



AALBORG UNIVERSITET

LIVSCYKLUSVURDERING AF VARMEPUMPER

Rina Raagaard

Masteropgave 4. juni 2025



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Aalborg Universitet København
A. C. Meyers Vænge 15
2450 København SV
Danmark

Sekretær: Lene Wenstrøm Jørgensen
Telefon: 99 40 97 34
Lene Wenstrøm Jørgensen

Studenterrapport

Uddannelse:

Master i bygningsfysik

Semester:

04

Titel på masterprojekt:

Livscyklusvurdering af luft-til-luft og luft-til-vand varmepumper til enfamiliehuse

Projektperiode:

1. februar 2025 – 4. juni 2025

Vejledere:

Alireza Afshari

Kai Kanafani

Studerende:

(Rina Raagaard)

Antal normalsider: 55

Afleveringsdato: 4. juni 2025

Resumé:

Formålet med denne rapport er at analysere miljøpåvirkningen fra luft-til-luft og luft-til-vand varmepumper anvendt i enfamiliehuse med et særligt fokus på deres globale opvarmningspotentiale (GWP).

Baggrunden er det stigende krav til både energiforbrug og klimabelastninger i bygningsreglementet samt EU-strategien REPowerEU, der fremmer udbredelsen af varmepumper som alternativ til fossile energikilder.

Opgaven anvender livscyklusvurderinger (LCA) baseret på verificerede type III miljøvaredeklarationer og energiberegninger i Be18 for at evaluere varmepumpernes bidrag til bygningens energiramme og klimagrænse.

Et centralt emne er på kølemidlernes rolle og deres betydning for varmepumpers klimapåvirkning, hvor især F-gassers lækage og GWP-værdi analyseres. Herunder vurderes betydningen af stemtype (split vs. monobloc) og styringer (on/off vs. inverter) i forhold til lækagerisiko og energieffektivitet.

Der gennemføres en vurdering af varmepumpers egnethed i forskellige boligtyper og bygningssituationer. Det konkluderes bl.a. at LTV-varmepumper er bedst egnede til nybyggeri med gulvvarme, mens LTL-varmepumper kan være fordelagtige i mindre boliger suppleret med solceller eller solfangere.

Indholdsfortegnelse

1	FORORD	5
2	RESUME/ABSTRACT	6
2.1	Dansk	6
2.2	English	6
3	INDLEDNING	8
3.1	Problemformulering	9
3.2	Afgrænsning	9
3.3	Læsevejledning	10
4	TEORI	11
4.1	Varmepumper	11
4.1.1	Den grundlæggende fysik bag varmepumper	13
4.1.2	De luftbårne varmepumpers grundkomponenter:	16
4.1.3	Monobloc kontra Splitsystem	17
4.1.4	Varmt brugsvand	19
4.1.5	Varmepumpens energiforbrug	21
4.1.6	Kølemidler	26
4.1.7	Dimensionering af varmepumper	28
4.1.8	Hvornår skal man vælge en LTL varmepumpe?	33
4.1.9	Hvornår skal man vælge en LTV varmepumpe?	34
4.2	Energikrav	36
4.2.1	Bygningsreglementets energikrav	36
4.3	Klimakrav	40
4.3.1	Livscyklusvurderinger og deres modulære opbygning	40
4.3.2	Miljøpåvirningskategorier	42
4.3.3	Bygningsreglementets klimakrav	46
4.3.4	Byggematerialers miljøvaredeklaration	48
4.3.5	Generisk datagrundlag	49

4.3.6	Relationen mellem EPD og PEP	49
4.3.7	Kølemidlers potentiale for global opvarmning	51
4.3.8	Hvilke moduler påvirkes af varmepumpenes kølemiddel	53
4.3.9	Udfasningen af problematiske kølemidler	56
4.4	Miljøvaredeklaration af varmepumper iht. PEP	60
4.4.1	Produktkategoriregler for varmepumper iht. pep	60
4.4.2	Produktspecifikke regler for varmepumper iht. pep	60
5	ANALYSE, METODE OG RESULTATER.....	66
5.1	Analyse af energirammen med Be18.....	66
5.1.1	Metode.....	66
5.1.2	Resultater	81
5.1.3	Delkonklusion	89
5.2	Analyse af Miljøvardeklarationer.....	90
5.2.1	Metode.....	90
5.2.2	Resultater	92
5.3	Varmepumpens procentdel af klimagrænsen	98
5.3.1	Metode.....	98
5.3.2	Resultater	100
5.3.3	Delkonklusion	103
6	DISKUSSION	106
7	KONKLUSION.....	107
8	PERSPEKTIVERING.....	108
9	LITTERATURLISTE.....	110

1 FORORD

Denne Masteropgave er sidste led i Masteruddannelsen Bygningsfysik ved Aalborg Universitet.

Formålet med arbejdet har været at få en forståelse for varmepumpers fordele og styrker i relation til bæredygtigt byggeri og til at begrænse CO²-udledningen inden for byggeriet.

Indholdet tænkes at kunne være til gavn for personer, der står for at skulle indarbejde varmepumper i deres projektering. Ønsket er at kunne give en dybere forståelse for, hvordan man kan udnytte varmepumpens fulde potentiale.

Masteropgavens omfang svarer til 15 ECTS-point. Projektet startede 1. februar 2025 og afleveringsdatoen var 4. juni 2025.

2 RESUME/ABSTRACT

2.1 DANSK

Formålet med denne rapport er at analysere miljøpåvirkningen fra luft-til-luft og luft-til-vand varmepumper anvendt i enfamiliehuse med et særligt fokus på deres globale opvarmningspotentiale (GWP).

Baggrunden er det stigende krav til både energiforbrug og klimabelastninger i bygningsreglementet samt EU-strategien REPowerEU, der fremmer udbredelsen af varmepumper som alternativ til fossile energikilder.

Opgaven anvender livscyklusvurderinger (LCA) baseret på verificerede type III miljøvaredeklARATIONER og energiberegninger i Be18 for at evaluere varmepumpernes bidrag til bygningens energiramme og klimagrænse.

Et centralt emne er på kølemidternes rolle og deres betydning for varmepumpers klimapåvirkning, hvor især F-gassers lækage og GWP-værdi analyseres. Herunder vurderes betydningen af stemtype (split vs. monobloc) og styringer (on/off vs. inverter) i forhold til lækagerisiko og energieffektivitet.

Der gennemføres en vurdering af varmepumpers egnethed i forskellige boligtyper og bygningssituationer. Det konkluderes bl.a. at LTV-varmepumper er bedst egnede til nybyggeri med gulvvarme, mens LTL-varmepumper kan være fordelagtige i mindre boliger suppleret med solceller eller solfangere. For at overholde både energirammen og klimakravene er det vigtigt at vælge varmepumper med lav-GWP kølemiddel og høj SCOP-værdi.

2.2 ENGLISH

This thesis examines the environmental impact of air-to-air and air-to-water heat pumps used in single-family homes. The primary focus is on their contribution to buildings' climate emissions, especially through refrigerant leakage and energy use, assessed via life cycle assessments (LCA).

The study is motivated by tightened Danish building regulations and the EU's REPowerEU strategy, which promotes heat pumps as a key component of the green transition. A central issue is the high global warming potential (GWP) of synthetic refrigerants, particularly in case of leakage.

The analysis is based on Be18 energy calculations and verified Type III Environmental Product Declarations. Results indicate that climate impact varies by system type, refrigerant, and sizing. Monobloc systems generally present lower leakage risks than split systems.

The conclusion is that LTV heat pumps are well-suited for new buildings with underfloor heating, while LTL systems are appropriate for smaller

Livscyklusvurdering af varmepumper

homes without hydronic systems. To comply with energy and climate requirements, choosing refrigerants with low GWP and ensuring high seasonal performance (SCOP) is essential.

3 INDLEDNING

I dag stilles der både krav til bygningers energiforbrug og deres klimabelastning. Disse krav er tæt forbundne og fremgår af Bygningsreglementets kapitel 11, som omfatter bygningers energiramme og deres klimagrænse. Energirammen skal sikre, at bygninger bruger så lidt energi som muligt under driftsfasen, mens klimagrænserne skal begrænse den samlede CO²-udledning under bygningers udførelse og drift. Dette skal tilsammen fremme det bæredygtige byggeri.

EU-kommissionen lancerede strategien REPowerEU i maj 2022 som en konsekvens af energikrisen, der blev udløst af Ruslands invasion af Ukraine. Strategien sigter mod at gøre Europa uafhængig af russisk gas og olie, at fremskynde den grønne omstilling og at styrke energiforsyningssikkerheden i EU (European Commission, 2022). Et af hovedpunkterne i REPowerEU strategien er at udrulle 30 millioner varmepumper i EU inden 2030, hvoraf 10 millioner skal være varmepumper til vandbårne varmesystemer inden 2027. Dette omfatter implementeringen af store varmepumper til fjernvarme- og kølenetværk, men også at fordoble det nuværende antal varmepumper i private boliger (European Heat Pump Association, 2023).

Udfordringen ligger i at mange varmepumper indeholder problematiske kølemidler (F-gasser), som bidrager voldsomt til drivhuseffekten. Dette har givet anledning til at skærpe kravene til anvendelsen af F-gasser i form af F-gas forordningen. Da antallet af varmepumper er i vækst, forsøger rapporten at afdække hvilke udfordringer varmepumper kan medføre i forhold til at overholde energi- og klimakravene i bygningsreglement og hvad man som almen forbruger skal være opmærksom på.

3.1 PROBLEMFORMULERING

Rapporten analyserer fordele og ulemper ved anvendelsen af luft-til-luft og luft-til-vand varmepumper i forbindelse med opvarmning af enfamiliehuse, med særligt fokus på deres samlede miljøpåvirkning vurderet igennem livscyklusvurderinger (LCA).

Særligt fokus i denne rapport er rettet mod kølemidlernes rolle for varmepumpens energieffektivitet og klimapåvirkning. Det afdækkes hvordan kølemidlernes globale opvarmningspotentiale dokumenteres i miljøvaredeklarationer, og hvordan standardiserede antagelser om lækager kan påvirke den samlede vurdering.

Rapporten undersøger desuden, hvordan gældende lovgivning og regulativer – herunder krav til LCA og brugen af F-gasser – påvirker valget og dimensionering af varmepumpesystemer i praksis.

3.2 AFGRÆNSNING

Denne rapport fokuserer udelukkende på luftbårne varmepumper, nærmere bestemt luft-til-luft (LTL) og luft-til-vand (LTV) varmepumper til anvendelse i enfamiliehuse. Dette skyldes deres potentiale i områder uden adgang til kollektiv varmeforsyning og deres potentiale i den grønne omstilling.

Andre varmepumpetyper som vist i tabel 1, herunder jordvarme, brugsvands- og ventilationsvarmepumper og industrielle varmepumper behandles ikke i rapporten, da de enten har en anden anvendelseskontekst eller installationsforhold end dem, som typisk forekommer i enfamiliehuse.

Analysen af varmepumpernes miljøpåvirkning er begrænset til nyopførte bygninger og omfatter ikke renoveringsprojekter eller udskiftning af eksisterende varmeanlæg. Årsagen til denne afgrænsning skyldes at energirammen og klimakravene i bygningsreglementet kun er påkrævede i forbindelse med nybyggeri, og derfor mest relevante i den forbindelse. Dette betyder også at analyser og betragtninger af varmepumpers betydning udelukkende baseres på beregninger og forudsætninger som anvendes ved nybyggeri.

Miljøvurderingen afgrænses desuden til udelukkende at omfatte varmepumpers globale opvarmningspotentiale (GWP). Andre miljøpåvirkningskategorier såsom forsuring, ozonnedbrydning og ressourceudtømmning inddrages ikke, da GWP er den eneste indikator som bygningsreglementet forholder sig til.

Datagrundlaget for livscyklusvurderingerne er baseret på type III miljøvaredeklarationer, som er udarbejdet iht. EN 15804 og PEP EcoPassport. Kun monobloc og monosplit varmepumper med tilgængelige og verificerede miljøvaredeklarationer er inddraget i analysen, som derfor

alene anvender deklarerede værdier og antagelser fra disse, herunder standardiserede lækagerater og forventede levetider. Som et led i denne proces belyses det, hvordan varmepumpers miljødeklarationer udarbejdes og aflæses.

Endelig behandler rapporten kun det primære kølekredsløb og det dertilhørende primære kølemiddel, som udgør hovedparten af den potentielle drivhuspåvirkning.

3.3 LÆSEVEJLEDNING

Denne rapport er udarbejdet som en del af Masteruddannelsen i Bygningsfysik og henvender sig primært til fagpersoner, rådgivere og studerende med interesse for varmepumpens tekniske egenskaber og energiforbrug samt interesse for dokumentation af klimabelastninger fra bygningskomponenter.

Rapporten er opbygget efter en klassisk struktur med indledning, teori, metode, analyse, diskussion og konklusion.

Den teoretiske del (kapitel 4) er opdelt i fire dele. Først gennemgås varmepumpeteknologiens fysiske og tekniske grundlag med særligt fokus på deres energiydelse, systemkomponenter og de typer kølemidler der anvendes. Anden del introducerer relevante krav fra bygningsreglementet vedrørende energiforbrug og energirammen. Tredje del gennemgår relevante forhold vedrørende bygningsreglementets klimakrav. Fjerde del gennemgår miljøvaredeklarationer.

I analysedelen (kapitel 5) udføres livscyklusvurderinger af udvalgte varmepumper baseret på verificerede type III miljøvaredeklarationer. Der suppleres desuden med energiberegninger i Be18 for at vurdere varmepumpens bidrag til energirammen.

Rapporten kræver et vist kendskab til tekniske begreber inden for energiberegning og miljøvurdering. Det antages at læseren har grundlæggende kendskab til programmet Be18, herunder dets anvendelse og begrænsninger. Beskrivelserne af metode og input i Be18 kan anvendes som vejledning, men udgør ikke en erstat for officiel brugerdokumentation.

4 TEORI

4.1 VARMEPUMPER

Varmepumper egner sig primært til boliger uden adgang til kollektiv varmforsyning som fjernvarme eller naturgas. Dette omfatter ca. 20% af den danske boligmasse (Energistyrelsen, b).

