

Notat

20.08.2025

Projekt nr.: 101284
+45 60605660
efsm@arteliagroup.dk
kbjo@arteliagroup.dk

Projekt: Airmaster

Emne: LCA af ventilationsprincipper

Revision: A

1 Notatets formål

Nærværende notat har til formål at sammenligne klimabelastningen fra en decentral ventilationsløsning med en central løsning. Klimabelastningen vurderes jf. beregningsmetoden i Bygningsreglementet (BR18), men sammenlignes dog med en detaljeret beregning, hvor klimabelastningen fra samtlige komponenter i den centrale løsning inkluderes. Klimabelastningen fra de forskellige ventilationsprincipper sammenholdes desuden med klimabelastningen fra en referencebygning.

Analysen tager udgangspunkt i et bygningsudsnit på Ellemarkskolen i Køge, hvor der ved renovering er installeret decentrale Airmaster enheder i 31 klasselokaler. Som alternativ til dette konstrueres en traditionel centrløsning, som udover et centralt ventilationsaggregat, også indeholder ventilationskanaler, armaturer, spjæld, lyddæmpere mv. På baggrund af dette er materialemængder opgjort.

Til vurdering af ventilationsprincippernes klimabelastning er der i videst muligt omfang anvendt produktspecifikke miljøvaredeklarationer (EPD), men hvor dette ikke har været muligt, er der anvendt branchedata og dernæst generiske materialedata fra BR18 bilag 2, tabel 7. Dette betyder, at resultatet af analysen er en konkret betragtning af to ventilationsprincipper med de angivne materialemængder og dermed ikke en generel betragtning af ventilationsprincipper.

2 Opsummering

Regnes klimabelastningen iht. BR18, viser analysen, at den samlede CO₂ belastning for en decentral ventilationsløsning inkl. drift i en 50-årig betragtningsperiode er 36% lavere end for en central VAV-løsning. Medtages samtlige komponenter i VAV-løsningen er klimabelastningen for den decentrale ventilationsløsning 42 % lavere. Bidraget til CO₂ belastningen fra den centrale løsning kommer udelukkende fra aggregaterne, indtag og afkast gennem ydervæg samt elforbrug til drift og opvarmning, mens de centrale løsninger yderligere har bidrag fra fordelingskanaler, spjæld, armaturer og fjernvarme til opvarmning.

Ses ventilationsprincipperne i sammenhæng med en bygning, viser analysen at den centrale ventilationsløsning inkl. driftsenergi udgør omkring 9-10 % af den samlede CO₂ belastning fra en bygning, mens det for den decentrale løsning er omkring 6 %.

Artelia A/S
Mariane Thomsens Gade 1C, 1.
DK-8000 Aarhus C
+45 8750 8700
CVR: 64 04 56 28
www.arteliagroup.dk

3 Afgrænsning for livscyklusvurderinger

I de følgende afsnit præsenteres resultaterne for tre livscyklusvurderinger. Disse er baseret på specifikke miljødata for et decentralt ventilationsanlæg fra Airmaster (AM1000 og AM500) og branchedata for et centralt ventilationsanlæg.

I gældende bygningsreglement afgrænses byggematerialer iht. bilag 2, tabel 6, hvilket betyder at livscyklusberegninger undlader byggevarer som montagebøjler, armaturer, VAV-spjæld mm. Til sammenligning med et decentralt ventilationsprincip analyseres der derfor både på et centralt ventilationsprincip iht. BR18 samt et detaljeret ventilationsprincip, hvor alle komponenter indgår.

Analysen er således udelukkende en vurdering for ventilationsanlæg med samme mængder som for de undersøgte, og resultater og tal præsenteret i afsnittet om klimabelastning tjener derfor udelukkende det formål at vise potentialet i at regne mere detaljeret på den klimamæssige betydning af installationerne i vores bygninger.

4 Livscyklusvurderinger i dansk kontekst

I Danmark indgår livscyklusvurderinger (LCA) som en del af BR18's klimakrav. Ved opførelsen af bygninger, som er omfattet af reglerne om energiramme i § 259 eller § 260, skal der foretages en beregning af bygningens klimapåvirkning i et livscyklusperspektiv.

