygg 2012	Prosjektert bygg 2012	Prosjektert bygg 2016	«Som bygget» 2021	«i drift» 2024
	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂]
Materialbruk	64 028 664	25 067 826	30 807 826	33 500 200	
Stasjonær energibruk	43 189 146	25 369 848	19 819 848	19 560 153	
Transport	66 746 862	38 658 816	38 658 816	38 658 816	
Total	173 964 672	89 096 490	89 286 490	91 719 169	
Reduksjon		- 84 868 182		- 82 245 503	
Avvik fra målsetning om 50 % reduksjon		2 114 154	2 303 679	4 736 833	

Som en respons til prognose for økte utslipp fra materialer, vurderte prosjektet tidlig i byggefasen hvorvidt det skulle gjennomføres ekstraordinære tiltak for å kompensere for dette. Det ble utredet reduksjonspotensiale og kostnadsnivå for overgang til fossilfri diesel på byggeplass (herunder endring fra propanbasert bygg-tørk og byggvarme) samt overgang til fossilfri diesel for transport av fasadeskifer fra skiferbrudd på Oppdal til fabrikk i sør-Tyskland. Internt prosjektråd besluttet imidlertid å ikke avsette midler fra reserven til dette formålet. Effekten av tiltak ville vært i størrelsesorden 1 – 1,5 % reduksjon av totalt fotavtrykk. Prosjektet har ikke hatt andre tilgjengelige klimatiltak å vurdere i løpet av byggefasen.

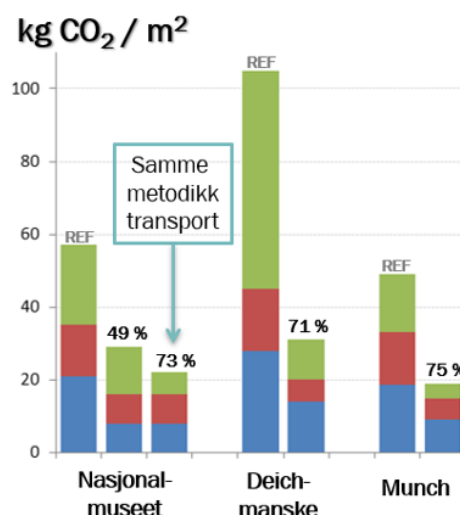
2.1. Metodeendringer og -utfordringer – forholdet mellom utslippskilder

I forbindelse med erfaringsdeling mellom PNN og de to andre kulturbyggene i Oslo, nytt Munch-museum og nye Deichmanske hovedbibliotek ble det dessuten gjort en regneøvelse for å konvertere PNNs klimaregnskap for transport fra KGR versjon 3 til KGR versjon 5, og med justert metodikk/forutsetninger som for de to nevnte prosjektene var blitt godkjent av FutureBuilt.

Denne øvelsen viste at reduksjonsprosent for transport for PNN, ville øke fra 49 % til 73 %.

Dette vakte mye negativ oppmerksomhet internt i prosjektet, hvilket medførte mye oppfølging med pedagogisk informasjon og opplæring om klimaregnskap. Utslippsberegningene for transport ble oppfattet som hypotetiske, tilfeldige og lite troverdige. Det ble ikke ansett som reelle utslippsgevinster for prosjektet.

Prosjektets miljørådgiver har derfor arbeidet mye med å kommunisere de absolutte utslippsstallene totalt for prosjektets og de ulike utslippskildene sammenlignet med de to andre kulturbyggene. Ikke kun som prosentvis reduksjon og relative størrelser (utslipp per m²). Det understreker betydningen av



å ikke foreta ukritiske sammenligninger av klimagassberegninger og resultater, der det er benyttet ulike beregningsverktøy, metoder og forutsetninger.

Arealet på nytt nasjonalmuseum (PNN) langt større enn for de to andre kulturbyggene, og dermed er også samlet klimafotavtrykk i tonn CO₂-ekvivalenter langt høyere.

Det er hovedårsaken til at samlet prosjektert fotavtrykk for nytt Nasjonalmuseum er henholdsvis 2,3 og 3,5 ganger så stort som de to andre byggene. Dette underbygger viktigheten av måloppnåelse, spesielt for store prosjekter.

3. STASJONÆR ENERGIBRUK

I dette kapitlet er det først redegjort for forutsetninger, grunnlag og resultater av de ulike beregningsalternativene, deretter sammenlignes alternativene og det gis en kort forklaring av årsakene til forskjellen mellom alternativene.

3.1. Prosjektfaser – forutsetninger og delresultater

3.1.1. Referansebygg

Som referansebygg er det lagt til grunn et kulturbygg prosjektert etter TEK10.

Energibehov	
Totalt netto energibehov (iht. NS 3031)	165 kWh/m ² år (Energiramme kulturbygg, TEK 10)
Andel el-spesifikt energiforbruk	30 %
Oppvarmet BRA, areal	50 337 m ²

Referansebyggets energiforsyning er iht. Futurebuilt sine retningslinjer, 40 % EL og 60 % Varmepumpe:

	Energikilde	Tiltak
Oppvarming	40 % EL, 60 % VP	TEK10
Varmtvann	40 % EL, 60 % VP	
Kjøling	40 % EL, 60 % VP	TEK10
Elektrisitet	100 % EL	

Tabell 3.1: Oversikt over energiforsyning og tilhørende klimagassutslipp for referansebygg

Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]	Referansebygg (50 337 m ² BRA)
Fjernvarme	0
Varmepumpe	2,45
Pri el	11,82
Sum	14,3

3.1.2. Prosjektert bygg

Det prosjekterte bygget var planlagt oppført som passivhusnivå. Energimål for prosjektet ble etablert i MOP før lansering av NS 3037 Norsk passivhusstandard for yrkesbygninger ble lansert. Målet var at bygget minimum skal tilfredsstillende < 100 kWh / m² år levert energi iht NS 3031. I tillegg ble det satt mål for «virkelig energibruk» < 200 kWh / m² år.