Varmepumper udnytter den naturlige varmeenergi der findes lokalt i boligens omgivelser. De absorberer varmen enten fra udeluften, jorden eller vand, og frigiver varmen til enten indeluften eller boligens varmebærevand ved hjælp af deres kølekredsløb¹. Har de kølefunktion, kan de sættes i omvendt tilstand, hvorved den indvendige varme fjernes som ved et klimaanlæg. Varmepumpens drivkraft kan enten være elektrisk² eller termisk³. Kombinationsmulighederne er mange, og kan nøje udvælges efter den enkelte bygnings form og funktion som vist i tabel 1 (The European Heat Pump Association AISB).

De mest almindelige varmepumper til helårs- og sommerhuse i Danmark er luft-til-luft varmepumper (LTL), luft-til-vand varmepumper (LTV) og jordvarme. LTL og LTV varmepumper har det til fælles at de begge indhenter varmen fra udeluften, og forskellen er at de henholdsvis afgiver varmen til indeluften og til et vandbåret varmesystem (Energistyrelsen, a).

I forhold til jordvarmen er de luftbaserede varmepumper væsentligt billigere og lettere at installere, da de ikke kræver etablering af jordslanger. Nuværende priser på LTL varmepumper ligger typisk mellem 15.000 og 30.000 kr. med installationsomkostninger på 4.000 til 6.000 kr. og en tilbagebetalingstid på ca. 3 til 6 år. LTV varmepumper ligger typisk mellem 110.000 og 200.000 kr. med installationsomkostninger på 20.000 til 36.000 kr. afhængigt af størrelsen med en tilbagebetalingstid på 6 til 10 år (Andersen Kirk & Gravesen, 2025).

¹ Et kølekredsløb er den overordnede betegnelse for varmepumpens opbygning, hvor kølemidlet cirkulerer i et lukket kredsløb. Dette uddybes nærmere under 4.1.2

² Varmepumpen drives af en elektrisk kompressor

³ Varmepumpen drives af termisk energi, hvor varme fra naturgas eller solfangere driver kredsløbet i stedet for elektricitet

Livscyklusvurdering af varmepumper

Type	Anvendelse						Bemærk
		Varme	Køling	Brugsvand	Ventilation	Drivkraft	
Luft til luft	Helårsbolig Sommerhus Mindre erhverv	Ja	Ja	Nej	Nej	El	
Luft til vand	Helårsbolig Sommerhus Kontor	Ja	(Ja)	Ja	Nej	El	
Jord til vand (jordvarme)	Helårsbolig Landbrug Rækkehuse	Ja	(Ja)	Ja	Nej	El	
Vand til vand	Bolig med adgang til grundvand	Ja	(Ja)	Ja	Nej	El	
Brugsvands- varmepumpe (LTV)	Helårsbolig Sommerhus	Nej	Nej	Ja	Ja	El	Kun til brugsvand
Boligventilations- varmepumpe (LTL)	Helårsbolig Sommerhus	Nej	Nej	Ja	Ja	El	
Hybrid- varmepumpe	Bolig med gas eller olie	Ja	Nej	Ja	Nej	El Gas Olie	
Pool-varmepumpe	Svømme- bassin	Nej	Nej	(Ja)	Nej	El	
Industriel luft-til-vand	Kontorer Let industri	Ja	Ja	(Ja)	Nej	El	
Industriel vand-til-vand	Fjernvarme, Tung industri	Ja	Ja	Ja	Nej	El	
Højtemperatur- varmepumpe	Fjernvarme, Industriproces- ser	Ja	(Ja)	Ja	Nej	El HFO CO ₂ NH ₃	
Absorptions- varmepumpe	Kraftværker Industriproces- ser	Ja	Ja	Nej	Nej	Gas Varme	Gen- anvendelse af spildvarme

Tabel 1: Rapporten analyserer kun de to øverste varmepumpetyper markeret med blå, (ja) angiver at løsningen er begrænset eller kræver at varmepumpen er specialiseret til formålet.

4.1.1 DEN GRUNDLÆGGENDE FYSIK BAG VARMEPUMPER

Varmepumper udnytter principperne inden for termodynamikken⁴, som er den del af fysikken, der forklarer sammenhængen mellem energien i et stof og hvordan energien bevæger sig. For at kunne forstå termodynamikken er det nødvendigt, at have en forståelse for begreberne tryk, temperatur og et stofs evne til at ændre tilstand (Hørning, 2023)

HVAD ER TRYK

Har man et stof inde i en beholder vil stoffet yde et vist pres på beholderens indvendige overflade, og dette pres kaldes for trykket. På samme måde vil luften i vores atmosfære yde et vist tryk.

Trykket er altså et udtryk for kraft pr. arealenhed.

$$p \text{ (Pa)} = \frac{F \text{ (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

hvor

p = tryk, måles i pascal Pa

F = kraft, måles i newton N

A = areal, måles i kvadratmeter, m^2

Der findes andre enheder for tryk ud over Pascal. Man kan også definere og måle tryk i enheden bar, hvor 1 bar svarer til en flade med ca. 1 kg vægt pr. cm^2 eller 10 m vandsøjle.

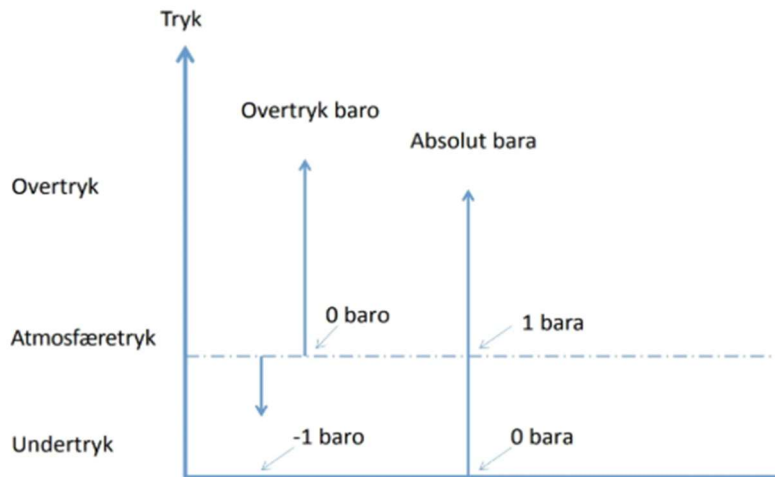
FORSKELLEN MELLEM OVERTRYKSKALA OG ABSOLUTTRYKSSKALA

I forhold til varmepumper anvender man to trykskala – overtryksskalaen og absoluttryksskalaen. Ved overtryksskalaen måles trykket i forhold til det omgivende atmosfæretryk og dets nulpunkt svarer altså til det atmosfæriske tryk, som vi oplever i luften omkring os, når vi er lige over havniveau. Som man kan se i figur 1 kaldes et tryk mindre end nulpunktet for undertryk og et større tryk end ved nulpunktet svarer til et overtryk (Hørning, 2023).

Ved den absolutte trykskala sættes nulpunktet i forhold til totalt vakuum, som er en teoretisk tilstand, hvor der ikke er nogen molekyler til stede – og derfor intet tryk. Nulpunktet i den absolutte trykskala er forskudt med 1,013 bar i forhold til nulpunktet i overtryksskalaen. Det absolutte tryk anvendes altid i diagrammer for kølemidler, fordi det giver en præcis og ensartet

⁴ Termodynamik kommer af de græske ord "Therme" som betyder varme og "Dynamis" som betyder bevægelse.

reference uafhængigt af det aktuelle atmosfæretryk. For at kunne se hvilken skala man har aflæst et givet tryk efter, sætter man et bogstav efter enheden bar som vist i tabel 2 (Hørning, 2023)



Figur 1:
Her ses bar trykskala
(Hørning, 2023)

Tilstand	Absoluttryk Bar(a) / bar absolut	Overtryk Bar(g) / bar overtryk
Totalt vakuum	0	-1,013
Atmosfærisk tryk	1,013 ~ 1	0

Tabel 2: Her ses sammenligningen mellem absoluttryk og overtryk (gauge-tryk) i bar.

HVAD ER TEMPERATUR

Har man et stof, består det af en mængde partikler (atomer eller molekyler), som hele tiden bevæger sig. Jo hurtigere disse partikler bevæger sig, jo højere temperatur har stoffet.

Temperaturen er altså et udtryk for størrelsen af bevægelsesenergi (termisk energi).

$$T = \frac{pV}{nR}$$

hvor

T = temperatur, måles i kelvin K

p = tryk, måles i pascal Pa

V = volumen, måles i kubikmeter m^3

n = Mol, måles i antal mol M

V = volumen, måles i kubikmeter m^3

$R = \text{gaskonstanten, måles i } J/(\text{mol} * K)$

Der findes også flere skalaer til at angive temperaturen. De mest anvendte i forhold til termodynamik er Celsius-skalaen (°C) og Kelvin-skalaen (K). Celsius-skalaen tager udgangspunkt i vandets faseskift, så dets nulpunkt svarer til der, hvor vand smelter/fryser ved atmosfærisk tryk – altså ved 0°C. Kelvin-skalaens nulpunkt tager udgangspunkt i det absolutte nulpunkt, hvilket er en teoretisk tilstand, hvor molekylerne ikke længere bevæger sig, og hvor den termiske energi er nul. Kelvin-skalaens nulpunktet er forskudt i forhold til Celsius-skalaens nulpunkt med 273,15°C.

Temperatur	Kelvin K	Celsius °C
Absolut nulpunkt	0	-273,15
Vands frysepunkt	273,15	0

Tabel 3: Her ses sammenhængen mellem Kelvin og Celsius-skalaen

ET STOFS TILSTAND OG KOGEPUNKT

De fleste stoffer kan antage tre tilstande som fast, flydende og gas – se figur 2



Figur 2: Her er sammenhængen mellem stoffers tilstande vist

For at ændre tilstand skal stoffet gennemgå et faseskift, hvilket kræver at stoffet enten tilføres eller fratages energi. Faseskiftet kan ske i form af smeltning/frysning og fordampning/kondensering. For eksempel går vand igennem disse tre tilstande, når man tager en fast isterning fra fryseren, lader den smelte ved stuetemperatur til flydende vand i en gryde, for så at varme det yderligere op indtil det koger og fordamper til gasform. Faseskiftet sker enten ved stoffets fryse- eller kogepunkt. Frysepunktet angiver ved hvilken temperatur stoffet skifter fase mellem flydende og fast, og kogepunktet angiver ved hvilken temperatur stoffet skifter fase mellem flydende og gas (Hørning, 2023).

Ved et givent tryk har hvert enkelt stof sit eget karakteristisk koge- og frysepunkt, men det interessante er, at man kan flytte temperaturen for et stofs fryse- og kogepunkt ved at ændre det tryk stoffet udsættes for.

Vand koger ved 100 °C ved havoverfladen, hvor trykket er 1 bara. Men forsøger man at koge vand på toppen af Kilimanjaro i en højde på 5.895 m over havoverfladen, hvor trykket er faldet til 0,475 bara – så vil vandet koge allerede ved 80,3 °C. Omvendt kan man hæve temperaturen for et stofs kogepunkt ved at øge trykket omkring det.

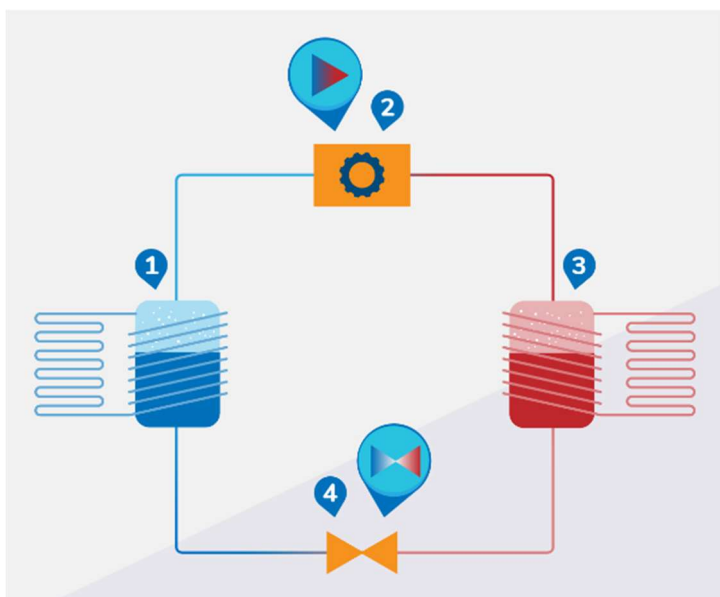
Når et stof skifter fase, afgiver eller optager det meget energi fra omgivelserne, og det er netop det man udnytter ved at ændre på et kølemiddels kogepunkt ved vekslende tryk i en varmepumpes kredsløb.

4.1.2 DE LUFTBÅRNE VARMEPUMPERS GRUNDKOMPONENTER:

Et kølemiddel i en varmepumpe defineres som en væske der cirkulærer i et lukket kølesystem der igennem sit faseskifte fra damp til væske anvendes til at transportere varme. Ved lavt tryk sænkes kogepunktet og væsken fordamper ved lav temperatur og absorberer varme, for dernæst at kondensere ved et højere tryk, hvor kogepunktet hæves og hvorved det frigiver varme ved en højere temperatur. I de luftbårne varmepumper til enfamiliehuse er dette kredsløb typisk drevet af strøm med en elektrisk kompressor (Dansk Standard, 2020).

Kredsløbet består af disse fire trin, hvorigennem kølemediet optager varmen udvendigt og afgiver varmen til boligen indvendigt.

- Først suges der udeluft ind over fordamperen med en ventilator, hvilket bevirker at kølemediet i fordamperen optager luftens varme og omdannes til gas
- Herefter komprimeres kølemediet i kompressoren. Når kølemediet komprimeres stiger både tryk og temperatur iht. termodynamikkens love.
- Dernæst føres kølemediet i gasform videre til kondensatoren, hvor det afgiver sin varme til boligen (indeluften/varmebærevandet). Når kølemediet afgiver sin varme, går det tilbage til væskeform og sendes videre til ekspansionsventilen
- Ekspansionsventilen sænker trykket, hvilket gør det muligt for kølemediet at fordampe ved lav temperatur i næste cyklus. Det kolde kølemedium i væskeform sendes derefter retur til fordamperen for at optage ny varme fra udeluften og processen gentages igen (Hørning, 2023; NovaSolar, 2021)



Figur 3: Her ses kredsløbets fire stadier. Kølemidlets tryk ændrer sig i de forskellige dele af kølekredsløbet

Systemtrykket er betegnelsen for det tryk, som kølemidlet har forskellige steder i varmepumpens kølekredsløb.