Jf. BR18 §298 stk. 1 må bygninger med et opvarmet etageareal over 1000 m² ikke overstige en klimapåvirkning på 12,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år. Klimapåvirkningen opgøres for en betragtningsperiode på 50 år fra byggeriets færdigmelding. Ydermere kan bygninger jf. BR18 §297 stk. 9 opfylde lavemissionsklassen, hvis klimapåvirkningen maksimalt er 8,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år.

LCA indgår desuden i certificeringsordningen DGNB, som udbydes og styres af Rådet for Bæredygtigt Byggeri. Her anvendes LCA som et væsentligt værktøj til at reducere en bygnings klimabelastning og forbrug af ikke-fornybare ressourcer. LCA-resultatet indgår i DGNB 2023 med 9,5% af den samlede score og i takt med et øget fokus på klimabelastninger, forventes det at indgå som en større del i den kommende manual fra 2025.

DGNB-certificeringen tildeler desuden point for anvendelse af produktspecifikke EPD'er, hvilket har en væsentlig betydning for det samlede LCA-resultat og dermed den samlede DGNB score.

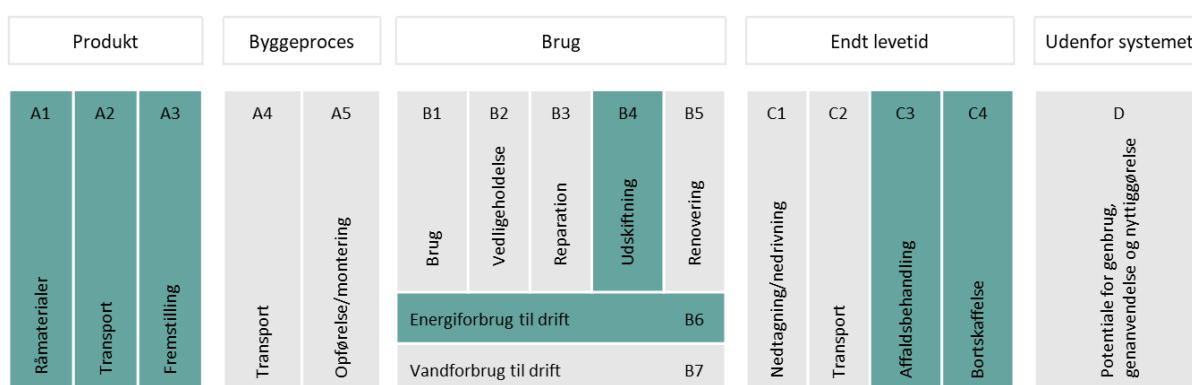
5 Undersøgelse af klimapåvirkning

I de følgende afsnit opstilles beregningsforudsætningerne for den miljømæssige analyse af de to omtalte ventilationsprincipper.

5.1 Beregningsforudsætninger

Analysen anvender forudsætninger iht. BR18 og udføres i beregningsprogrammet LCAbyg¹, som er udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, og udgivet af Trafik- og Byggestyrelsen. Klimapåvirkningen opgøres jf. BR18 i kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år for en betragtningsperiode på 50 år fra byggeriets færdigmelding. Bygningernes reelle levetid kan imidlertid være forskellig fra betragtningsperioden. Til bestemmelse af levetider af byggevarer anvendes BUILD levetidstabel, SBI 2021:32, men for ventilationsanlæg er der i samarbejde med Airmaster vurderet en levetid på 50 år, med udskiftning af ventilatorer efter 25 år.

I analysen er produktionsfaserne A1-A3, udskiftning B4, brugsfasen B6 samt faserne C3-C4 for endt levetid (EoL) medtaget jf. BR18, se Figur 1.