Byggets netto energibehov ble beregnet ved hjelp av beregningsprogrammet Simien i 2012, og IDA ICE i 2016. Se energibudsjett i tabell 3.2 Beregningene fra prosjektert bygg i 2012 viste at byggets netto energibehov er redusert med 32 % i forhold til rammekravet i teknisk forskrift. Ved detaljprosjektering ble det utført revidert energiberegning i 2016. Oppvarmet areal hadde økt fra 50 337 til 51 759 m² BRA (+2,8%), mens byggets netto energibehov nå viste reduksjon på 47 % i forhold til rammekravet i teknisk forskrift.

Energibehovet for bygget er begrenset ved å prosjektere bygget som et passivhus iht NS 3701. Alle passivhuskrav er oppfylt med unntak av gjennomsnittlig U-verdi for vinduer / dører / porter / glasstak. RIBfys anbefalte at krav til U-verdi justeres opp til 0,9 W/m²K grunnet strengere sikkerhetskrav til Nasjonalmuseet enn til ordinære bygg. Energirådgiver bemerket at enkelte parametere i 2016 var på grensen i forhold til krav til bygget energiytelse, og at det derfor var viktig med tett oppfølging i byggefasen mht endringer som kan ha innflytelse på energibruk.

For energimiks benyttet KGR versjon 3 ZEB-miks med gjennomsnitt 0,123 kg CO₂/kWh over 60 år. Utslippsfaktor for avfall: 0,11 kg CO₂/kWh. Utslippsfaktor for varmepumper: 0,102 kg CO₂/mWh.

Prosjektet fikk tilsagn om ENOVA-midler tilknyttet oppfyllelse av passivhuskrav.

Byggets energiforsyning er basert på varmepumper og kjølemaskiner med drift på sjøvann samt fjernvarme for spisslast på varme.

Tabell 3.2: Energibudsjett. Beregnet netto energibehov i henhold til NS 3031.

Prosjektert bygg iht energiberegning 2012:

Energiramme (§14-4, samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	29,8 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	13,1 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	10,0 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	16,8 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	3,6 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	23,0 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	2,9 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	1,9 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	11,0 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov, sum 1-6	112,0 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	165,0 kWh/m ²

Prosjektert bygg iht revidert energiberegning 2016, oppvarmet areal 51 759 m² BRA:

Poster	Totalt energibehov [kWh/år]	Spesifikk energibudsjett [kWh/m ² /år]
Romoppvarming	495 095	9,5
Ventilasjonsvarme	1 158 249	22,2
Varmtvann	520 924	10,0
Vifter	647 863	12,4
Pumper	182 849	3,5
Belysning	768 471	14,8
Teknisk Utstyr	148 507	2,9
Ventilasjonskjøling	482 664	9,3
Romkjøling	0	0
Totalt netto energibehov	4 400 000	85

Tabell 5-1 Samlet netto energibehov beregnet iht. NS 3031:2014.

Poster	Totalt levert energi [kWh/år]	Spesifikk levert energi [kWh/m ² /år]
Romoppvarming	261 650	5,0
Ventilasjonsvarme	586 611	11,3
Varmtvann	325 516	6,2
Kjøling	160 888	3,1
El	1 747 690	33,5
Totalt levert energi	3 100 000	59

Tabell 5-2 Levert energi (beregnet) fordelt på poster beregnet iht. NS 3031:2014.

Energiforsyning for prosjektert bygg i 2012 var varmepumpe og fjernvarme:

	Energikilde	Tiltak
Oppvarming	80 % Varmepumpe, 20 % Fjernvarme	U-verdier vegg/tak/gulv etter TEK 10. U=0,2 er benyttet for yttervegger. Endelig oppbygging av yttervegg var ikke avklart da energiberegningen ble utført. Disse vil bli oppdatert i detaljprosjektet. Det er gjennomført følsomhetsstudier som viser at netto energibehov påvirkes kun marginalt av forbedret U-verdi under 0,2 kWh/m ² år. Det vil derfor være lite lønnsomt å senke U-verdien ytterligere. Gode U-verdier på vinduer/dører: Snitt på 0,8-1 W/m ² Kompakt bygg, lekkasjetall på 0,5 luftvekslinger per time. Gode løsninger og oppfølging ved bygging. Kuldebroverdi på 0,03, se vedlagt notat fra RIFys. Virkningsgrad varmegjenvinnere i snitt på over 80 % pga omluft i magasiner og utstillingsområder SFP faktor: 2,0
Varmtvann		
Kjøling		Kjølebehovet er redusert bl.a. ved et lavt vindusareal, ned mot 10 % av BRA.
Elektrisitet	100 % elektrisitet	

Ved revidert energiberegning i 2016 ble det opplyst følgende energidekningsgrader:

- varmepumpe til oppvarming: 85 – 90 %
- varmepumpe til ventilasjonsvarme og romvarme: 90 %
- oppvarming av tappevann: 70 %

Energibehov (kWh / m ² per år)	Prosjektert 2012	Prosjektert 2016
Totalt netto energibehov	112	85
Levert energi	78	59
Oppvarmet BRA	50 337 m ²	51 759 m ²

Byggets beregnede klimagassutslipp som prosjektert var **8,4 kg CO₂-ekv/m²*år** for 2012 og estimert til **6,6 kg CO₂-ekv/m²*år** for 2016, se tabell 3.3. Dette utgjør en reduksjon på henholdsvis 41 og 54 % i forhold til referansebygget.