4.1.3 MONOBLOC KONTRA SPLITSYSTEM

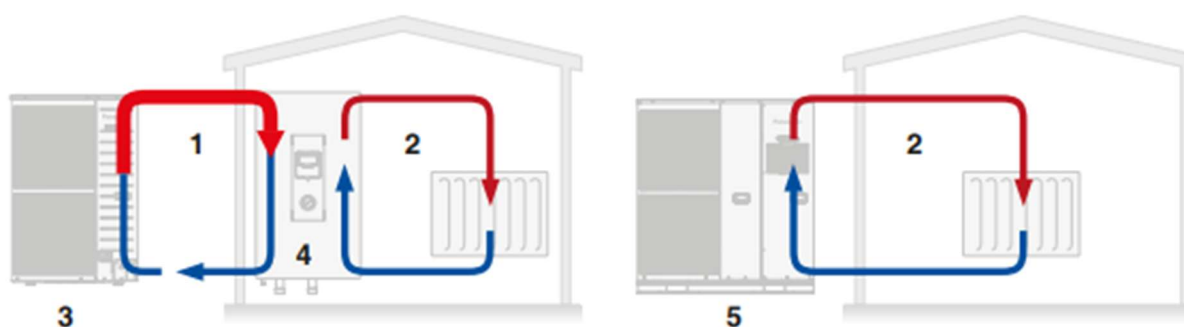
De fleste LTL varmepumper er udført som et "split-system". Det vil sige, at varmepumpen er opdelt i en udvendig og indvendig enhed, hvor kølemidlet cirkulerer mellem de to enheder via kølemiddellrør. Ofte har LTL varmepumper kun en enkelt indedel, som placeres centralt i bygningen for optimal varmefordeling, hvilket kaldes for monosplit-system. Men de fås også som multisplit-system, hvor man kan koble flere indedele i hvert sit rum på den samme udedel. Indedelen kan fås som enten gulv-, væg-, loft- eller kanalmonteret og kan derfor vælges efter boligens forhold og behov. (M. Hvenegaard, 2019). Udedelen placeres så tæt ved huset som muligt for at minimere varmetabet i rørføringen. Dette kan være ved boligens ydermur på stabilt underlag med tilstrækkelig afstand til omgivelserne for at undgå blokering af blade eller sne for at sikre tilstrækkelig luftgennemstrømning omkring udedelen. (Vølund Varmeteknik)

Ved LTV varmepumper har man mulighed for at vælge mellem monobloc-system og split-system. LTV varmepumper består af en udedel og en varmtvandsbeholder med styring af centralvarme og evt. brugsvand. Varmen kan altså bruges til rumopvarmning via boligens radiatorer eller gulvvarme og har varmepumpen også en varmtvandsbeholder kan den opvarme brugsvandet (M. Hvenegaard, 2019)

Ved split-systemet placeres den udvendige enhed typisk tæt ved huset i nærheden af det rum, hvor den indvendige enhed placeres. Dette er igen for at undgå unødigt varmetab og for at mindske omkostningerne for rørtrækningen. Den indvendige enhed placeres typisk i bryggers, teknikum

eller kælder tæt på varmesystemet og hvor der er plads til en vandtank og rørinstallationer. (Viessmann DK)

Ved monobloc-varmepumper placeres kompressor, kondensator og fordamper samlet som en enhed i udedelen (ved split-systemer er fordamperen placeret ved indedelen). Dette gør at monobloc varmepumper er lettere at installere og kan have en mindre kølemiddellækage. Monobloc-systemer betragtes som hermetisk lukkede kredsløb, der ikke lækker i samme grad som split-systemer. Split varmepumper er mere komplicerede at installere, hvilket kan medføre en større kølemiddellækage (Hovmand Energi ApS).



Figur 4: Til venstre ses en split-varmepumpe, og til højre ses en monobloc-varmepumpe. 1) Kølekredsløbet, 2) Varmekredsløbet, 3) Udedel, 4) Indedel, 5) Monobloc-system. Kilde: Panasonic Planning and installation manual

4.1.4 VARMT BRUGSVAND

VARMTVANDSBEHOLDER

LTV varmepumper til brugsvandsopvarmning skal være tilkoblet en varmtvandsbeholder, hvor det varme brugsvand lagres og tappes fra alt efter boligens brugsmønster og behov. Den kan være udstyret med en spiralvarmeveksler eller en ekstern pladevarmeveksler, hvor varmebærevandet fra varmepumpen overfører varmen til brugsvandet.

Herudover kan varmepumpen være tilkoblet følgende komponenter.

EL-PATRON

Denne fungerer som et backup varmelegeme, der sikrer at varmtvandsbeholderen kan opvarmes til den ønskede brugstemperatur⁵ når udetemperaturen er lav eller hvis varmepumpen er defekt. Denne styres automatisk ved behov enten via en tidsplan eller temperaturgrænser. Hvis varmepumpen ikke kan opvarme vandet til 60 °C, skal den udstyres med el-patron (Dansk Standard)

BUFFERTANK

Denne stabiliserer varmepumpens drift og hindrer hyppige opstartscykler ved at fungere som et varme lager med teknisk vand⁶. Den placeres mellem varmepumpen og varmtvandsbeholder/fordelingssystem.

Den kan også være nødvendig ved gulvvarme- eller radiatoranlæg med høj træghed.

CIRKULATIONS Pumpe

Denne flytter varmebærevandet mellem varmepumpe, evt. buffertank og varmtvandsbeholder.

Denne funktion kan være dækket af en eller flere pumper afhængigt af behovet:

- Primær pumpe som cirkulerer teknisk vand mellem varmepumpen og buffertank
- Sekundær pumpe som cirkulerer teknisk vand mellem buffertank og varmtvandsbeholder

⁵ Brugstemperaturen bør skal være høj nok til at undgå Legionella

⁶ Teknisk vand bruges udelukkende som varmebærer – altså til at transportere eller lagre varme. Det er ikke drikke- eller brugsvand, og kommer ikke i kontakt med haner, brusere eller andre tappesteder

Livscyklusvurdering af varmepumper

OVERSIGT OVER KOMPONENTER				
Komponent	LTL (split)	LTV (split)	LTV (mono)	Funktion
Udedel	Ja	Ja	Ja	
Indedel	Ja (luft)	Ja (vand)	Nej?	
Ventilator	I udedel	I udedel	I udedel	Trækker udeluften ind over fordamperen
Fordamper	I udedel	I udedel	I udedel	Optager varmen fra udeluften
Kompressor	I udedel	I udedel	I udedel	Øger tryk og temperatur på kølemidlet
Ekspansionsventil	Typisk i udedel	Typisk i udedel	Typisk i udedel	Sænker tryk og temperatur på kølemidlet
Kølemiddelkreds	Mellem inde- og udedel	Mellem inde- og udedel	Kun i udedel	Transporterer kølemidlet mellem komponenterne
Kondensator	I indedel	I indedel	I udedel	Afgiver varme til indeluften/varmebærevandet
Styring/regulering	Typisk i indedel	Typisk i indedel	Typisk integreret i udedel	Regulerer driften og optimerer ydelsen Justerer temperatur og drift
Aggregat / indblæsning	Ja	Nej	Nej	
Varmeveksler	Nej	Ja	Ja	Overfører varme til radiatorer/gulvvarme
Vandkreds (varmebærer)	Nej	Ja i indedel	Ja, ind/ud af udedel	
Varmtvandsbeholder	Nej	Ja (Ekstern)	Ja (Ekstern)	Opbevarer varmt brugsvand
Buffertank	Nej	Ja	Ja	Lagrer varme
El patron	Nej	Ja	Ja	Yder backupvarme
Cirkulationspumpe	Nej	Ja i indedel	Ja i udedel / ekstern	Pumper det varme vand rundt i systemet

Tabel 4: Skematisk oversigt over mulige komponenter i en varmepumpe afhængigt af dens opbygning som et split-system (split) eller monobloc-system (mono)

4.1.5 VARMEPUMPENS ENERGIFORBRUG

Der er mange faktorer som påvirker varmepumpers energiforbrug. Disse afhænger af hvilken type varmepumpe man betragter, og i dette kapitel gennemgås de tekniske forhold som gør sig gældende for de luftbårne varmepumper.

Deres energiforbrug afhænger af udetemperaturen, da deres elforbrug stiger ved lave udetemperaturer. Derudover påvirkes luft-til-vand varmepumper også af hvilken type varmeanlæg de tilkobles og hvilken fremløbstemperatur der ønskes. Det er vigtigt at kunne forstå disse begreber, for at kunne vælge en varmepumpe der præsterer optimalt. Ved bestemte temperaturforhold måles varmepumpens kapacitet efter europæiske standarder⁷, hvorefter varmepumpens effektivitet kan beregnes ud fra disse målinger. (M. Hvenegaard, 2019)

VARMEPUMPENS KAPACITET

Kapacitet er et udtryk for den mængde af varme- (P_h) eller køleenergi (P_c) som varmepumpen kan overføre til en bolig ved en given udendørstemperatur. Den angives i enheden kW (Dansk Standard, 2022).

Varmepumpens deklarerede kapacitet testes og oplyses af producenten, ved at måle varmepumpens kapacitet ved bestemte udendørstemperaturer. Dette kan illustreres som i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**, der er et koordinatsystem med stigende udendørs temperatur langs x-aksen og stigende kapacitet langs y-aksen. Her har man indtegnet målingsresultaterne for kapacitet (de blå punkter) og belastning (de orange punkter) ud for de valgte testtemperaturer A (-7 °C), B (+2 °C), C (+7 °C), D (+12 °C).

Ved at forbinde de blå punkter kan man optegne den blå linje (I), der viser varmepumpens deklarerede kapacitet. Det ses at kapaciteten stiger med en stigende udendørstemperatur. Ved at forbinde de orange punkter optegnes den orange linje (II) som illustrerer lastkurven for varmebehovet.

Yderligt kan man teste varmepumpen ved temperatur E (-10 °C) for at finde varmepumpens dimensionerende varmekapacitet, som angiver varmepumpens maksimale ydelse, altså hvor meget varme (P_{dh}), den kan levere ved den koldeste standardiserede testtemperatur E.

Den dimensionerende varmekapacitet kaldes for $P_{designh}$ og findes ud for punktet E ved reference design temperaturen (T_{design}). $P_{designh}$ er altså den varmemængde i kW som varmepumpen kan levere ved den koldeste

⁷ Kapacitet (SCOP/SEER) testes iht. EN 14825. Effekt og COP testes iht. EN 14511.

testtemperatur og er den værdi man bruger til at vælge størrelsen på sin varmepumpe efter.

Der hvor den blå og orange linje krydser hinanden ved temperatur F er varmepumpens kapacitet lig med varmebehovet. Denne temperatur kaldes for bivalenttemperaturen (T_{biv}), som er den udendørstemperatur hvor varmepumpens kapacitet (P_{dh}) lige netop dækker bygningens varmebehov. Under denne temperatur er der behov for supplerende varme f.eks. fra en el-patron eller kedel som vist med det skraverede felt (III).

Det prikkede felt (IV) viser det område hvor varmepumpen kører på sine cyklusser.

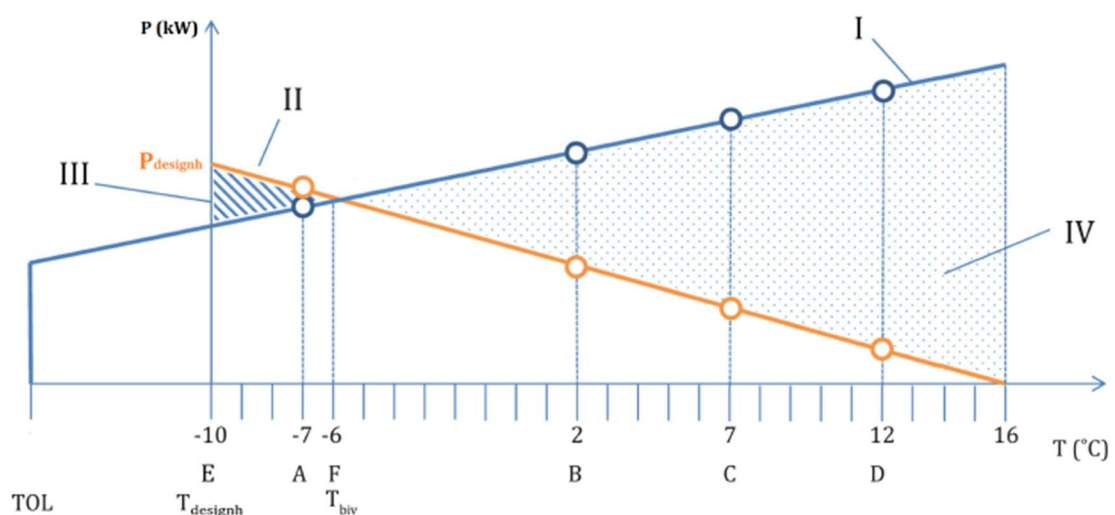
For eksempel kan en bolig have et dimensionerende varmebehov på 4,0 kW når det er -10 C udenfor.

Betragter man en varmepumpe med følgende deklarerede kapaciteter:

- 5,0 kW ved +7 C
- 3,8 kW ved -10 C

vil man kunne sige at P_{design} er lig med 3,8 kW og at denne varmepumpe ikke vil kunne dække varmebehovet på de koldeste dage. Her er man nødt til at supplere varmepumpen med en el-patron, der kan yde de resterende 0,2 kW for at opnå de 4,0 kW.

P_{design} kaldes også for varmepumpens nominelle effekt.