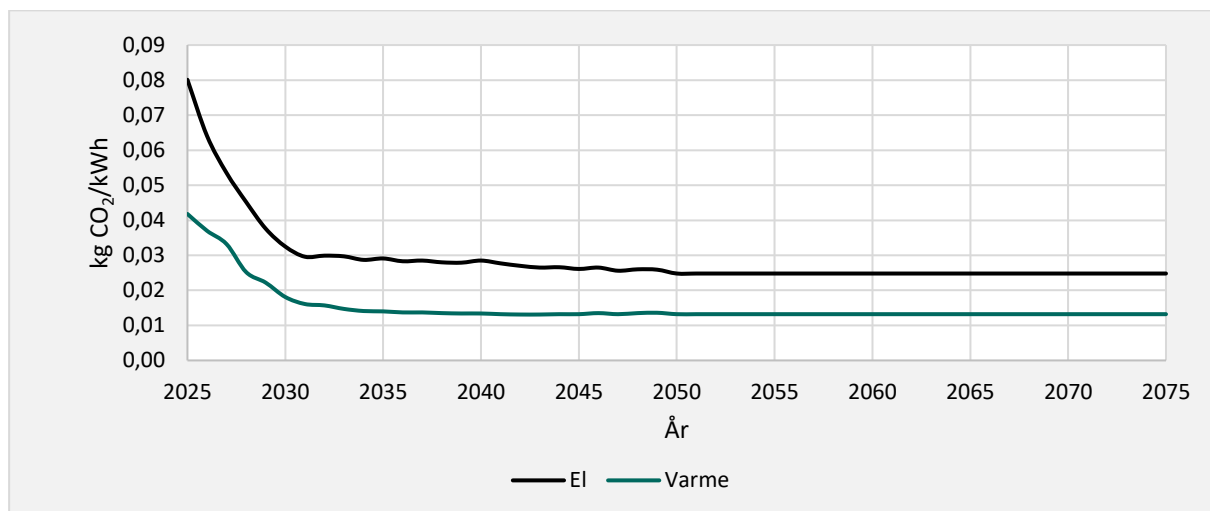


Figur 1. Inkluderede livscyklusfaser iht. gældende bygningsreglement markeret med mørk grøn.

Beregningen omfatter ikke byggeprocessen (A4-A5) jf. BR18 §297. Tilsvarende indgår klimapåvirkningen fra en forudgående nedrivning ikke i den nye bygnings livscyklus.

I brugsfasen B6 regnes der med fremskrivning af emissionsfaktorerne for el og fjernvarme iht. de nye emissionsfaktorer der bliver en del af BR18 i 2025. Fremskrivningen er illustreret i Figur 2 og er et udtryk for hvordan den danske energisammensætning forudsættes at være i årene frem mod 2075.

¹ <https://www.lcabyg.dk/>



Figur 2 Fremskrivning af emissionsfaktorer 2025-2075

For at illustrere hvor stor en andel selve ventilationen udgør af det undersøgte skoleafsnits samlede klimabelastning, er der, fordi der ingen data er for resten af byggeriet, indhentet data for en referencebygning.

Tabel 1 gengiver referencebygningens klimabelastning for materialer og drift ekskl. bidrag fra materialer og driftsenergi til ventilationsanlægget. Dataene er et gennemsnit over 22 DGNB certificerede kontorbygninger² og forudsættes repræsentative for det undersøgte bygningsudsnit på 2.630 m². Driftsenergiens belastning er beregnet ud fra de nye emissionsfaktorer med fremskrivning 2025-2075.

Tabel 1 CO₂ belastning pr. m² pr. år for referencebygning ekskl. ventilation

Bygning	Materialer	Drift, varme	Drift, el
Referencebygning	6,9 kg CO ₂ /m ² år	0,3 kg CO ₂ /m ² år	0,03 kg CO ₂ /m ² år

5.2 Datakvalitet

Generelt er der i videst muligt omfang anvendt produktspecifikke miljøvarerdeklaration (EPD'er), og hvor dette ikke er muligt, er der anvendt branche data og dernæst det generiske datagrundlag iht. BR18, bilag 2, tabel 7.

5.3 Decentral ventilationsløsning

Den decentral ventilationsløsning består af decentrale Airmaster anlæg hvis klimabelastning er bestemt i Airmasters miljøvarerdeklaration. I analysen er der medregnet 30 stk. AM1000 og 1 stk. AM500 til fordeling i 31 klasselokaler. Se bilag A for plantegning over bygningsudsnittet med

² Klimapåvirkning fra 60 bygninger, SBI 2020:04, Regitze Kjær Zimmermann et al., 2020

angivelse af betragtede klasselokaler. Anlæggene monteres som udgangspunkt direkte i de rum, der ventileres.