Utslipp fra energibruk for prosjektert bygg 2012 og 2016 er ikke beregnet i OneClick LCA, da det ikke ville generert direkte sammenlignbare resultater med opprinnelig klimagassberegning iht KGR versjon 3.

Tabell 3.3: Oversikt over energibehov og tilhørende klimagassutslipp for prosjektert bygg. Alle tall er sammenlignbare for 50 337 m² BRA oppvarmet areal.

Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]	Referansebygg 2012	Prosjektert bygg 2012	Prosjektert bygg 2016
Fjernvarme	0	0,74	<i>Justert tall for KGR v3 mht økt oppvarmet BRA og redusert energibehov</i>
Varmepumpe	2,45	1,88	
Pri el	11,82	5,78	
Sum	14,3	8,4	6,6
Reduksjon vs referansebygg		- 41%	- 54 %

3.1.3. «Som bygget»

Byggets beregnede energibehov er korrigert i henhold til byggeprosjektets utførelse. Forutsetninger for revidert energiberegning (se vedlegg 1):

- Målt lekkasjetall på $0,14 \text{ h}^{-1}$ legges til grunn, hvilket er en økning fra $0,10 \text{ h}^{-1}$.
- Ventilasjonsanlegg: SFP_e fra tidligere energiberegning er videreført. Nye og gamle SFP_v -verdier er sammenlignet og vektet verdi er tilnærmet lik.
- Pumper: Beregning er gjort med veiledende SFP-faktorer iht NS 3031. Det er gjort beregning av SFP-faktor, men da disse er lavere enn veiledende verdier er disse ikke justert ned da det likevel er margin til alle krav.
- Bygningsfysikk: Lyshall-fasadens U-verdi for glass er $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, og U-verdi for glasstaket er $0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vinduer generelt: gjennomsnittlig U-verdi $0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Klimainstallasjoner og soneinndeling: Det er etablert tilleggskjøling i enkelte utstillingsrom i plan 1 for oppfyllelse av temperaturkrav.

Tabell 3.4: Energibudsjett. Beregnet netto energibehov i henhold til NS 3031

Revidert energiberegning 2020:

Poster	Totalt energibehov [kWh/år]	Spesifikk energibudsjett [kWh/m ² /år]
Romoppvarming	700 000	13,4
Ventilasjonsvarme	1 070 000	20,5
Varmtvann	530 000	10,2
Vifter	670 000	12,9
Pumper	190 000	3,6
Belysning	770 000	14,8
Teknisk Utstyr	150 000	2,9
Ventilasjonskjøling	480 000	9,2
Romkjøling	400	0,0
Totalt netto energibehov	4 560 400	87,5

Tabell 5-1 Samlet netto energibehov beregnet iht. NS 3031:2014.

Energibehov (kWh / m ² per år)	Prosjektert 2012	Prosjektert 2016	Som bygget 2020
Totalt netto energibehov	112	85	87,5
Levert energi	78	59	61,2
Oppvarmet BRA	50 337 m ²	51 759 m ²	51 759 m ²

Poster	Totalt levert energi [kWh/år]	Spesifikk levert energi [kWh/m ² /år]
Romoppvarming	380 000	7,3
Ventilasjonsvarme	550 000	10,6
Varmtvann	330 000	6,3
Kjøling	160 000	3,1
El	1 770 000	37,0
Totalt levert energi	3 200 000	61,2

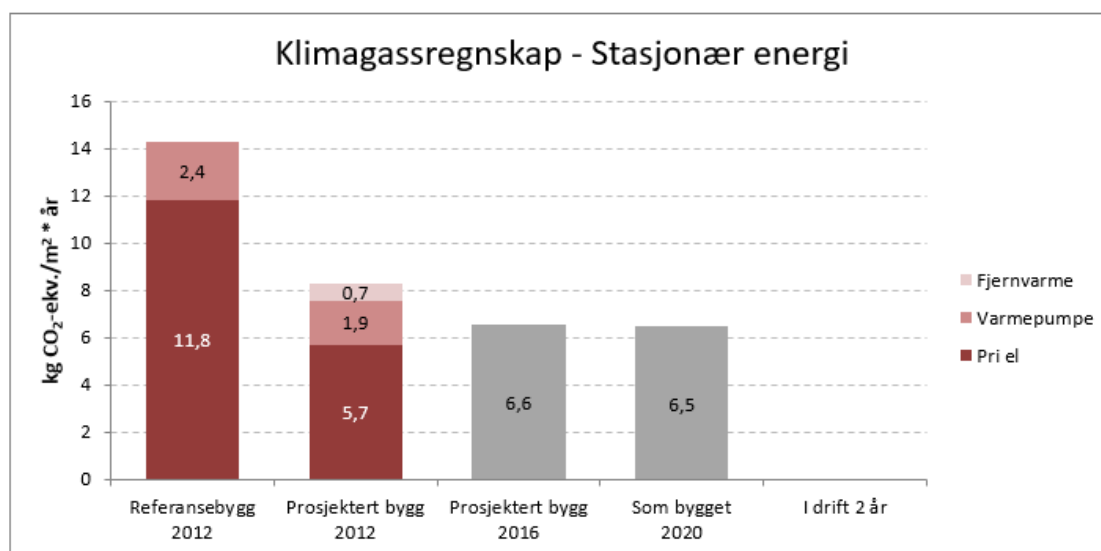
Tabell 5-2 Levert energi (beregnet) fordelt på poster beregnet iht. NS 3031:2014.