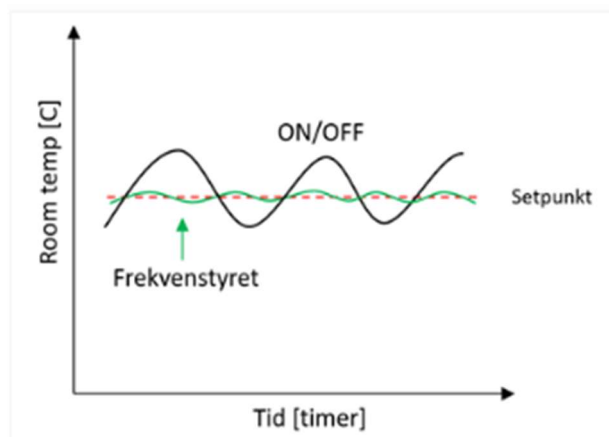
Figur 5: Afbildning af varmepumpens kapacitet. Kilde: Dansk Standard DS/EN 14825:2022

STYRINGSTYPER

Varmepumpens kapacitet afhænger af dens styringstype og hvad den skal opvarme (rumopvarmning og/eller brugsvand). Styringstypen defineres af kompressoren i varmepumpen, hvoraf de to primære typer er disse:

- **on/off-styret kompressor**, som fungerer ved at tænde og slukke kompressoren fuldstændigt når den rammer det ønskede setpunkt (minimum og maksimum temperatur). Når der er behov for varmt vand, kører den altid i samme hastighed med fuld kapacitet og med samme konstante kølemiddel volumenstrøm. Når den ønskede temperatur nås, slukkes kompressoren helt. Dette kan ved forkert dimensionering føre til hyppige start-stop-cykler, hvilket kan medføre højere energiforbrug.
- **frekvensstyret kompressor**, som fungerer ved at dens motorhastighed reguleres med en frekvensomformer (inverter), så dens ydelse tilpasses det aktuelle behov i stedet for at køre med fuld kraft hele tiden. Kompressoren kører kontinuerligt og tilpasser dens rotationshastighed efter opvarmningsbehovet. Deres nominelle effekt for opvarmning falder når udetemperaturen stiger, fordi energibehovet falder når kompressorens hastighed skrues ned.

De to kompressortypers cyklusser er illustreret i figur 6 (Metro Therm).



Figur 6: Her ses forskellen mellem de to styringsformer i en varmepumpe. Kurven med de store udsving illustrerer on/off styringen, hvilket kan medføre et ujævnt indeklima og større slid på kompressoren. kilde MetroTherm

Den nominelle effekt skal dimensioneres efter boligens varmebehov, for at sikre at varmepumpen kører effektivt og økonomisk. En underdimensioneret varmepumpe vil være for dyr i drift, da den skal køre konstant for at imødekomme varmebehovet og omvendt vil en overdimensioneret varmepumpe tænde og slukke ofte.

Ved rumopvarmning kan P_{design} for on/off-styrede varmepumper aflæses af deres energimærkning, hvis de er testet iht. Ecodesign eller EN 14825. For frekvensstyrede varmepumper fastsættes den nominelle effekt som P_d ved

bivalenttemperaturen plus evt. korrektion. Ved brugsvandsopvarmning fastsættes den nominelle effekt efter tabel 12 i EN 16147 hvis varmepumpen er testet efter denne. Alternativ anvendes standardværdier iht. Be18 (Be18).

VARMEPUMPENS EFFEKTIVITET

EFFEKTFAKTOREN / NOMINEL COP (COEFFICIENT OF PERFORMANCE)

Denne værdi angiver varmepumpens opvarmningseffektivitet under de mest optimale forhold. Den viser forholdet mellem den producerede varme og den dertil anvendte strøm under de mest optimale forhold. Den udtrykkes som forholdet mellem varmepumpens afgivne effekt (kW) og dens tilførte effekt [kW]. Dette vil sige, at hvis en varmepumpe har en COP på 4 kW, så producerer den 4 kW varme for hver 1 kW strøm den forbruger (M. Hvenegaard, 2019),

$$COP_{nominel} = \frac{\text{varmen som varmepumpen leverer (kW)}}{\text{varmepumpens elforbrug (kW)}}$$

De standardiserede testtemperaturer fremgår af DS/EN 14511-2:2022 og angiver en udendørs og indendørs temperatur for både LTL varmepumper og LTV varmepumper. Med udgangspunkt i COP-værdier fra de tekniske specifikationer for en LTV varmepumpe kan man stilles dem skematisk op som vist i tabel 5, hvoraf det fremgår at COP værdien falder med faldende udetemperatur. Ved højere udetemperaturer (+7) arbejder varmepumpen mere effektivt, fordi temperaturforskellen mellem ude og inde er mindre, hvilket gør at kompressoren skal arbejde mindre. Når udetemperaturen falder, skal kompressoren arbejde hårdere.

Test temperatursæt	Udetemperatur	Fremløbstemperatur	COP
A7/W35	+7	+35	5,18
A2/W35	+2	+35	4,44
A-7/W35	-7	+35	2,74

Tabel 5: Tekniske data fra en tilfældigt udvalgt varmepumpe.

ENERGIEFFEKTIVITETEN - SCOP (SEASONAL COEFFICIENT OF PERFORMANCE)

Denne værdi angiver varmepumpens effektivitet i varmedrift over et standardsår med varierende forhold, og giver derfor et mere korrekt udtryk for varmepumpens reelle effektivitet. SCOP beregnes ud fra flere standardiserede testtemperatursæt, varierende dellaster og fremløbstemperaturer.

$$SCOP = \frac{\text{Årlig varmeyedelse (kWh)}}{\text{Årlig elforbrug i varmedrift (kW)}} \quad (3)$$

Ved udregning af SCOP iht. DS/EN 14825 medtages målinger af varmepumpens COP værdi ved flere delbelastninger (100 %, 74 %, 47 % og 20 %), valg af testtemperatursæt ud fra hvilken klimazone varmepumpen skal forhandles i og der tilføjes hjælpeforbrug så som pumper, standby og frostbeskyttelse. Klimazonerne er opdelt i 3 kategorier som kold (C), gennemsnitlig (A) og varm (W)⁸ (Dansk Standard, 2022; M. Hvenegaard, 2019).

Udregningen af SCOP iht. EN 14825 er vist i figur 5**Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** Her bruger man 5 testtemperatursæt som er vist med de runde cirkler. Temperatursættene i denne figur svarer til klimazonen A (Average) som også svarer til klimadata i det danske referenceår DRY. Den grønne linje viser bygningens varmebehov (P_{design}) som stiger ved faldende udetemperatur. Den lilla linje viser varmepumpens kapacitet ved fuld belastning. Varmepumpens bivalente punkt ligger der hvor de to linjer krydser hinanden (M. Hvenegaard, 2019)

EER (ENERGY EFFICIENCY RATIO)

Denne værdi angiver hvor effektivt varmepumpen køler under bestemte standardbetingelser. Den angiver altså hvor meget køleeffekt (output) man får ud af anlægget pr. enhed brugt elektrisk energi (input)

$$EER = \frac{\text{Kølekapacitet (kW)}}{\text{elektrisk effektforbrug (kW)}}$$

I relation til varmepumper bruges EER til at vurdere og sammenligne deres evne til at køle. Denne værdi oplyses derfor ikke for LTV varmepumper.

KØLEUDNYTTELSESGRADEN – SEER (SEASONAL ENERGY EFFICIENCY RATIO)

Denne værdi angiver varmepumpens effektivitet i køledrift over et standardsår med varierende forhold.

$$SEER = \frac{\text{Årlig køleydelse (kWh)}}{\text{Årlig elforbrug i køledrift (kW)}}$$

⁸ Klimazonerne svarer til varmesæsonen i følgende 3 referencebyer i Europa. Den kolde svarer til Helsinki, den gennemsnitlige for Strasbourg og den varme for Athen (Dansk Standard, 2022)

4.1.6 KØLEMIDLER

HISTORIK OG TYPER

Kølemidler kan bestå af et enkelt stof eller en blanding af flere stoffer og deres egenskaber har stor betydning for varmepumpens effektivitet og miljøpåvirkning. De er igennem tiden først og fremmest blevet udvalgt på baggrund af deres termodynamiske egenskaber og deres damptryk. Men man har også taget højde for andre faktorer såsom sikkerhed, miljøhensyn, korrosionsaggressivitet m.m. (Hyldgård, 1993)

Kølemidler opdeles i to hovedgrupper som er enten det primære kølemiddel i det primære kredsløb eller det sekundære kølemiddel⁹. Det primære kølemiddel er det stof som cirkulerer i varmepumpens kredsløb og som gennemgår selve faseændringerne ved fordampning og kondensation. Et primært kølemiddel skal derfor som minimum kunne befinde sig i gas- og væskeform. Det sekundære kølemiddel er det stof der overfører varmen fra det primære kredsløb til det område hvor varmen skal bruges. De primære kølemidler findes enten som naturlige kølemidler eller som syntetiske kølemidler (Dansk Standard, 2020; Hørning, 2023).

HC-GASSER

HC står for HydroCarboner. De var de første gasser man anvendte i kølekredsløbet, var naturligt forekommende gasser, som enten var giftige, eksplosive eller upraktiske, da de kun fungerede ved meget høje tryk. Disse gasser påvirker stort set ikke den globale opvarmning eller ozonlaget, men er relativt dyre at fremstille. Mange af dem blev opgivet, men ammoniak og kuldioxid blev anvendt indtil de syntetiske alternativer blev udviklet i 1930'erne (Hørning, 2023).

Ammoniak (NH_3) findes naturligt i atmosfæren, jorden og vandmiljøer, da det dannes når dødt organisk materiale nedbrydes af bakterier. Det er et meget effektivt kølemiddel på grund af meget gode termodynamiske egenskaber, men det er også et giftigt kølemiddel som skal håndteres med sikkerhedsforanstaltninger (Hyldgård, 1993).

Kuldioxid (CO_2) forekommer også naturligt i atmosfæren, da det bl.a. udåndes af dyr og opstår ved henfald af organisk materiale. Det udledes dog også til atmosfæren på grund af vores forbrug af fossile brændstoffer, hvilket har bidraget til et unaturligt højt niveau af CO_2 i atmosfæren, hvilket

⁹ Ved varmepumper vil det sekundære kølemiddel være den luft eller væske som varmen overføres til. (Hørning, 2023)

er årsagen til den globale opvarmning. Kuldioxid kræver et højere tryk i kølekredsen, hvilket er problematisk.

Propan (C_3H_8) er en naturligt forekommen gas, der dannes ved nedbrydning organisk materiale. Det findes i små mængder som naturforekomster og som et biprodukt ved olieudvinding. Det egner sig rigtigt godt som kølemiddel på grund af gode termodynamiske egenskaber, meget lavt globalt opvarmningspotential og ingen ozonnedbrydende egenskaber. Det er dog en brændbar gas, som derfor stiller krav til sikker håndtering og korrekt installation.

Gruppen kaldes også for naturlige kølemidler og omfatter bl.a., R600a (isobutan, C_4H_{10}), R290 (propan, C_3H_8), R744 (kuldioxid, CO_2) og R717 (ammoniak, NH_3) (Europa-Parlamentet, 2023; Miljø- og Ligestillingsministeriet).

CFC- OG HCFC-GASSER

CFC og HCFC står henholdsvis for ChlorFluorCarboner og HydroChlorFluorCarboner. De blev udviklet i 1929 som en ugiftig erstatning for ammoniak som kølemiddel. I 1974 blev det dog påvist at CFC-gasserne nedbryder ozonlaget og man forsøgte derefter at afvikle produktionen af disse gasarter. Gruppen omfatter bl.a. varemærket freon og gasarterne R22, R123 og R142b (Hørning, 2023; Miljø- og Ligestillingsministeriet).

HFC-GASSER

HFC står for HydroFluorCarboner. Disse gasser skulle erstatte de problematiske CFC-gasser, da de ikke påvirker ozonlaget, er oftest ubrændbare og kan produceres billigt med lave energiomkostninger. Men i 1995 blev det påvist at disse gasser til gengæld øger drivhuseffekten. De hører ind under kategorien fluorholdige drivhusgasser – forkortet til F-gasser, hvilket er gasser med en særlig høj drivhuspåvirkning. HFC-gasserne udgør den største del af F-gas forbruget i Danmark. De står for omkring 90% af udslippet fra fluorholdige gasser og de er i dag alle opført på listen over uønskede stoffer. Gruppen omfatter bl.a. R32, R134a og R410a (Europa-Parlamentet, 2023; Hørning, 2023; Miljø- og Ligestillingsministeriet).

HFO-GASSER

HFO står for HydroFluorOlefiner. De er nye typer af HFC-gasserne med en lav GWP værdi. Fordelene er at de er syntetiske, lave energiomkostninger og moderat effekt på den globale opvarmning. Ulemperne er at de fleste er brændbare og kan afgive giftige gasser ved brand. Gruppen kaldes også for Low GWP kølemidler og omfatter bl.a. R1234yf og R1234ze (Miljø- og Ligestillingsministeriet).

4.1.7 DIMENSIONERING AF VARMEPUMPER

DIMENSIONERING AF VARMEBEHOVET FOR RUMOPVARMNING

En nøjagtig beregning af varmepumpens dimensionerende kapacitet kræver kendskab til det dimensionerende varmebehov og kendskab til dimensioneringsreglerne for en varmepumpe iht. DS/ISO 13612-1. Hvis man ikke kan aflæse en eksisterende bygnings varmebehov, kræver det en omfattende beregning at finde bygningens samlede varmebehov, som afhænger af bygningens opvarmede bruttoareal, antal beboere og deres forbrugsmønster samt klimaskærmens isoleringsgrad.

For et hurtigt estimat af varmepumpen kan man anvende overslagsværdierne som angivet i tabel 6, men det anbefales ikke at bruge disse til den endelige dimensionering af varmepumpen.