Nedenfor fremgår komponenter der indgår i beregningen for den decentrale løsning, samt forudsatte levetider.

Tabel 2 Komponent og levetid for 1 stk. AM-ventilationsanlæg

Komponent	Datakvalitet	Mængde	Levetid	Udskiftninger
AM1000	Produkt EPD, Airmaster	322,4 kg	50 år	0
AM500	Produkt EPD, Airmaster	145,3	50 år	0

Ventilatorer indregnes som 6 % af CO₂-aftrykket, på baggrund af detaljeret materialelegennemgang ifm. udarbejdelse af EPD for AM1000 og AM500. Ventilatorer udskiftes efter 25 år.

For hvert Airmaster anlæg er der yderligere medregnet 80 cm ventilationskanal til indtag og afkast gennem ydervæggen. Kanaldiameteren er Ø315 for AM1000 hhv. Ø250 for AM500, se Tabel 3.

Tabel 3 Komponent og levetid for indtag- og afkastkanaler

Ventilationskomponent	Datakvalitet	Total mængde	Levetid	Udskiftninger
Ventilationskanaler	Branche EPD	135 kg	50 år	0

Energiforbruget til den decentrale ventilationsløsning er estimeret af Airmaster og gengivet i nedenstående Tabel 4, både som tilført energi og tilført primærenergi. Der er taget udgangspunkt i en gennemsnitlig drift med en konstant luftmængde på 89% af den dimensionerende luftmængde. Driftstiden er 8.00-16.00 i 200 dage om året.

Tabel 4 Driftsforbrug til decentralt ventilationsprincip

Energiforbrug	SEL-værdi/ varmegenvinding	Tilført energi [kWh/år]	Tilført energi [kWh/m ² år]
El til styring og ventilatorer - AM1000 - AM500	0,612 kJ/m ³ 0,565 kJ/m ³	6.967	2,65
El til opvarmning - AM1000 - AM500	83,2% 83,8%	3.097	1,18
Samlet		10.064	3,83

5.4 Central ventilationsløsning

Til sammenligning af den decentrale ventilationsløsning konstrueres en ventilationsløsning med et centralt VAV-anlæg. Da Ellemarkskolen er en gammel skole, er bygningen ikke nødvendigvis egnet til en central løsning med store fordelingskanaler, hvorfor ventilationsaggregat og fordelingskanaler forudsættes placeret på taget. Yderligere er de betragtede klasselokaler i den decentrale løsning skævt fordelt, hvorfor den fiktive central-løsning forudsætter, at lokalerne er mere samlede. Dog er areal og antal klasselokaler fastholdt. I bilag B er den centrale VAV-løsning optegnet på en plantegning, som illustrerer fordelingen og udbredelsen.

Gældende beregningsmetode jf. BR18, forskriver en afgrænsning, der undlader materialer som armaturer, VAV-spjæld, montagebøjler mm. Der er således lavet to beregninger for hhv. en central ventilationsløsning iht. BR18 og en detaljeret beregning af en central ventilationsløsning, hvor alle byggevarer der er nødvendige for systemet medregnes.

Tabel 5 oplister den forudsatte opbygning af den centrale ventilationsløsning.