Tabell 3.5: Oversikt over energibehov, energiforsyning og tilhørende klimagassutslipp for prosjektet «som bygget»

Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]	Referansebygg 2012	Prosjektert bygg 2012	Som bygget
Fjernvarme	0	0,74	<i>Justert tall for KGR v3 mht økt oppvarmet BRA og redusert energibehov</i>
Varmepumpe	2,45	1,88	
Pri el	11,82	5,78	
Sum	14,3	8,4	6,5
Reduksjon vs referansebygg		- 41%	- 55 %

Byggets beregnede klimagassutslipp 'som bygget' er beregnet til **6,5 kg CO₂-ekv/m²*år** med arealforutsetning tilpasset sammenlignbarhet med KGR versjon 3, jf beskrivelse på side 9. Dette utgjør en reduksjon på 55 % i forhold til referansebygget.

3.2.Sammenligning av alternativene – klimagassutslipp fra stasjonær energibruk



Figur 3.1: Beregnede klimagassutslipp for energi.

Prosjektert bygg 2016 og som bygget 2020 er manuelt beregnet fordi klimagassregnskap.no nå er nedlagt.

Klimagassreduksjonen for stasjonær energibruk er 55 % fra referansebygg til 'som bygget', hvorav hovedårsaken til nedgang i klimagassutslipp er utvikling og implementering av passivhuskriterier som begrenser det totale energiforbruket. Passivhuskonstruksjonen gjør at energitapet fra bygningskroppen i drift vil være langt mindre enn om bygget var konstruert etter minstekravene i TEK10. Passivhuskonstruksjonen gjør at klimagassutslippene fra energi til drift av bygget er betydelig redusert både i totale klimagassutslipp over byggets levetid, og i kg CO₂-ekv per m² bygg per år.

4. MATERIALER

I dette kapitlet er det først redegjort for forutsetninger, grunnlag og resultater av de ulike beregningsalternativene, deretter sammenlignes alternativene og det gis en kort forklaring av årsakene til forskjellen mellom alternativene. Beregningene inkluderer livsløpsfasene A1-A3 og B5. OneClick LCA kan beregne alle livsløpsfaser, men ved sammenligning med KGR teller kun produktfase (A1-A3) og utskifting (B5).

4.1. Beregningsalternativer – forutsetninger og delresultater

4.1.1. Referansebygg

Det ble i klimagassregnskap.no (KGR) versjon 3 laget en manuell beregning av klimagassutslipp fra materialbruk. Excelark er benyttet, og mengde materiale ble multiplisert med utslippsfaktorer. Det ble benyttet generiske utslippsfaktorer for referansebygg, og eksakte eller oppdaterte generiske verdier i prosjektert bygg.

Denne metodikken skyldes at beregningene ble utført før det var mulig å etablere referansebygg for kulturbygg i KGR i verktøyet.

Det ble benyttet samme levetider for materialer som i KGR, fordelt på 60 år for tunge konstruksjoner og 15-30 år for lettere innvendige konstruksjoner som oftere skiftes ut.

Referansebyggets oppvarmede areal var 50 337 m² BRA.

Tabell 4.1: Beskrivelse av bygningsdeler med tilhørende klimagassutslipp for referansebygg.

Bygningsdel	Oppbygging (hovedelementer)	Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² /år]
Grunn og fundamenter	Bygget benytter stål som spunt, og er fundamentert med kalkpæler. Det er benyttet plaststøpte betongkonstruksjoner for gulv på grunn og for dekke i underetasjene. Isolasjon under gulv på grunn er av type xps.	0,57
Bæresystemer	Bæresystem, søyler og bjelker, er i stål og betong.	4,09
Yttervegger	For vegger over terreng er det benyttet isolerte betongvegger kledt med skifer. Veggene er isolert med glassull. Det er benyttet gipsplater/puss som kledning innvendig. Vinduene, 3-lags, er med aluminiumskarm.	3,68
Innervegg	Innervegger er av betong, leca eller bindingsverk med glassullisolasjon og stålstender, kledt med gipsplater/puss.	3,73
Dekker	Dekkene i bygget er i betong. For gulvbelegg er det benyttet stein, parkett eller vinyl. Himling er systemhimling med gips eller ekspandert glassgranulatplate.	6,91
Yttertak	Yttertak består av xps-isolasjon, tekket med skifer/grus.	2,2

TOTAL		21,2
--------------	--	-------------

4.1.2. Prosjektert bygg

Prosjektert bygg reflekterer materialvalg og -mengder slik prosjektet forelå ved levert forprosjekt i 2012. En rekke løsninger ble senere endret i løpet av detaljprosjekt og utførelse. Lyshallen måtte omprosjekteres til ny løsning pga konstruksjonssvikt som ble avdekket i testfasen på en mockup-fasade. Innervegger ble endret til oppbygging av massiv kalksandsstein, hvilket medførte betydelig økning i både materialvekt og klimagassutslipp.