Boligens isoleringsgrad	Varmebehovet pr. m ²
Ældre og dårligt isoleret	50 - 55 W/m ²
Ældre men efterisoleret	45 - 50 W/m ²
Nybyggeri og godt isoleret	40 - 45 W/m ²

Tabel 6: Disse overslagsværdier kan anvendes til et hurtigt estimat af varmepumpens kapacitet i forhold til rumopvarmning. Disse kan anvendes for LTL og LTV varmepumper som skal yde rumopvarmning. (Videnscenteret Bolius, <https://www.bolius.dk/hvor-stor-varmepumpe-har-vi-brug-for-6w-eller-10w-der-er-jo-stor-forskel-paa-baade-ydelse-og-pris-97802>)

$$P_v \text{ (kW)} = \frac{\text{varmebehovet pr. m}^2 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) * \text{boligarealet (m}^2\text{)}}{1000} \quad (1)$$

hvor,

P_v = nødvendig varmepumpe kapacitet i kW

Eksempler på varmepumpens kapacitet beregnet ud fra overslagsværdier			
Boligareal (m ²)	Ældre dårligt isoleret	Ældre men efterisoleret	Nybyggeri og godt isoleret
100	5,0 – 5,5 kW	4,5 – 5,0 kW	4,0 – 4,5 kW
150	6,5 – 8,6 kW	6,5 – 7,0 kW	6,0 – 6,5 kW
200	8,0 – 8,4 kW	7,5 – 8,4 kW	7,5 – 8,0 kW

Tabel 7: Formel (1) og værdierne for varmebehovet i tabel 6 er brugt til overslagsberegning af den dimensionerende kapacitet for varmepumpe ved rumopvarmning af forskellige boligarealer

DÆKNINGSGRADEN AF VARMEBEHOVET

Ved monovalent drift, hvor varmepumpen dækker det fulde varmebehov (100%), skal varmepumpen dimensioneres til at kunne klare spidsbelastningen på de koldeste dage, som der kun er få af i løbet af et helt år. Varmepumpen skal altså have en stor kapacitet som ikke udnyttes fuldt ud det meste af tiden. Dette kaldes at varmepumpen kører på dellast i fyrringsæsonen. Dette er ikke hensigtsmæssigt både for on/of-styrede og inverter-styrede varmepumper, men særligt for on/off-styrede varmepumper som arbejder mindre effektivt ved dellast. Spidsbelastningen dækkes derfor typisk ved bivalent drift, hvor varmepumpen suppleres med en el-patron eller backup kedel (M. Hvenegaard, 2019).

LTL varmepumper dimensioneres typisk til kun at dække arealet af det eller de rum som indedelen er placeret i. Resten af varmebehovet dækkes normalt af el-radiatorer, el-gulvvarme og evt. brændeovn. LTV varmepumper til radiatorer og gulvvarmesystemer dimensioneres typisk til at dække 80-85 % af det dimensionerende varmetab, hvilket gør at 95-100% af det dimensionerende varmebehov dækkes af varmepumpen (M. Hvenegaard, 2019).

For LTV varmepumper er der flere forskellige strategier for hvordan det varme brugsvand lagres og tilføres – altså styringen og prioriteringen af varmtvandsproduktionen. Med et akkumuleringsystem opvarmes brugsvandet indirekte gennem en varmeveksler i varmtvandsbeholderen. Varmepumpen varmer vandet op til en ønsket temperatur, og brugsvandet opvarmes når det løber igennem varmeveksleren. Der lagres ikke brugsvand direkte. Dette kræver en større tank og mere styring, men giver mindre risiko for Legionella. Med semi-akkumulering opvarmes brugsvandet delvist direkte og delvist indirekte. Her anvendes der en lille beholder med direkte opvarmet brugsvand, kombineret med varmeakkumulering fra varmeanlægget. Her kan varmepumpen hurtigt varme brugsvandet, men uden fuld fleksibilitet som i akkumulering (Dansk Standard, 2014).

DIMENSIONERING AF VARMEPUMPE TIL RUMOPVARMNING

Her skal varmepumpen dimensioneres efter boligens dimensionerende varmebehov, hvilket er den varmemængde, der kræves for at opretholde den ønskede indetemperatur ved den laveste udetemperaturer. Her skal der tages stilling til om varmepumpen skal dække hele det dimensionerende varmebehov, eller om noget af varmebehovet skal dækkes af en el-patron eller andet backup-varmesystem (typisk 10-30% af det totale varmebehov).

ISO 13612-1:2014 angiver følgende metode for, hvordan varmepumpen kan dimensioneres for at dække rumopvarmning med denne beregningsmetode:

- Find bygningens dimensionerende varmebehov¹⁰ (Φ_{HL}) iht. EN12831
- Fastlæg det ønskede driftsforhold for varmepumpen ved at:
 - Bestemme design udetemperaturen ($\theta_{e,h}$)
 - Bestemme minimums driftstemperatur (θ_{MOT})
 - Bestemme eventuel bivalent temperatur, hvis anden varmekilde skal tage over
- Fastlæg den ønskede driftsstrategi ved at vælge mellem:
 - Monovalent drift, hvor varmepumpen dækker hele behovet
 - Bivalent drift, hvor varmepumpen slår fra når udetemperaturen kommer under et vist punkt og anden varmekilde overtager
 - Parallel bivalent drift, hvor varmepumpe og anden varmekilde kører samtidigt når temperaturen kommer under et vist punkt
- Find bygningens designfaktor (F_{HL}) ved tabelopslag¹¹ i standarden:
 - Lav masse = 1,00
 - Mellem masse = 0,95
 - Høj masse = 0,90
- Beregn varmepumpens nødvendige kapacitet med følgende dimensioneringsformel:

$$\Phi_{SU} = f_{HL} * \Phi_{HL} \quad ()$$

Hvor

Φ_{SU} = den dimensionerende kapacitet for varmesystemet (kW)

f_{HL} = desingfaktor for varmebehovet

Φ_{HL} = de opvarmede areals dimensionerende varmebehov (kW)

- Kontroller varmepumpens ydeevne

¹⁰

¹¹ Se tabel 4, side 8

- Anvend producentdata til at bestemme varmepumpens kapacitet ved lav temperatur og driftstemperatur
- Vurder COP og effekt ved forskellige udetemperaturer
- Kontroller behovet for back-up
 - Dimensioner supplerende varmekilde f.eks. el-patron

DIMENSIONERING AF VARMEPUMPE TIL BRUGSVANDSOPVARMNING

Det dimensionerende varmebehov for varmt brugsvand afhænger af boligens antal brugere, deres brugsvandsmønster¹² og ønsket opvarmning strategi for varmt brugsvand.

ISO 13612-1:2014 angiver følgende metode for, hvordan varmepumpen kan dimensioneres for at dække et varmt brugsvandsbehov med denne beregningsmetode:

- Find det daglige forbrug af varmt vand pr. dag
- Definer det antal timer varmepumpen skal varme denne mængde under
- Beregn nødvendig varmekapacitet for varmepumpen
- Identificer karakteristikaene for varmtvands forsyningsbelastningen
- Beregn den nødvendige volumen for varmtvandsbeholderen
- Kontroller den nødvendige volumen for varmtvandsbeholderen

Det daglige energibehov for varmt brugsvand

$$Q_{hwd} = 0,001\,16 * N * q * (T_{hw} - T_w)$$

hvor

$$N = \text{antal brugere} = 4 \text{ personer}$$

$$q = \text{årlig gennemsnitlig varmt vandforbrug pr. dag} = 150 - 250 \frac{l}{\text{bolig} * \text{døgn}}$$

$$T_{hw} = \text{varmtvands fremløbstemperatur i } ^\circ C = 60\, ^\circ C$$

$$T_w = \text{koldt vands temperatur i } ^\circ C = 10\, ^\circ C$$

$$Q_{hwd} = 0,001\,16 * 4 * 50\, l/\text{person}/\text{døgn} * (60 - 10) = 11,6\, kWh/\text{døgn}$$

Livscyklusvurdering af varmepumper

Varmepumpens nødvendige kapacitet for opvarmning af brugsvand:

Ved akkumulering:

$$\Phi_{hp, \Theta_{set}} = \frac{Q_s}{t_{energi}}$$

hvor

$\Phi_{hp, \Theta_{set}}$ = varmepumpens varmekapacitet ved Θ_{set} i kW

Q_s = den energi der skal lagres = 11,6 kWh/døgn

Q_s = timer til rådighed for opvarmning = 6 timer (om natten)

$$\Phi = \frac{11,6 \text{ kWh}}{6 \text{ h}} = 1,93 \text{ kW}$$

Det daglige varmtvandsforbrug skal fordobles i forhold til tabelværdierne i A.2

Her skal varmepumpen kunne yde ca. 1,9 kW varme til brugsvand inden for de 6 timer.

Ved semi-akkumulering:

$$\Phi_{hp, \Theta_{set}} = \frac{Q_{DP} - \frac{(\Theta_{set} - 40)}{(\Theta_{set} - \Theta_{CW})}}{t_{DP}} + \frac{Q_{ts}}{t_{DP}}$$

hvor,

t_{DP} = opvarmningsperioden i timer

$Q_{l,s}$ = varmetabet i varmtvandsbeholderen i opvarmningsperioden i kWh

4.1.8 HVORNÅR SKAL MAN VÆLGE EN LTL VARMEPUMPE?

NYBYGGERI

LTL varmepumper er ikke umiddelbart det oplagte valg til nybyggeri, da man her ofte ønsker vandbåret gulvvarme og jævn fordeling af varmen i hele boligen. LTL varmepumper kan dog være relevante i forhold til mindre kompakte nybyggede bygninger såsom sommerhuse eller Tiny Houses¹³ (M. Hvenegaard, 2019; Social og Boligstyrelsen).

EKSISTERENDE ENFAMILIESHUS

LTL varmepumper er særdeles velegnet til eksisterende mindre boliger som i forvejen er opvarmet med el-radiatorer eller brændeovn. De kan med fordel vælges her enten som udskiftning eller supplement til eksisterende el-opvarmning. De kan også kobles til ventilation med varmegenvinding, hvorved der kan skabes bedre varmefordeling, ved at bruge varmepumpens indblæsning sammen med ventilationskanalerne (M. Hvenegaard, 2019)

EFFEKTIVITET

Nyere modeller har en høj effektivitet selv ved lave temperaturer. Ældre modeller er mindre effektive ved lave temperaturer, da ydelsen falder markant ved meget lave temperaturer.

	SCOP		Varmeydelse (kW)	
	Gennemsnitligt	Interval	Gennemsnitligt	Interval
Rumvarme	4,6	3,9 – 5,7	3,10	2,3 – 4,5

Tabel 8: Her ses SCOP og varmeydelse for LTL varmepumper baseret på data fra varmepumpelisten 2019.

INSTALLATIONER

De kan ikke producere varmt brugsvand og har en begrænset rækkevidde hvis der er tale om et monosplit system.

ETABLERINGSOMKOSTNINGER OG DRIFT

¹³ Tiny Houses er et nyt koncept som bygger på minimalisme, bæredygtighed og selvforsyning. Her fokuseres der på små helårsboliger på op til 50 m² med bl.a. off-grid-liv og grønne løsninger såsom solceller og varmepumper.

De har lave etableringsomkostninger da installationen er enkel og ikke kræver indgreb i et vandbåret system. Montagen foregår normalt hurtigt på et par timer og den billigste på omkring 30-40.000 kr. for et anlæg på 4-6 kW i god kvalitet.(M. Hvenegaard, 2019)

INDEKLIMA

Nyere modeller har indbyggede filtre som kan fjerne støv og pollen. De kan også fås med både affugtning og kølefunktion. På disse parametre kan LTL varmepumper i større grad medvirke til et bedre indeklima i forhold til LTV varmepumper. De kan dog også bidrage til mærkbar støj fra indedelen.

4.1.9 HVORNÅR SKAL MAN VÆLGE EN LTV VARMEPUMPE?

NYBYGGERI

LTV varmepumper kan med fordel anvendes til nybyggeri, hvor der ikke er mulighed for tilslutning til det kollektive energiforsyningsnet og hvor der ikke er mulighed for etablering af jordvarme. De kan dække hele boligens varme- og varmvandsbehov også ved større enfamiliehuse.

EKSISTERENDE ENFAMILIESHUS

Ved eksisterende boliger med et vandbåret varmeafgiversystem og hvor et ældre olie- eller gasfyr er udtjent og skal udskiftes, kan det med fordel udskiftes til en LTV varmepumpe.

EFFEKTIVITET

De har en lavere effektivitet ved meget lave udendørstemperaturer.

	SCOP		Varmeydelse (kW)	
	Gennemsnitligt	Interval	Gennemsnitligt	Interval
Gulvvarme	4,28	3,6 – 5,0		
Radiator-varme	3,21	3,0 – 3,9	7,94	2,8 – 16,1

INSTALLATIONER

LTV er mest effektive ved lave fremløbstemperaturer, som ved gulvvarme, hvilket derfor bør tilstræbes. Ved eksisterende radiatoranlæg som typisk er dimensioneret til høje fremløbstemperaturer, bør man af hensyn til effektiviteten, kontrollere om radiatorerne kan afgive tilstrækkelige med varme ved den lave fremløbstemperatur. Derfor skal det undersøges om radiatorerne er store nok eller om de skal udskiftes efter den nye fremløbstemperatur. Jo lavere fremløbstemperatur bærevandet har, jo

større skal radiatorarealet være for at levere den samme varmeeffekt (M. Hvenegaard, 2019).

ANVENDELSE

De egner sig mest til enfamilieshuse med:

- et opvarmet boligareal på over 120 m²
- vandbårne varmesystemer – særligt med gulvvarme¹⁴
- manglende plads til etablering af jordvarme
- olie- eller gasfyr der skal udskiftes

ETABLERING

De har en højere anskaffelsespris og større etableringsomkostninger, da installationen omfatter flere komponenter. Systemet kræver af samme årsag også mere plads i boligen.

INDEKLIMA

Da de ikke har indvendige blæsere hvilket ikke medfører indvendig støj. De har bedre mulighed for at etablere en jævn varmefordeling indvendigt, men har ingen direkte effekt på luftkvalitet eller fugt.

Boligtype	Eksisterende bolig			Nybyggeri	Sommerhuse	
Opvarmningsform	Olie	El	Træ		Olie	El
	Gas		Piller		Gas	Elpaneler + Elvandvarmer
Luft til luft		Ja			Ja	
Luft til vand	Ja		Ja	Ja	Ja	

Tabel 9: Valg af varmepumpe afhængigt af boligtypen og dens opvarmningsform (M. Hvenegaard, 2019).

¹⁴ Gulvvarme kræver en lavere fremløbstemperatur end radiatorer, hvilket egner sig rigtig godt med varmepumper som er mest effektive når de ikke skal hæve temperaturen særligt højt.

4.2 ENERGIKRAV

4.2.1 BYGNINGSREGLEMENTETS ENERGIKRAV

ENERGIRAMMEN

Energirammen blev indført i bygningsreglementet i 2006, med det formål at reducere energiforbruget i bygninger. Dette var et led i den overordnede strategi for at reducere CO₂-udledningen og fremme det bæredygtige byggeri i Danmark. Energirammen angiver, hvor meget tilført energi en bygning maksimalt må bruge pr. år pr. kvadratmeter opvarmet etageareal.