Tabel 5 Opbygning af centralt ventilationsprincip

Beskrivelse	Uddybning	Total mængde	Vægt pr. enhed
Teknikum - VAV-aggregat	Dimensionerende luftmængde 29.000 m ³ /h	1 stk.	3.420 kg/stk.
Distributionssystem - Ventilationskanaler - Isolering - *Montagebøjler - *Brandspjæld	Varierende størrelse afhængig af luftmængde 100mm lamelmåtte udvendige kanaler/anlæg Gennemsnitligt ophæng pr. 2,5 m 5 brandsektioner, 1 spjæld pr. sektion	1250 m 120 m ³ 557 stk. 5 stk.	7,6 kg/lbm. 28 kg/m ³ 0,5 kg/stk. 6,4 kg/stk.
Store klasselokaler - *Indblæsningsarmatur - *Udsugningsarmatur - *Trykfordelingsboks - *VAV-spjæld - *Lyddæmper	30 klasselokaler 4 stk. pr. klasselokale 2 stk. pr. klasselokale 4 stk. pr. klasselokale 1 stk. pr. klasselokale 2 stk. pr. klasselokale	120 stk. 60 stk. 120 stk. 30 stk. 60 stk.	2,8 kg/stk. 2,8 kg/stk. 7,3 kg/stk. 2,9 kg/stk. 4,0 kg/stk.
Lille klasselokale - *Indblæsningsarmatur - *Udsugningsarmatur - *Trykfordelingsboks - *VAV-spjæld - *Lyddæmper	1 klasselokale 2 stk. pr. klasselokale 1 stk. pr. klasselokale 2 stk. pr. klasselokale 1 stk. pr. klasselokale 2 stk. pr. klasselokale	2 stk. 1 stk. 2 stk. 1 stk. 2 stk.	2,8 kg/stk. 2,8 kg/stk. 7,3 kg/stk. 2,9 kg/stk. 4,0 kg/stk.

**Indgår kun i den detaljeret beregning*

Nedenfor fremgår komponenter der indgår i beregningen for den centrale ventilationsløsning, samt forudsatte levetider.

Tabel 6 Komponent og levetid for 1 stk. centralt VAV-aggregat af 29.000 m³/h

Komponent	Datakvalitet	Mængde	Levetid	Udskiftninger
VAV-aggregat	Branche EPD	3.420 kg	50 år	0

Ligeledes den decentrale løsning indregnes ventilatorer som 6 % af CO₂-aftrykket med udskiftning efter 25 år.

Tabel 7 Komponenter og levetider for distributionssystem

Ventilationskomponent	Datakvalitet	Total mængde	Levetid	Udskiftninger
Ventilationskanaler	Branche EPD	9.454 kg	50 år	0
Isolering	Produkt EPD, Isover Climcover Lamella	3.360 kg	50 år	0
*Armaturer	Produkt EPD, Swegon	512 kg	25 år	1
*Trykfordelingsbokse	Produkt EPD, Swegon	891 kg	50 år	0
*VAV-spjæld	Produkt EPD, Wildeboer	31 stk.	50 år	0
*Lyddæmper	Produkt EPD, Swegon	233 kg	50 år	0
*Brandspjæld	Produkt EPD, Wildeboer	5 stk.	50 år	0
*Montagebøjler	Generisk, stål	279 kg	50 år	0

**Indgår kun i den detaljeret beregning*

For den centrale ventilationsløsning er der forudsat et energiforbrug til ventilation og opvarmning som angivet i Tabel 8. Der er for VAV-løsningen forudsat samme drift som for den decentrale løsning. Dvs. konstant drift i tidsrummet 8.00-16.00, 200 dage om året og en luftmængde på 89% af den dimensionerende luftmængde. Der vil være et øget fjernvarmeforbrug pga. varmetab fra kanaler og aggregat.

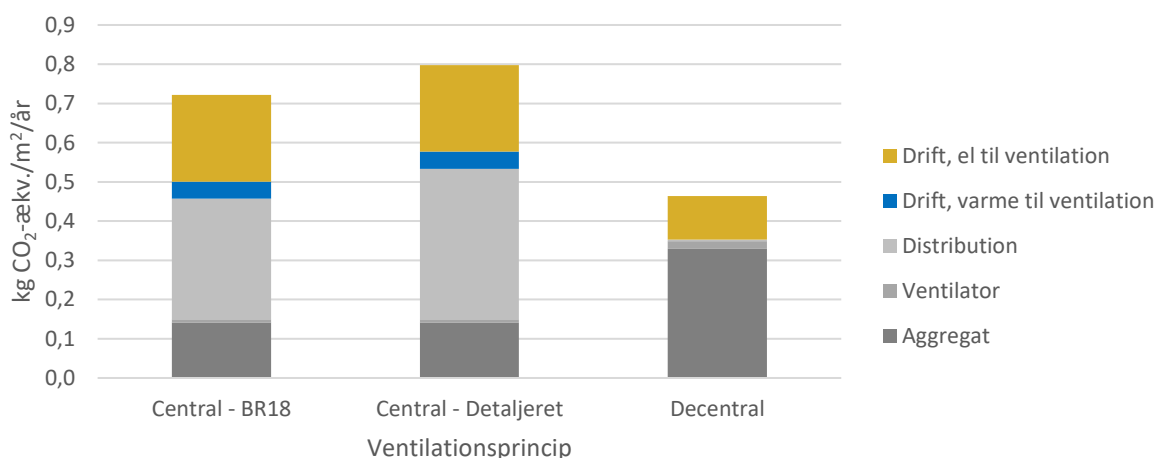
Tabel 8 Driftsforbrug til centralt ventilationsprincip