Det var et betydelig usikkerhetsspenn i reduksjon for materialvalg for prosjektert bygg: reduksjonsverdi på 49 % med et spenn mellom 25 og 61 %.

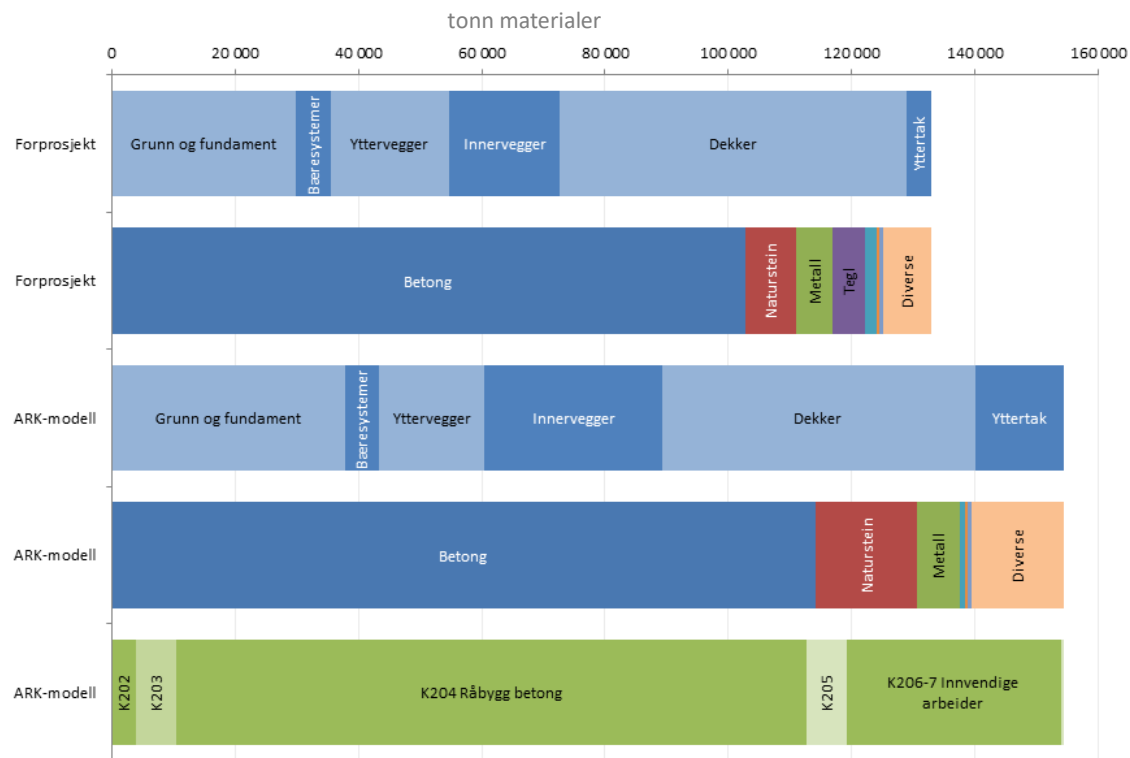
Generelt økte modenheten av modellverktøy og nøyaktighet av mengdekontroll i detalj- og byggefase. Ved utarbeidelse av en oppdatert prognose for klimagassutslipp i 2016, ble konstatert ca 15 % økning i materialmengder, med tilhørende økning i klimagassutslipp på minst 1,6 % vs referansebygg.

Prognose ble utarbeidet tidlig i byggefasen, men det forelå allerede dokumenterte utslippsfaktorer for materialer som bygget som indikerte økte klimagassutslipp sammenlignet med prosjektert bygg fra 2012. Dette gjaldt blant annet fasadeskiferen og kalksandssteinen som innervegg.

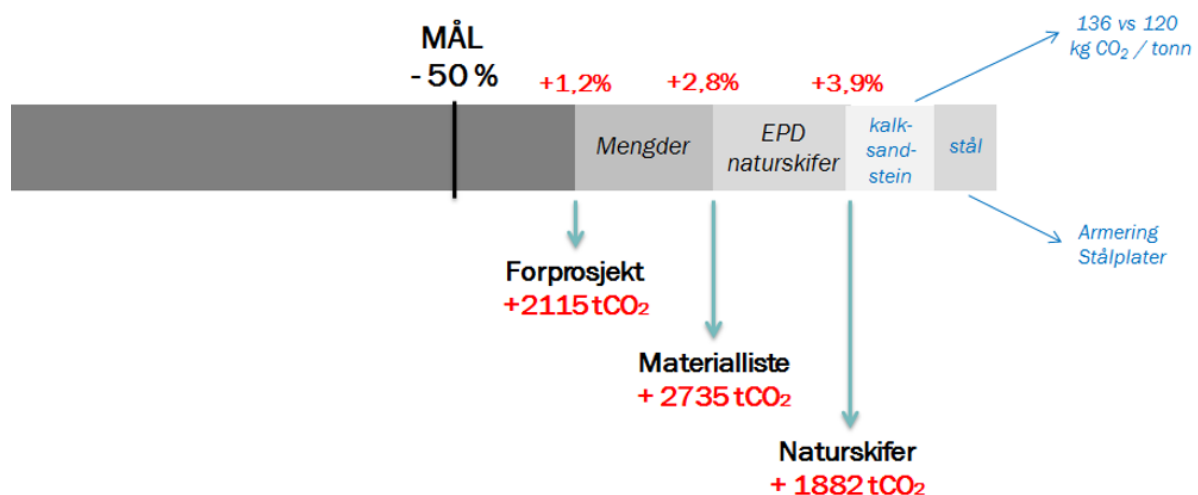
Tabell 4.2: Beskrivelse av bygningsdeler med tilhørende klimagassutslipp for prosjektert bygg.