Der opereres i dag med følgende to energirammer for nybyggede boliger.

BR18 minimumskrav: $\left(30,0 + \frac{1000}{A}\right) kWh/m^2 pr. \text{ år}$

Hvor A er det opvarmede etageareal. Denne formel tilgodeser større bygninger, som har en mindre klimaskærm pr. m², og derfor et lavere varmetab pr. enhed areal.

Den frivillige lavenergiklasse: $27,0 kWh / m^2 pr. \text{ år}$

Den frivillige lavenergiklasse er målrettet bygherre, som ønsker at markere deres byggeri som særligt energieffektivt. For at kunne overholde denne lave energiramme kræves der en mere omfattende indsats med hensyn til isolering, tæthed, installationseffektivitet og eventuel brug af vedvarende energi.

Det vigtige er at bemærke at energirammen er en metode til at skabe fleksibilitet i byggeriet. Den giver bygherre og projekterende mulighed for at kompensere for mindre isolerende bygningsdele med bedre isolerende bygningsdele et andet sted. For eksempel kan man for en lidt mindre effektiv varmepumpe kompensere denne med bedre isolering eller en mere effektiv ventilation.

VARMEPUMPENS ROLLE I ENERGIRAMMEN

Varmepumper regnes som faste tekniske byggeinstallationer og indgår derfor i energirammeberegningen. Deres bidrag til rumopvarmning og varmt brugsvand skal medtages. Bygningsreglementet stiller ikke direkte krav til deres kapacitet eller effektivitet, men for at kunne overholde energirammeberegningen er man nødt til at vælge en varmepumpe, der er dimensioneret korrekt ift. varmebehovet og som er effektiv.

Energirammen udføres typisk i beregningsværktøjet Be18, som tager højde for bygningens geometri, orientering, klimaskærm, interne belastninger samt tekniske installationers ydeevne. I dette program vægtes elforbruget

til varmepumper højere end f.eks. varme produceret fra fjernvarme, hvilket stiller krav til korrekt indtastning og valg af installationsdata.

Som en fast byggeinstallation skal varmepumper også projekteres, installeres og vedligeholdes, så de ikke forbruger unødigt energi eller medfører en risiko for person- eller bygningsskader såsom forgiftning eller brand (Bygningsreglementet § 299 - § 300, 2018)

Har varmepumpen et elforbrug på mere end 3.000 kWh, skal dette måles og evt. el-patron skal forsynes med timetæller eller elmåler. Dette gælder for både nybyggeri og ved ny installation i eksisterende byggeri (Bygningsreglementet § 327, 2018)

ENERGIKRAV IHT ECODESIGN OG ENERGIMÆRKNING

EU ønsker et miljøvenligt design af energiforbrugende produkter, og stiller derfor en række minimumskrav til energieffektiviteten og miljøpåvirkning af varmepumper. Disse krav fremgår af Ecodesign-direktivet (2009/125/EF), som har til formål at begrænse EU-landenes energiforbrug og klimapåvirkning ved at fjerne de mindst energieffektive og mest miljøbelastende produkter fra markedet. For varmepumper stiller direktivet minimums krav til SCOP-værdien afhængigt af varmepumpes type. Det skal bemærkes at Ecodesignkravene og EU's energimærknings-ordning er tæt forbundet til hinanden igennem Ecodesign-direktivet. Det har siden 2013 været påkrævet at angive SCOP-værdien i energimærkningen i Europa (Energistyrelsen, c; M. Hvenegaard, 2019).

Varmepumper er omfattet af EU-forordningen under Ecodesign-direktivet, og skal derfor overholde kravene herfor (Bygningsreglementet § 250 og § 251 stk. 3, 2018).

ECODESIGNKRAV TIL VARMEPUMPER			
Energi-effektivitetsklasse	LTL Varmepumpe	LTV Radiator	LTV Gulvvarme
A+++	$5,10 \leq \text{SCOP}$	$3,83 \leq \text{SCOP}$	$4,45 \leq \text{SCOP}$
A++	$4,60 \leq \text{SCOP} < 5,10$	$3,20 \leq \text{SCOP} < 3,83$	$3,83 \leq \text{SCOP} < 4,45$
A+	$4,00 \leq \text{SCOP} < 4,60$	$2,53 \leq \text{SCOP} < 3,20$	$3,15 \leq \text{SCOP} < 3,83$
A	$3,40 \leq \text{SCOP} < 4,00$	$2,33 \leq \text{SCOP} < 2,53$	$2,95 \leq \text{SCOP} < 3,15$
B	$3,10 \leq \text{SCOP} < 3,40$	$2,13 \leq \text{SCOP} < 2,33$	$2,75 \leq \text{SCOP} < 2,95$
C	$2,80 \leq \text{SCOP} < 3,10$	$1,95 \leq \text{SCOP} < 2,13$	$2,58 \leq \text{SCOP} < 2,75$
D	$2,50 \leq \text{SCOP} < 2,80$	$0,98 \leq \text{SCOP} < 1,95$	$1,60 \leq \text{SCOP} < 2,58$

LTL varmepumper er omfattet af Lot10, hvor Ecodesignkravet og energimærkning er implementeret. Normalt er LTL varmepumper reversible og kan køle – så her stilles der krav både til deres varme- og køleudnyttelsesgrad (SCOP og SEER) (M. Hvenegaard, 2019).

STØJ

Varmepumper er omfattet af funktionskravet i Bygningsreglementet § 371, 2018 der omhandler støj fra udendørs tekniske installationer. Det betyder, at det med lydmålinger, skal sikres at varmepumpens støj ikke overstiger de fastsatte grænseværdier uden for vinduer og ved rekreative arealer, hvilket er 35 dB (A) LAeq og 50 dB (A) LpAmax for åben og lav boligbebyggelse og sommerhusområder. Dette gælder også for sammenbyggede enfamiliehuse. Kravet gælder både for den grund som varmepumpen er tilknyttet, men også dens nabogrunde. (BR18, vejledning: https://www.bygningsreglementet.dk/historisk/br18_version2/tekniske-bestemmelser/17/vejledninger/boliger/stoej-fra-tekniske-installationer-i-boliger/)

Med rekreative arealer menes der udendørs opholdszoner såsom altaner, terrasser og siddepladser. Dette omfatter ikke gangarealer, trapper og beplantninger.

Varmepumper kan forårsage støj både indvendigt og udvendigt, hvilket kan være generende. De har et højere støjniveau udvendigt. Split-systemer har et lavere indendørs støjniveau, da kompressoren er placeret udenfor. (M. Hvenegaard, 2019)

4.3 KLIMAKRAV

4.3.1 LIVSCYKLYSVURDERINGER OG DERES MODULÆRE OPBYGNING

Bæredygtigt byggeri er baseret på tre hovedsøjler som omfatter bygningens miljømæssige, sociale og økonomiske påvirkning. Den miljømæssige påvirkning eftervises med en livscyklusvurdering (Dansk Standard, 2012).

Ordet "livscyklusvurdering" er oversat fra det engelske udtryk "Life Cycle Assessment" som forkortes til "LCA": Udtrykket LCA bruges derfor i stedet for. Konceptet bag LCA opstod i 60'erne og begyndte særligt at tage form i løbet af 70'erne pga. energikrisen og den øgede interesse for miljøet og i at analysere et produkts miljømæssige påvirkninger.

En LCA analyserer graden af et produkts betydning for en række miljømæssige kategorier. Disse miljøpåvirkningskategorier kan opdeles i to grupper – dem som omhandler ressourceforbrug og dem som omhandler globale miljøproblemer. Ressourceforbruget omfatter bl.a. udtømning af abiotiske ressourcer¹⁵ samt forbrug af fossile brændstoffer¹⁶. De globale miljøproblemer kan omfatte produktets effekt på den globale opvarmning, ozonlagsnedbrydning, forsuring og næringssaltbelastning¹⁷. Miljøpåvirkningskategorierne kan variere fra LCA til LCA, nogle er obligatoriske, mens andre er tilføjet grundet deres relevans i forhold til det valgte produkt. Det analyserede produkt kan være alt fra en bygning til en byggevare eller til en byggeservice (DS/EN ISO 14040, 2008) .

Igennem LCA'en bliver produktets miljøpåvirkninger kortlagt systematisk og beregnet inden for udvalgte "livstrin", som spænder fra "vugge til grav" eller fra "vugge til vugge". LCA'en følger altså et produkt fra det bliver produceret til det bliver skottet eller genanvendt. En LCA afdækker det valgte produkts klimaaftryk fra anskaffelsen af råvarer til bortskaffelse eller genanvendelse af råvarer. Den synliggør, hvor og hvor meget energi og hvilke ressourcer, der bruges i de respektive livstrin. En LCA kan derfor anvendes til forbedringstiltag ift. en virksomheds energiforbrug og affaldshåndtering men også til udvikling af målemetoder og markedsføring (DS/EN ISO 14040, 2008).

¹⁵ Abiotiske ressourcer er naturressourcer, som ikke stammer fra levende organismer. Det omfatter bl.a. mineraler, vand og solenergi.

¹⁶ Fossile brændstoffer er ikke-fornybare energikilder såsom kul, olie og gas. Fossile brændstoffer er det modsatte af vedvarende energikilder såsom sol- og vindenergi.

¹⁷ Miljøpåvirkningskategorierne er nærmere behandlet under afsnit 4.3.2 på side 43.

Begrebet LCA blev internationalt standardiseret i 1990'erne med ISO 14040-serien. Dette gjorde det muligt at sammenligne miljøpåvirkningen fra forskellige produkter inden for den samme produktkategori. Derved kunne man som forbruger vælge det produkt som belastede miljøet mindst muligt. Serien består af flere standarder, men de primære standarder som dækker over den generelle metode for en livscyklusvurdering er:

- **ISO 14040:** Miljøledelse – livscyklusvurdering – Principper og rammer, som forklarer de overordnede principper og rammer for en livscyklusvurdering. Den gælder bredt på tværs af brancher og produkter, og giver en grundlæggende introduktion til livscyklusvurderinger.
- **ISO 14044:** Miljøledelse – Livscyklusvurdering – Krav og vejledning, som giver mere detaljerede krav og vejledninger til selve udførelsen af en livscyklusvurdering.

For at gøre LCA metoden ensartet og brugbar inden for byggeriet, blev der efterfølgende udgivet disse standarder specifikt for byggebranchen:

- **EN 15978**, som angiver hvordan man udfører en livscyklusvurdering for en hel bygning
- **EN 15804**, som angiver den generelle metodik for livscyklusvurderinger af byggematerialer og som danner grundlaget for miljøvaredeklarationer

EN 15978 definerer en struktureret metode til at vurdere en bygnings miljøpåvirkning gennem hele dens livscyklus. For at medtage alle faktorer korrekt på tværs af bygningens levetid, opdeles levetiden i faser, som igen opdeles i moduler som vist i tabel 10.

Hvert modul defineres med en systemgrænse, der omfatter den kæde af processer der er nødvendig for at gennemføre modulets funktion. Denne modulære opbygning sikrer, at alle delprocesser og deres aspekter relateret til forbrug, spild og affald kun medtages inden for det modul, som afføder dem. På denne måde placeres miljøpåvirkningerne separat inden for hvert modul, hvilket også giver større transparens og sammenlignelighed (Dansk Standard, 2012).

Systemgrænserne underopdeles i enhedsprocesser og deres indbyrdes sammenhæng afklares. Herefter kortlægges alle input (materialer og energi) og output (affald og emissioner) for hver enkelt enhedsproces. Dette gør det nemmere at identificere, hvor man kan forbedre eller reducere miljøpåvirkningerne.

Faser	A1-3			A4-5		B1-7							C1-4				D
	Produkt			Bygge-proces		Brug							Endt levetid				Uden for projekt
Moduler	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	
	Råmaterialer	Transport	Fremstilling	Transport	Opførelse	Brug	Vedligeholdelse	Reparation	Udskiftning	Renovering	Energiforbrug til drift	Vandforbrug i drift	Nedtagning/nedrivning	Transport	Forbehandling af affald	Bortskaffelse	Genanvendelse, genbrug eller anden nyttiggørelse
	Klimapåvirkning inden ibrugtagning					Klimapåvirkning i brugsfasen							Klimapåvirkning ved endt levetid				Udenfor system*

Tabel 10: Her ses en afbildning af det modulære system som det er defineret i EN 15978:2012. De mørkeblå moduler er dem som skal medtages i klimadokumentationen iht. BR18. * Her menes der klimapåvirkningen uden for systemgrænsen.

4.3.2 MILJØPÅVIRNINGSKATEGORIER

Inden for hvert modul i livscyklussen opgøres resultatet af klimapåvirkningen som sagt inden for en række indikatorer som repræsenterer de forskellige miljøpåvirkningskategorier (Dansk Standard, 2012).

Forskellige stoffer kan påvirke en miljøkategori i større eller mindre grad. For at gøre påvirkningen fra de forskellige stoffer sammenlignelige, angives hvert stof som en ækvivalent af en referenceenhed. Det enkelte stofs styrke eller påvirkningsgrad omregnes til en fælles referencestørrelse (ækvivalenten), så man kan angive en samlet miljøpåvirkning med den samme værdi.

F.eks. bruges CO₂-ækvivalenter inden for kategorien global opvarmning:

1 kg CO₂ har som referencestoffet en emissionsværdi på: 1 GWP

1 kg CH₄ har en emissionsværdi svarende til 25 kg CO₂ på: 25 GWP

Dette giver i alt 26 GWP

Generelt bør byggevarer, som skal anvendes i bygninger, der er omfattet af EN 15978:2012, som minimum have nedenstående miljøpåvirkningskategorier angivet i deres miljøvaredeklaration (DS/EN 15804:2012+A2:2019, 2019).

Miljøpåvirkningskategorierne er defineret i DS/EN 15804, men det er vigtigt at være opmærksom på, at definitionerne kan variere afhængigt af, hvilken udgave af standarden der anvendes. Med indførelsen af den nye standardversion A2:2019 som afløste versionen A1, blev nogle af referenceværdierne ændret. Dette skyldtes ny forskning som gav mere nøjagtige beregningsmetoder for nogle af miljøpåvirkningskategorierne.