Energiforbrug	SEL-værdi/ varmegenvinding	Tilført energi [kWh/år]	Tilført energi [kWh/m ² år]
El til styring og ventilatorer	1,74 kJ/m ³	19.960	7,59
Fjernvarme til opvarmning	82,5%	7.434	2,83

5.5 Resultater

Resultatet af LCA-beregningerne over en 50-årig periode er gengivet i Figur 3, Figur 4 og Figur 5. Her ses det, at den samlede CO₂ belastning fra den decentrale ventilationsløsning inkl. drift er 0,46 kg CO₂/m²/år. Den centrale ventilationsløsning iht. BR18 udleder 0,72 kg CO₂/m²/år, mens den detaljeret beregning af den centrale ventilationsløsning viser en udledning på 0,80 kg CO₂/m²/år.

Den decentrale løsning udleder således 36% mindre CO₂ over 50 år sammenlignet med den centrale løsning iht. BR18 og 42% mindre end hvis der regnes på alle komponenter.



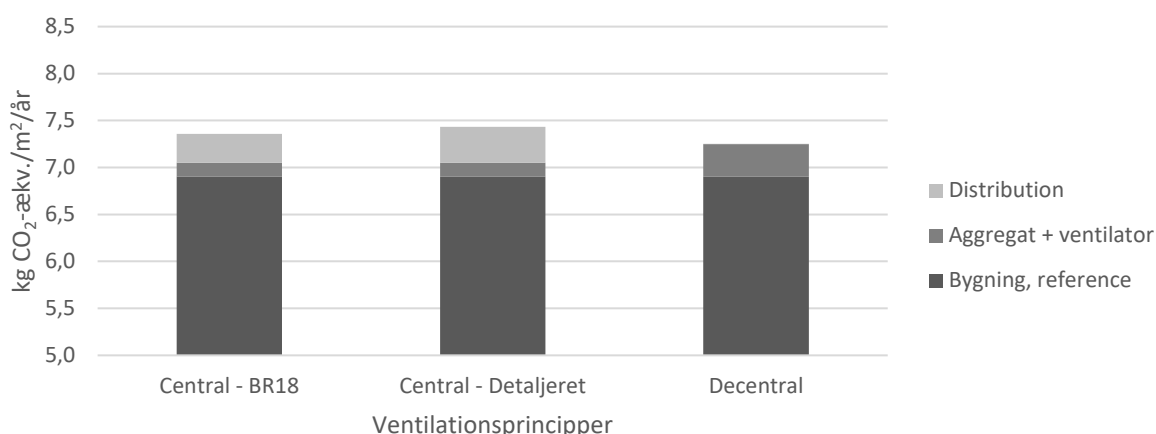
Figur 3 Samlet CO₂ belastning fra hhv. centralt iht. BR18, centralt detaljeret og decentralt ventilationsprincip

Bidraget til CO₂ belastningen fra de decentrale løsninger kommer primært fra aggregaterne og elforbrug til ventilation, mens de centrale løsninger yderligere har et stort bidrag fra fordelingskanaler, spjæld, armaturer samt fjernvarme til opvarmning.

Bidraget fra drift til ventilation udgør for den centrale VAV-løsning iht. BR18 37% af den samlede klimabelastning over 50 år og 33 % i den detaljerede beregning. For den decentrale ventilationsløsning udgør driften 24 %.