Bygningsdel	Oppbygging	Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]
Grunn og fundamenter	Bygget benytter stål som spunt, og er fundamentert med pæler i «multicem». Det er benyttet plaststøpte lavkarbonbetongkonstruksjoner for gulv på grunn og for dekke i underetasjene. Lavkarbon ble beskrevet med klart definerte grenseverdier i kontraktene. På tidspunkt for kontraktsetablering var ikke lavkarbonklassene til betongforeningen innført. Isolasjon under gulv på grunn er av typen skumglass.	1,78
Bæresystemer	Bæresystem, søyler og bjelker, er i stål og lavkarbonbetong.	0,40
Yttervegger	For vegger over terreng er det benyttet kompakte perforerte teglvegger kledt med skifer. Det er benyttet leirplater/puss som kledning innvendig. Vinduene, 3-lags, er med aluminiumskarm. Lyshallen har fasade i alabast/Onyx.	1,29
Innervegg	Innervegger er i lavkarbonbetong, perforert tegl eller bindingsverk med hampisolasjon og stålstender, kledt med leirplater/puss.	1,04
Dekker	Dekkene i bygget er av lavkarbonbetong. For gulvbelegg er det benyttet stein, heltre eik eller linoleum. Himling er systemhimling med mineralull eller lyshimling i folie.	2,49
Yttertak	Yttertak består av skumglass-isolasjon, tekket med membran deretter med skifer eller sedum.	1,25
TOTAL		8,3

Figuren under viser fordeling av materialvekt grov inndeling per bygningsdel eller kontrakt ved utarbeidelse av oppdatert prognose i 2016:



Samlet effekt av kjente endringer mellom prosjektert bygg i 2012 og status høsten 2016 ble estimert til totalt omtrent 6000 tonn CO₂ høyere utslipp fra materialer. Disse endringene knyttet til materialer representerte en endring av prognose for total reduksjon av klimagassutslipp fra prosjektert bygg på 48,8 % reduksjon til forventet prognose på ca 45-46 %:



4.1.3. «Som bygget»

Byggefasen ble avsluttet i februar 2021. Sluttrapporter fra utførende ble samlet inn etter hvert som utførende entrepriser ble avsluttet, basert på innkjøpte mengder eller deres beste estimater av leverte mengder materialer til byggeplass. Mottatt underlag for materialer ble registrert i OneClick LCA.

Samlede materialmengder som det foreligger sluttrapport for, utgjør ca 153 710 tonn materialvekt, dvs noe i underkant av prognosen som ble estimert i 2016. Dette viser at dersom prosjekter ønsker å bruke klimagassberegning som et aktivt styringsverktøy, trengs en oppdatering mellom forprosjekt og 'som bygget'.

Med forbehold om metodeulikheter og at beregningen ble registrert i OneClick LCA med byggeår 2020, representerte KGR-omfanget av klimagassutslipp 'som bygget' for materialer 33 500 tonn CO₂, eller **10,8 kg CO₂ / m² * år** når det fordeles på 51 759 m² som er arealet as built.

Tabell 4.3: Beskrivelse av bygningsdeler med tilhørende klimagassutslipp som bygget