Dette betyder at man ikke kan sammenligne nogle værdier fra de to versioner med hinanden (One Click LCA, 2024).

GLOBAL OPVARMNING

Denne kategori angiver bidraget til global opvarmning som følge af udledte drivhusgasser¹⁸. Det vil sige at man ikke kun betragter CO₂ udledningen, men man betragter alle drivhusgasser inklusive CO₂ som udledes. Bygningsreglementets klimakrav forholder sig desuden kun til denne kategori.

Oprindeligt var denne indikator udtrykt under en samlet referenceværdi (GWP) i EN 15804+A1, hvor den blev opgjort i CO₂-ækvivalenter. I EN 15804+A2 er denne indikator splittet op i følgende tre kategorier:

- **Global opvarmning – fossil (GWP-fossil)**, som opfatter CO₂ og andre drivhusgasser fra fossile kilder og opgøres i CO₂-ækvivalenter. Det er denne kategori som kommer tættest på den gamle GWP værdi fra EN 15804+A1
- **Global opvarmning – biogen (GWP-biogen)**, som omfatter CO₂-emissioner og -optag fra biogene kilder såsom træ og biomasse
- **Global opvarmning – ændring i arealanvendelse og arealanvendelsesændringer (GWP-luluc)**, som omfatter emissioner relateret til ændringer i arealanvendelse såsom skovrydning (One Click LCA, 2024)

Ofte bliver disse tre kategorier lagt sammen under "global opvarmning – total" (GWP-total).

Primære bidragsydere (Stranddorf et al., 2005):

- Carbondioxid (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Nitrogenoxid (N₂O)
- **CFC-gasser**
- **HFC- og HCFC-gasser**
- Haloner
- Tetrachlormethan
- 1,1,1-trichlorethan
- Carbonmonoxid (CO)

¹⁸ Global opvarmning er yderligere beskrevet under afsnit 4.3.9

OZONLAGSNEDBRYDNING (ODP)

Denne kategori angiver omfanget af ozonnedbrydende gassers effekt på ozonlaget. Det stratosfæriske ozonlag i vores atmosfære beskytter dyr, planter og mennesker på jorden mod skadelig ultraviolet stråling (UV-stråling). Nogle gasser nedbryder O₃ ozonmolekylerne, så der opstår huller i ozonlaget – dette ses særligt ved polerne. Disse gasser kaldes også for F-gasser og ønskes på internationalt niveau at blive reguleret og udfaset iht. Montreal Protokollen. Gasser som bidrager til denne miljøpåvirkning er tilstrækkeligt stabile til at kunne nå stratosfæren og som kan frigøre klor eller brom, der derefter kan at indgå i en kemisk nedbrydning af ozon (Stranddorf et al., 2005).

Primære bidragsydere:

- **CFC-gasser**
- **HCFC-gasser**
- Tetrachlormethan
- 1,1,1-trichlorethan

I både EN 15804+A1 og A2 opgøres enheden for denne kategori som CFC-11-ækvivalenter. Dog kan man stadig ikke sammenligne de to værdier, da de er baseret på forskelligt beregningsgrundlag i de to versioner af standarden (One Click LCA, 2024).

FOTOKEMISK OZONDANNELSE (POCP)

Ozon kombineret med VOC'er i troposfæren eller ved jordoverfladen udgør et giftigt stof for både planter og mennesker. Enheden opgøres i kg Ethen-ækvivalenter eller kg NMVOC-ækvivalenter

Relevante bidragsydere:

- NO_x
- VOC'er inklusiv CH₄
- CO₂

FORSURING (AP)

Denne kategori udtrykker omfanget af forsuring af jord og vandløb eller syreregn, hvilket kan forårsage skovdød eller døde søer.

Enheden kan angives i enten mol H^+ -ækvivalenter eller i kg SO_2 -ækvivalenter.

Bemærk at man ikke direkte kan sammenligne resultater i forskellige ækvivalenter med hinanden. Der kan foretages en omregning, hvis man har en omregningsfaktor¹⁹.

Primære bidragsydere:

- **CFC-gasser**
- **HCFC-gasser**
- Tetrachlormethan
- 1,1,1-trichlorethan

NÆRINGSSALTBELASTNING (EP)

Påvirkningen kommer til udtryk som iltvind i søer og kystvande grundet næringssaltbelastninger.

Enheden angives i kg PO_4^{3-} -ækvivalenter.

Primære bidragsydere:

- NO_x
- NH_3

UDTØMNING AF ABIOTISKE RESSOURCER – GRUNDSTOFFER (ADPE)

Påvirkningen skyldes et højt forbrug af abiotiske ressourcer som kan føre til udtømning af metaller eller mineraler

Enheden angives i MJ.

UDTØMNING AF ABIOTISKE RESSOURCER – FOSSILE BRÆNDSLER (ADPF)

Påvirkningen skyldes et højt forbrug af abiotiske ressourcer som kan føre til udtømning af fossile brændstoffer.

Enheden angives i kg Sb^- -ækvivalenter.

¹⁹ Omregningsfaktoren afhænger af hvilken metode der er anvendt som beregningsgrundlag for ækvivalenten og hvilke stoffer der er inkluderet i metoden.

PRIMÆRENERGIFORBRUG (PERT)

Påvirkningen skyldes et højt forbrug af ressourcer som kan føre til udtømming af naturlige ressourcer.

Enheden angives i MJ eller kWh

FORBRUG AF SEKUNDÆRE BRÆNDSLER (NRSF)

Påvirkningen skyldes et højt forbrug af begrænsede ressourcer (f.eks. affald) som indirekte kan føre til resourceknaphed

Enheden angives i MJ eller kWh

4.3.3 BYGNINGSREGLEMENTETS KLIMAKRAV

Den nationale strategi for bæredygtigt byggeri blev vedtaget d. 5. marts 2021 og satte rammerne for at indføre en række initiativer for at reducere byggeriets CO₂-udledning i Danmark. Et af initiativerne omfattede indfasningen af klimakravene og grænseværdierne for klimaaftrykket i bygningsreglementet, hvilket kommer til at løbe frem til 2029 (Social- og Boligstyrelsen, b).

Dette medførte, at der fra januar 2023 har været krav om, at der for nybyggeri skal udføres en livscyklusvurdering, som angiver bygningens klimapåvirkning i forhold til global opvarmning. Miljøpåvirkningen regnes med en 50 års betragtningsperiode, hvor udskiftninger også skal inkluderes.

Derudover er der indført grænseværdier for klimapåvirkningen. Grænseværdien udtrykkes som en maksimal værdi for hvor meget drivhusgasudledning en bygning må forårsage over dens livscyklus. Dette opgøres som antal kg CO₂-ækvivalenter pr. kvadratmeter pr. år (Bygningsreglementet §297 stk. 2, 2018)

Indtil d. 30. juni 2025 er grænseværdien for nybyggeri med et opvarmet etageareal på over 1000 m² på 12,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år.

Derudover er der en frivillig grænseværdi på 8,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år for lavemissionsklassen, som giver bygherre mulighed for at bygge med et lavere klimaaftryk (Bygningsreglementet §298, 2018).

Fra d. 1. juli 2025 bliver enfamilieshuse også omfattet af grænseværdierne, som kommer til at ligge således (Social- og Boligstyrelsen, a):

- 6,7 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år fra 2025
- 6,0 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år fra 2027
- 5,4 kg CO₂-ækvivalenter pr. m² pr. år fra 2029

Der er i bygningsreglementet ikke krav om hvilket værktøj der skal anvendes til livscyklusvurderingen, men blot at beregningsforudsætningerne samt dokumentationskravet skal være overholdt.

Livscyklusvurdering af varmepumper

Fase A1-A3 og modul C3-C4 medtages for hver gang en byggevare udskiftes.

4.3.4 BYGGEMATERIALERS MILJØVAREDEKLARATION

Der findes tre hovedtyper af miljøvaredeklARATIONER og de kategoriseres som type I, II og III²⁰. En LCA-beregning af et byggemateriale anvendes som grundlaget for udarbejdelsen af et byggematerialets type III miljøvaredeklARATIONER. En type III miljøvaredeklARATIONER er altså en uafhængig tredjeparts certificeret LCA og indeholder resultatet af LCA-beregningen uden at videregive producentens underleverandører eller produktionsmetoder. (ISO 14025)

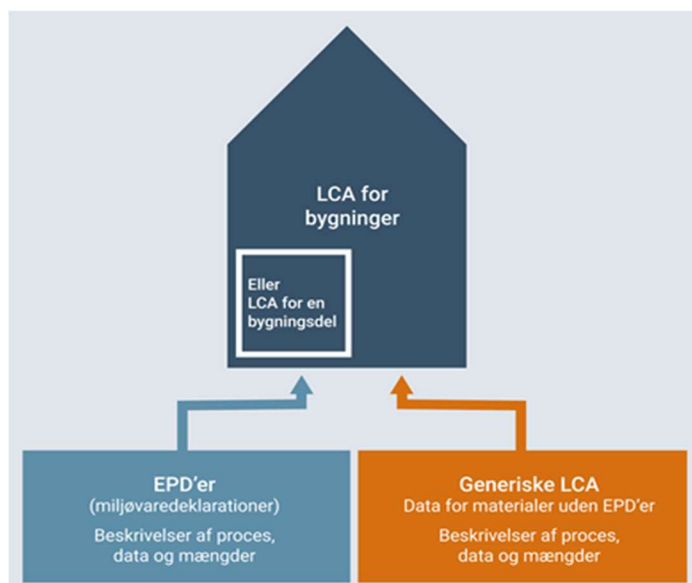
Iht. EN 15804:2012 findes der overordnet følgende to kategorier for type III miljøvaredeklARATIONER:

- **De produktspecifikke deklARATIONER**, som er baseret på et konkret produkt fra en bestemt producent. Disse er udarbejdet efter faktiske data fra produktionen og repræsenterer virkelige forhold. Det antages at disse er mere fordelagtige at bruge i LCA beregningen, da de kan vise et lavere miljøpåvirkning end gennemsnitsdata
- **De branchespecifikke deklARATIONER**, som er baseret på et gennemsnit af produkter fra flere producenter. Disse er udarbejdet efter såkaldt generisk data fra en brancheforening eller en gruppe af producenter

Der findes mange forskellige uafhængige tredjeparts organisationer som udsteder type III miljødeklARATIONER. I Danmark kendes bedst EPD Danmark, som er en national gren af EPD International. De udsteder type III miljøvaredeklARATIONER under betegnelsen EPD, hvilket kommer af det engelske udtryk "Environmental Product Declaration". EPD miljøvaredeklARATIONER udarbejdes efter ISO 14025 og EN 15804.

²⁰ Type I deklARATIONER omfatter miljømærkning såsom Svanemærket og udstedes af en uafhængig organisation. Type II deklARATIONER omfatter egen erklæring såsom "miljøvenlig" udført af producenten selv. Type III deklARATIONER omfatter den egentlige miljøvaredeklARATIONER udstedt af producenten og en uafhængig tredjepart. (ISO 14020)

I relation til varmepumper findes der PEP Ecopassport, som er et brancheinitiativ for EI- og HVAC-produkter. De har deres egen database og certificeringsproces specifik for varmepumper. De udsteder også type III miljøvaredeklarationer blot iht. ISO 14025 og EN 50693 med forkortelsen PEP. Den branche- og produkt-specifikke standard EN 50693 er udarbejdet således at den kan bruges i stedet for EN 15804 da de to standarder følger den samme metodik. PEP miljøvaredeklarationer er altså baseret på LCA-beregninger specifikt udformet til elektriske og HVAC-R produkter.



Figur 7: Sammenhængen mellem LCA og EPD

4.3.5 GENERISK DATAGRUNDLAG

I miljøvaredeklarationer kan man anvende generisk data, som er generelle standardiserede miljøpåvirkningsværdier, som ikke er specifikke for et bestemt produkt. De findes i offentligt tilgængelige databaser såsom ÖKOBAUDAT. De er ikke lige så præcise som produktspecifikke værdier, men de bruges når disse ikke er tilgængelige. Dette er primært under de LCA moduler, hvor producenten ikke har en direkte indflydelse på processerne såsom ved råvareudvinding (A1-A3), drift (B1-B7) og affaldshåndtering (C1-C4). (EN 15804)

Ved brug af generiske datasæt som ikke omfatter alle moduler i et produkts livscyklus, skal det manglende data indtastes med konservative antagelser. Det vil sige at man godt må udfylde en miljøvaredeklaration med standard antagelser, hvis disse ikke er optimistiske, for at undgå en undervurdering af miljøpåvirkningen.

4.3.6 RELATIONEN MELLEM EPD OG PEP

I EN 50693 Bilag D forklares det, hvordan resultater fra denne standards LCA beregninger omsættes og tilpasses strukturen i EN 15804. Af Bilag D fremgår det at følgende to grundlæggende principper fra EN 15804 er implementeret i EN 50693:

- Forureneren betaler, hvilket vil sige at en miljøpåvirkning pålægges den delproces der afføder den
- Det modulære system, hvor delprocesserne placeres i de livscyklusfaser som de opstår i

Af tabel 11 fremgår det, hvordan livscyklusfaserne i EN 50693 svarer til modulerne i EN 15804. Det skal bemærkes at EN 50693 medtager fordele og undgåede belastninger under de enkelte livscyklusstadier, hvorimod EN 15804 samler disse påvirkninger under modul D. Hvis en PEP derfor skal være sammenlignelig med en EPD, skal PEP'en udformes således at fordele og undgåede belastninger samles under fasen "fordele/påvirkninger uden for system".

Man bør også tjekke om de miljøvaredeklarationer som man sammenligner, er baseret på den nyeste version af standarderne, da der kan være forskellige krav til karakteriseringsmetoder og miljøparametre i ældre versioner.

Relationen mellem opdelingen af livscyklus	
PEP	EPD
Livscyklusstadie	Livscyklusmodul iht.
EN 50693 + ISO 14025	EN 15804 + ISO 14025
Fremstilling	A1-A3
Distribution	A4
Installation	A5
Brugsfasen	B1-B7
Nedrivning	C1
Endt Levetid	C2-C4
Fordele/påvirkninger uden for system	D

Tabel 11: Kilde fra tabel D.1 i EN 50693 Bilag D.