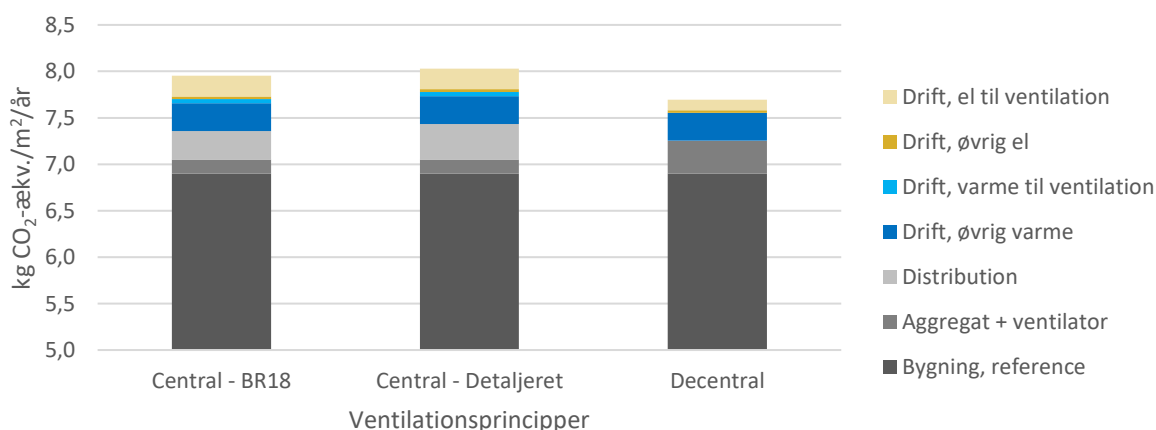
Hvis aggregaterne betragtes alene, er klimabelastningen fra Airmaster enhederne 2,3 gange så stor som for centralaggregatet. Airmaster enhederne kan dog anvendes alene, mens centralaggregatet har brug for et distributionssystem, hvorfor klimabelastningen fra materialerne til den decentrale løsning ender med at være 23 % mindre end den centrale VAV-løsning iht. BR18 og 34 % mindre end den detaljerede beregning af VAV-løsningen.

Figur 4 viser CO₂ belastningen fra ventilationsprincipperne vist i sammenhæng med CO₂ belastningen fra en referencebygning ekskl. drift. Her ses det, at den decentrale ventilationsløsning udgør 5 % af den samlede CO₂ belastning for materialer i en bygning over en 50-årig periode, mens de centrale VAV-løsninger udgør hhv. 6 % og 7 %.



Figur 4 CO₂ belastning fra ventilation og referencebygning.

Medregnes energiforbruget til drift, ses det på Figur 5, at bidraget fra den decentrale ventilationsløsning inkl. driftsenergi udgør 6 % af den samlede CO₂ belastning, mens det for de centrale løsninger er hhv. 9 % for beregningen iht. BR18 og 10 % for den detaljerede beregning. Desuden ses det, at CO₂ udledningen fra elforbruget til drift af ventilationsanlæggene udgør størstedelen af den samlede CO₂ udledning fra el. Dog udgør CO₂ udledningen fra fjernvarme til øvrigt forbrug, herunder rumopvarmning og varmt brugsvand, langt størstedelen af CO₂ udledningen fra det samlede driftsforbrug.