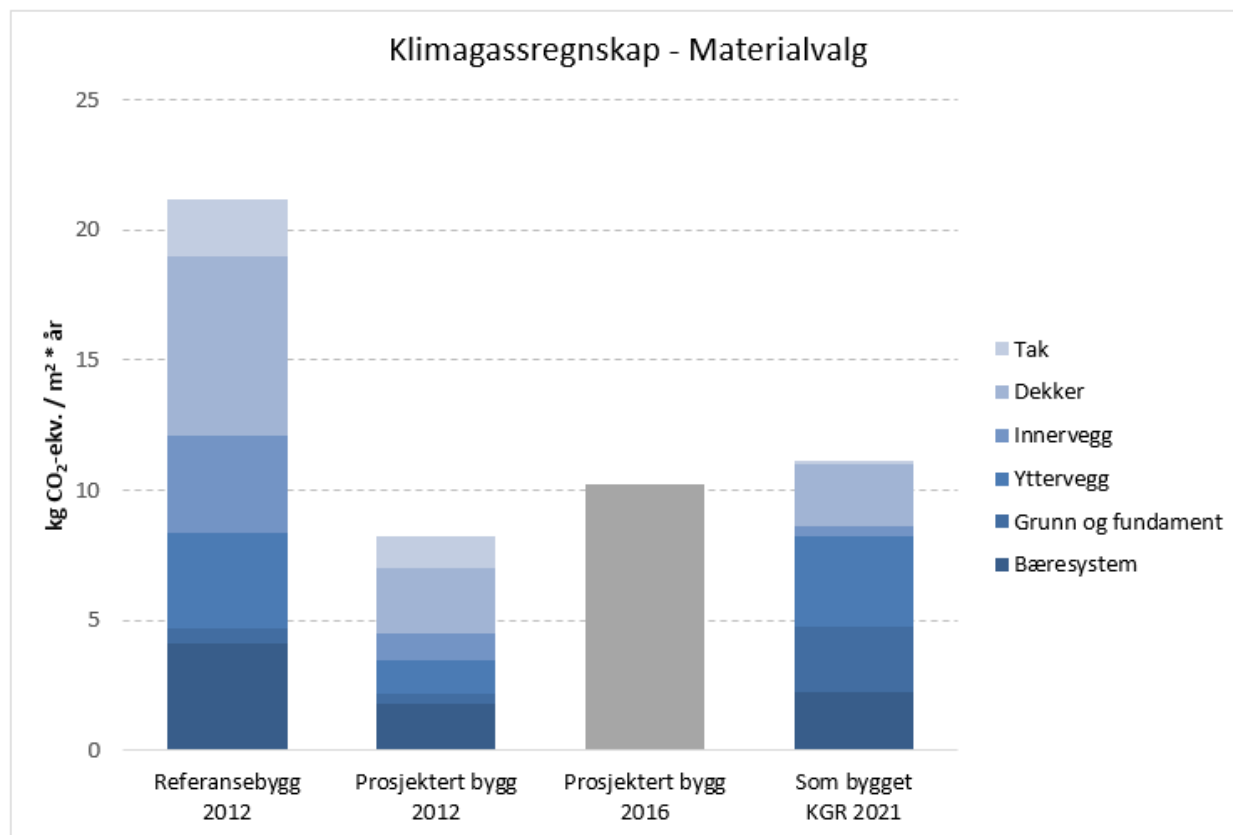
Bygningsdel	Klimagassutslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]
Grunn og fundamenter	2,4
Bæresystemer	2,1
Yttervegger	3,1
Innervegg	0,4
Dekker	2,4
Yttertak	0,1
TOTAL	10,8

Forhold som har endret seg mellom prosjektert bygg i 2012 og ferdigstilt bygg i 2021:

- Betydelig høyere utslipp fra grunnarbeider enn forventet (EPD for peling og stabilisering).
- LCA-data ble innhentet for deler av fasadeglasset på Lyshallen. Estimert utslippsfaktor for fasadekonstruksjonen forutsetter at alt glass har lik utslippsfaktor, hvilket ikke er tilfelle, men reelle tall finnes ikke.
- Mengden kapp for fasadeskifer ble betydelig høyere enn planlagt og deklartert i prosjektspesifikk EPD. Kontraktsfestet mengde kapp var 3 %, men ble endret til 16 %.
- Høyere EPD-verdier for armeringsjern og stålplater enn forventet, tross samsvar med krav om gjenvinningsgrad for råvarer.
- Registrerte avfallsmengder i prosjektet kan i liten grad benyttes som kontrollverktøy for beregning av kapp og svinn i prosjektet, da det ble etablert én felles avfallslogistikk for all aktivitet tidlig i byggefasen. Rapporterte avfallsmengder inkluderer nybygg, riving av eksisterende tunge konstruksjoner, avfall fra brukerstyrsprosjekt samt en del uforutsette materialmengder som ikke var inkludert i opprinnelig avfallsplan. Totale avfallsmengder ble betydelig høyere enn opprinnelig målsetning (160 kg/m² BTA vs opprinnelig mål om 25 kg/m² BTA for nybygget isolert sett). Merk at KGR ikke beregner utslipp tilknyttet avfall (fase A5). Det er ikke foretatt nærmere vurderinger av rapporterte mengder eller foretatt justering av utslipp mellom A1-A3 og A5 i klimaregnskapet.

4.2.Sammenligning av alternativene – klimagassutslipp fra materialbruk

Beregningene viser at for prosjektet sammenlignet med referanseberegningen oppnås utslippsreduksjoner på 61 % for prosjektert og **48 %** som bygget.



Figur 5.1: Fordeling av klimagassutslipp pr konstruksjon for de enkelte prosjektfasene

Tabell 5.4: Fordeling av klimagassutslipp pr. bygningsdel for ulike prosjektfaser:

	Referansebygg	Prosjektert bygg		"Som bygget"	
	kg CO ₂ -ekv./år	kg CO ₂ -ekv./år 2012	kg CO ₂ -ekv./år 2016	kg CO ₂ -ekv./år 2021	% red saml. med ref
Grunn og fundamenter	0,57	0,40	Estimert prognose	2,4	Estimert fordeling i KGR etter eksport fra OneClick LCA
Bæresystemer	4,09	1,78		2,1	
Yttervegger	3,68	1,29		3,1	
Innervegg	3,73	1,04		0,4	
Dekker	6,91	2,49		2,4	
Yttertak	2,20	1,25		0,1	
Total	21,2	8,3	10,2	10,8	
Reduksjon vs referansebygg		61 %	52 %	47,7 %	

5. TRANSPORT

5.1. Beregningsalternativer – forutsetninger og delresultater

Klimagassutslipp fra transport inkluderer utslipp fra transport av ansatte og besøkende for bygningen i en driftsperiode på 60 år. Beregningene forutsetter transportmiddelfordeling for brukerne og teknologier for de ulike transportmidlene. Nærmere om forutsetninger for hvert av beregningsalternativene er gitt i de påfølgende avsnittene.