Figur 5 CO₂ belastning fra ventilation, referencebygning og driftsenergi

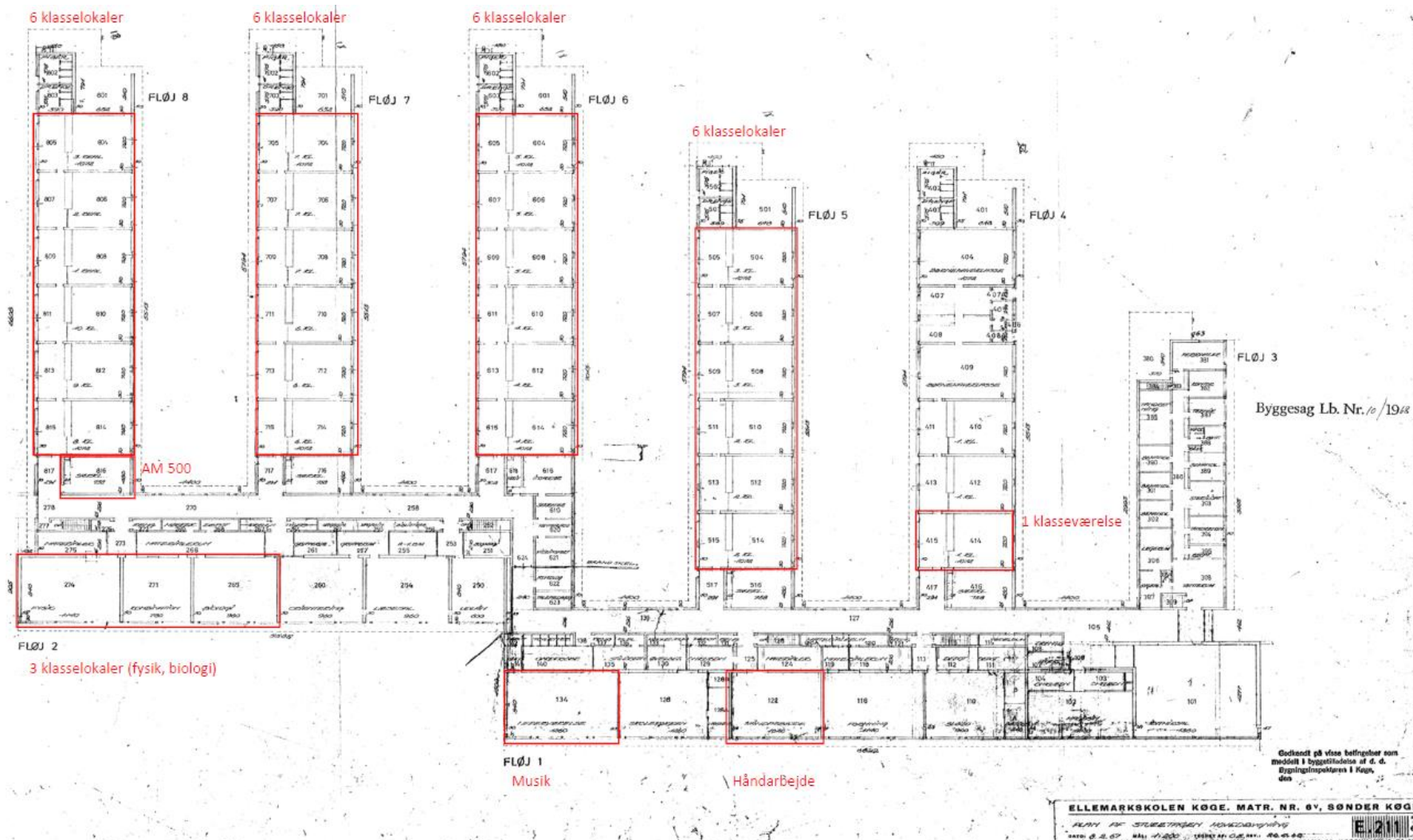
Det lavere bidrag fra ventilation i den decentrale løsning bevirker desuden af klimabelastningen fra den samlede bygning falder med 3 % iht. BR18 fra 7,9 kg CO₂-ækv./m²/år til 7,7 kg CO₂-ækv./m²/år samt 4 % ved den detaljerede beregning fra 8,0 kg CO₂-ækv./m²/år til 7,7 kg CO₂-ækv./m²/år.

6 Faktiske forhold

Som beskrevet i tidligere afsnit, er beregningerne i nærværende notat, baseret på så mange produkt-specifikke EPD'er som muligt, herunder bl.a. Airmasters anlæg AM1000 og AM500, samt branchedata for centrale aggregater og flere komponenter i distributionen.

Generelt gælder således, at beregninger og konklusioner i nærværende notat ikke kan generaliseres, men kun viser en tendens og et potentiale i at regne mere detaljeret på klimabelastningen fra installationerne i vores bygninger.

Bilag A – Plantegning decentral ventilationsløsning



Bilag B – Plantegning central ventilationsløsning