5.1.1. Referansebygg

Referansebygg og prosjektert bygg ble beregnet i klimagassregnskap.no versjon 4.1. Versjonen var basert på reisevanedata fra 2009. Åpningsår og første transportår var i 2012 antatt å bli 2019.

Forutsetninger:

- Kulturbygg
- Antall ansatte: 273 personer
- Antall besøkende: 6000 i år 2019
- Gjennomsnittlig lokalisering uten særskilte transporttiltak
- Utslippsfaktor for elektrisitet = ZEB-funksjon (2-gradersmålet) = EU-mål

Turproduksjon for besøkende er to turer per besøk. Det er benyttet standardtall for reiser per døgn for besøkende til kulturbygg (1,65) og at museet er åpent 300 av årets 365 dager. For øvrig er gjennomsnittsverdier for transportmiddelfordeling for Oslo kommune benyttet.

Tabell 5.1: Transportmiddelfordeling for referansebygg.

Transportmiddelfordeling [% av alle reiser per dag]	Gang/sykel	Kollektiv	Bil
Arbeid	16	50	34
Annet (besøkende)	36	19	44

Tabell 5.2: Klimagassutslipp fra transport, fordelt på transportmidler, for referansebygg.

Klimagassutslipp	kg CO ₂ -ekv/m ² /år
Bil	17,9
Kollektiv – buss	3,0
Kollektiv – skinnegående	0,3
Varetransport	0,8
Sum	22,1

5.1.2. Prosjektert bygg

Standardverdier for «kontor» omfatter også kulturbygg, og er benyttet for ansatte. For besøkende er det benyttet samme verdi for turproduksjon som referansebygg (1,65 turer / døgn).

Lokaliseringen er Oslo sentrum. Reisemiddelfordeling er benyttet for arbeidsplasser i Oslo sentrum. Det er grovt sett lagt til grunn en dobling av kollektivandel sammenlignet med referanse, og at andelen gang / sykkel holder seg stabil.

For ansatte ble bussbelegg satt til 20 passasjerer per buss fordi det ble antatt at de fleste reiser i rush, og at belegget da er høyere. Andel skinnegående trafikk ble satt til 67 % for kollektivreiser til sentrum. For besøkende ble bilbelegget satt til 1,6 personer per bil som følge av begrenset tilgang til parkering og høyere belegg for fritidsreiser.

Det var fastsatt et krav om 3-5 parkeringsplasser for HC-brukere i forslag til reguleringsbestemmelser. Det er ikke etablert andre parkeringsmuligheter for museet, men det finnes

avgiftsbelagte parkeringstjenester i nabolaget. Tilpasningsfaktoren for parkering ble satt til 0,3, da parkering i sentrum er dyrt og trolig en begrensende faktor for bilbruk.

Tabell 5.3: Transportmiddelfordeling når begrensninger i parkeringsmuligheter er hensyntatt.

Transportmiddelfordeling [% av alle reiser per dag]	Gang/sykkel	Kollektiv	Bil
Arbeid	16	67	16
Annet (besøkende)	35	40	25

Tabell 5.4: Klimagassutslipp «som prosjektert» når begrensninger i parkeringsmuligheter er hensyntatt.

Klimagassutslipp	Arealspesifikt utslipp [kg CO ₂ -ekv/m ² *år]
Bil	7,1
Kollektiv – buss	2,7
Kollektiv – skinnegående	2,3
Varetransport	0,8
Sum	12,8

5.1.3. «Som bygget»

Ingen endringer.

5.1.4. «I drift» (etter 2 år)

Klimagassberegninger for transport antas utført i 2024, etter 2 års full ordinær drift etter åpning for publikum.

5.2.Sammenligning av alternativene – klimagassutslipp fra transport

Beregningen viser at man oppnår en reduksjon av klimagassutslipp på 42 % ved de tiltak som er gjennomført for transport.

Tabell 5.7: Fordeling av beregnede klimagassutslipp for transport for nytt Nasjonalmuseum.

	Referansebygg	Prosjektert bygg	
	kg CO ₂ -ekv./år	kg CO ₂ -ekv./år	% red saml. med ref
Bil	17,9	7,1	
Kollektiv – buss	3,0	2,7	
Kollektiv – skinnegående	0,3	2,3	
Varetransport	0,8	0,8	
Sum	22,1	12,8	42

VEDLEGG

Vedlegg 1: Underlag beregninger for energi

«Som bygget»:

- *Revidert energiberegning med informasjon om trykkmålinger etc:
PNN Energiberegning rev 02.pdf*

Vedlegg 2: Underlag beregninger for materialer

«Som bygget»:

- *Materialmengder og dokumentasjon på utslippsfaktorer:
PNN klimaregnskap som bygget materialer OneClick LCA 2021-02-26.xlsx*

Vedlegg 3: Underlag beregninger for transport

«Som bygget»:

- *Ingen vedlegg*