Derudover danner EN 50693 sammen med ISO 14040 og ISO 14044 grundlaget for både produktkategorireglerne (PCR) og de produktspecifikke regler (PSR) for elektroniske og elektriske produkter og systemer. PCR angiver de overordnede krav og retningslinjer for, hvordan en livscyklusvurdering (LCA) skal udføres for en eller flere produktkategorier, mens PSR indeholder mere detaljeret krav, der gælder for en bestemt produkttype.

4.3.7 KØLEMIDLERS POTENTIALE FOR GLOBAL OPVARMNING

Kølemidlers GWP angiver hvor stort dets drivhuseffekt er ift. CO₂ over en bestemt tidshorisont – typisk over 100 år. Denne GWP værdi er alene et mål for kølemidlets klimamæssige virkning ved, hvor meget varme det fanger i atmosfæren, hvis det slippes ud. Det omfatter ikke emissioner fra resten af kølemidlets livscyklus såsom produktion, transport og bortskaffelse. I tabel 12 ses GWP100 og GWP20 for udvalgte kølemidler. Det ses at R32 har en langt højere påvirkning på global opvarmning inden for de første 20 år det befinder sig i atmosfæren.

SAMMENLIGNING AF FORSKELLIGE TYPER KØLEMIDLER

Kølemiddel	R717 NH ₃	R410a	R32	R290 Propan	R744 (CO ₂)
GWP100 (AR6) ²¹	0	2256	771	0,02	1
Sikkerheds- kasse	B2L	A1	A2L	A3	A1
Brændbarhed	Let brændbar	Ikke brandbar	Let brændbar	Meget brændbar	Ikke brændbar
Toksicitet	Høj	Lav	Lav	Lav	Lav

Tabel 12: Her ses et udpluk af kølemidler. Standarden EN378-1 klassificerer kølemidlers sikkerhedsklasse efter to hovedkriterier – brændbarhed (1=ikke brændbar, 2L=let brændbar, 2=brændbar, 3=meget brændbar) og toksicitet (A=lav giftighed, B=høj giftighed).

SPILD OG LÆKAGE

IPCC er et videnskabeligt organ under FN der i Danmark kendes som FN's Klimapanel. De indsamler og vurderer videnskabelige studier omkring klimaet, og har derfor en database som indeholder den nyeste forskning om udledningen af F-gasser.

IPCC har udgivet en rapport som fungerer som guideline²² til estimering af lækage fra varmepumper. Ifølge rapporten skyldes emissioner fra varmepumper lækager fra fittings, samlinger og serviceoperationer. Varmepumper som præfyldes på fabrikken har en lavere årlig lækagerate end varmepumper som fyldes ved montagen. Rapporten angiver at

²¹ GWP100 er et udtryk for kølemidlets drivhuspåvirkning over 100 år. Værdien er fastsat efter IPCC rapport AR6 fra d. 7. august 2024, som fastsætter de nyeste GWP værdier.

²² 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

varmepumper med en kølemiddelpåfyldning mellem 0,5 og 100 kg har følgende standard emissionsfaktorer:

Emissions faktor (% af maksimal påfyldning pr. år):

- 0,2 til 1 ved påfyldning af kølekredsen
- 1 til 10 årligt under hele levetiden (fra 10 til 20 år)

Emission ved endt levetid (%):

- 0 til 80 genindvinding af kølemidlet ved skrotning (hvor 0 angiver man i nogle lande slet ikke genindvinder kølemidlet)
- 0 til 80 tilbageværende kølemiddel ved skrotning

Derudover henviser rapporten til resultaterne fra 2 forskellige studier hvoraf resultaterne omhandlende mindre varmepumper til boliger og fremgår af tabel 13.

Studie	Varmpumpe type	Årlig lækagerate (% af maximal påfyldning)	Genindvinding ved skrotning
Californien 2008	Monobloc A/C ≤ 22,7 kg Centralt monteret	10%	44%
Californien 2008	Monobloc A/C ≤ 22,7 kg Vinduesmonteret	2%	0%
Japan 2008	Små varmepumper	2%	-
Japan 2008	Varmepumper til boliger og kommerciel brug	3% - 4,5%	-

Tabel 13: Disse emissionsfaktorer kan ifølge IPCC anvendes for den samlede kategori "Residential and Commercial A/C, including Heat Pumps". Kategorien må anvendes for en varmepumpe, hvis der ikke foreligger produktspecifikke data for den.

Den danske rapport "Danish consumption and emission of F-gasses – 2023" gør brug af en **Tier II-metode**²³ defineret af IPCC. Meget forenklet går metoden ud på at man estimerer emissionen fra varmepumper på et nationalt niveau, ved at holde mængden af indkøbt og brugt kølemiddel op mod antallet af solgte varmepumper i Danmark. Metoden betragtes som meget præcis ifølge IPCC's retningslinjer. Resultatet af rapporten fremgår af tabel 6.

Studie	Varmepumpetype	Årlig lækagerate under drift (%)	Refill-lækage (%)	Genindvinding ved skrot (%)	Emission ved skrot (%)
Danmark 2023	Ældre system fra 1990 til 2009	10	1,5	-	-
Danmark 2023	Moderne system, bedre tæthed	3	0,5	88,5	11,5

Tabel 14:

KONCEKVENSEN AF SPILD OG LÆKAGE

Flere undersøgelser er kommet frem til at varmepumpens kapacitet og COP reduceres når varmepumpens tiltænkte påfyldningsmængde reduceres.

F.eks. undersøger rapporten "Stydy on the impacts of refrigerant leakage" forskellige hastigheder af lækagen og hvilken betydning det har for varmepumpens COP-værdi. Den kommer frem til at ved hurtig lækage på 20 g/min lækage over 45 minutters drift så falder COP værdien med ca. 10 % for R134a og ca. 8,35 % for R513A.

Rapporten "*Impacts of Leakage from Refrigerants in Heat Pumps*" (2014) kommer frem til at en underfyldning af kølemidlet på 10% kan medføre et fald for COP på ca. 3% ved opvarmning og på ca. 15 % ved køling. Ved 40% underfyldning af kølemidlet faldt COP med ca. 45 % i varmefunktion og 24% i kølefunktion.

Derudover giver den danske rapport "*Danish consumption and emission of F-gasses – 2023*" udtryk for udfordringer i forbindelse med nedtagning af LTL varmepumper i enfamiliehus, hvor spild ved skrot kan være op til 20% ved ufaglært eller fejlbehæftet demontering.

4.3.8 HVILKE MODULER PÅVIRKES AF VARMEPUMPENES KØLEMIDDEL

Varmepumpens kølemiddel kan udgøre en væsentlig miljøfaktor på grund af deres høje drivhuspotentiale. I relation til eftervisning af bygningers klimagrænse i BR18 er det nødvendigt også at tage hensyn til klimapåvirkningen fra spild og lækage af kølemidler. Disse lækager kan forekomme både under varmepumpens brugstid (B1), under dens vedligeholdelse (B2) og ved dens skrotning (C1) (Balouktsi & Birgisdottir, 2023).

I nedenstående tekst gennemgås hvad modulerne omfatter som beskrevet i EN 15804:2012+A2:2019 og om der derfor kunne forventes at være en betydelige påvirkning fra kølemidlet i modulet. Formålet er at synliggøre hvornår og hvordan kølemidlet kan have betydning for miljøvurderingen.

Det komplette modulære system iht. EN 15978 er vist i tabel 10, men BR18 kræver kun klimadokumentation for de fremhævede moduler som omfatter modul A1-A3, A4, A5, B4, B6, C3, C4 og D. Modul D skal medtages i LCA-beregningen, men behøver ikke at indgå i overholdelse af grænseværdien for bygninger over 1000 m².

MODUL A1: RÅMATERIALER

Her medtages miljøpåvirkninger fra udvinding og forarbejdning af råmaterialer samt produktion af energi.

- Kølemediet kan betragtes som et råmateriale og bør derfor påvirke GWP potentialet. Fluorholdige kølemidler (så som HFC'er) er meget energikrævende at producere, mens propan ikke er energikrævende at producere.

MODUL A2: TRANSPORT

Omfatter transport af materialer til produktionsstedet.

MODUL A3: PRODUKTION

Omfatter fremstilling af byggevarer inkl. emballage og energi.

- Kølemediet præfyldes i kølekredsen ved nogle varmepumpetyper – såsom monobloc systemer. Risikoen for kølemiddeludslip ved påfyldning på fabrik kan ske og skal medtages under dette modul

MODUL A4: TRANSPORT TIL BYGGEPLADS

Omfatter transporttype og – afstande. Opbevaring og distribution fra mellemlager er inkluderet.

- Kølemediet antages ikke at lække under transport.

MODUL A5: INSTALLATION

- Her medtages opsætning og evt. påfyldning af varmepumpen. Der er en potentiel risiko for lækage, og udslip skal inkluderes i LCA beregningen.

MODUL B1: BRUG

Omfatter direkte miljøpåvirkninger under normal drift. Omfatter udledning og afgasning af stoffer fra byggevarer. Dækker kun emissioner. Vand- og energiforbrug tages ikke med her, men under faserne B6 og B7,

- Den årlig lækage fra varmepumper bør indregnes under dette modul.

MODUL B2: VEDLIGEHOLDELSE

Omfatter planlagte tekniske og administrative handlinger for at opretholde funktion, teknisk ydeevne og æstetik. Omfatter desuden rengøring og

småreparationer inkl. produktion og transport af vedligeholdelsesmaterialer samt affaldshåndtering. Her medtages vand- og energiforbrug.

- Genpåfyldning af kølemiddel bør indregnes under dette modul

MODUL B3: REPARATION

Omfatter inspektion samt udførelse af udbedringer for at bringe produktet tilbage til funktionsdygtig tilstand. Dette omfatter reparationscyklus opgjort i antal gange pr. år eller levetid. Brugte materialer og energi til udførelse af reparationer medtages. Her medtages affald og vandforbrug.

MODUL B4: UDSKIFTNING

Omfatter komplet udskiftning af enheden eller dele heraf i løbet af dets levetid. Her medtages produktion og transport af reservedele samt vand- og energiforbrug under udskiftningen.

MODUL B5: RENOVERING

Omfatter større istandsættelser som kombinerer vedligeholdelse, reparation eller udskiftning.

MODUL B6: ENERGIFORBRUG TIL DRIFT

Omfatter driftsrelateret energiforbrug til varme, køling ventilation og belysning. Her medtages energiforbrug fra bygningens tekniske systemer og affaldsbehandling fra energianvendelsen

MODUL B7: VANDFORBRUG I DRIFT

Omfatter driftsrelateret vandforbrug til sanitære systemer, befugtning og ventilation. Her medtages vandforbrug fra bygningens tekniske systemer samt produktion og behandling af spildevand.

C1: NEDTAGNING/NEDRIVNING

Omfatter demontering og nedrivning af enheden fra bygningen. Her medtages adskillelse, fjernelse og sortering på stedet samt det til arbejdet forbrugte energi og udstyr.

C2: TRANSPORT

Omfatter transport af affald og kasserede materialer til sortering eller genbrugsanlæg. Her medtages modellerede transportafstande og det dertilhørende brændstofs forbrug

C3: FORBEHANDLING AF AFFALD

Omfatter behandling af materialer som sendes til genbrug, genvinding eller energigenvinding. Dette inkluderer opdeling i affaldsfraktioner og forbehandling (neddeling/sortering)

C4: BORTSKAFFELSE

Omfatter materialer som ikke genanvendes eller bruges til energigenvinding, som deponering eller forbrænding uden nyttiggørelse. Inkl. fysisk forbehandling og håndtering på losseplads. Her medtages alle miljøpåvirkninger fra disse processer.

D: GENBRUG/GENANVENDELSE

Omfatter potentielle miljømæssige gevinster eller belastninger ved genbrug, genvinding, genanvendelse og energiudnyttelse af sekundære materialer som forlader produktsystemet

Lækagepåvirkningen for B1 kan beregnes med følgende formel (Balouktsi & Birgisdottir, 2023):

$$B1_{refr} = GWP_{refr} \cdot m \cdot r \cdot t$$

Hvor

GWP_{refr} = klimapåvirkning pr.kg.kølemiddel (kg CO₂-ækvivalenter)

m = maksimal kølemiddelspåfyldning i kg

r = årlige lækagerate i %

t = varmepumpens levetid i år

Tilsvarende beregning kan udføres for C1 modulet.

4.3.9 UDFASNINGEN AF PROBLEMATISKE KØLEMIDLER

Ligesom kuldioxid, metan og lattergas er nogle kølemidler stærke drivhusgasser. En drivhusgas defineres som en gasart i atmosfæren, der absorberer og udsender infrarød stråling, hvilket bidrager til den globale opvarmning af Jordens atmosfære – dette kaldes også for drivhuseffekten. De forskellige kølemidler bidrager i større eller mindre grad til disse to miljøbelastninger – drivhuseffekten og ozonlagseffekten – hvilket gør visse kølemidler meget problematiske at anvende. (IPCC AR6, 2021) (Miljø og Ligestillingsministereiet, Kølemidler)

Historisk har man internationalt forsøgt at regulere brugen af problematiske kølemidler siden 1987, hvor man her vedtog Montreal-protokollen som havde til formål at udfase de ozonnedbrydende CFC- og HCFC-gasser. Dette medførte indirekte til et øget forbrug af HFC-gasserne, som viste sig at fremme drivhuseffekten i stedet for.

Derfor vedtog man i 1997 Kyoto-protokollen, hvor F-gasser officielt blev anerkendt som drivhusgasser. Landene forpligtede sig til at reducere

udledningen af bl.a. HFC-gasser og CO₂²⁴. (Würth) I 2016 indgik man globalt Kigali-aftalen, som et tillæg til Montreal-protokollen, om at udfase HFC-gasserne gradvist. Aftalen sigter mod at reducere HFC-udslip med over 80% frem mod 2047. (UN Environment programme)

I 2006 kom den første EU-lov specifikt målrettet de særligt kraftige F-gasser – som derfor blev kaldt F-gasforordningen. Den har siden da været revideret løbende, hvoraf den nyeste revidering trådte i kraft den 11. marts 2024. Med F-gasforordningen stiller EU-direktivet strengere krav til at kontrollere og reducere forbruget af HFC-gasser inden for EU med en nedtrapningsplan, hvor målet er en netto-nul udledning²⁵ i 2050. (Danfoss, 2024)

Nedtrapningsplanen omfatter en trinvis reduktion i udbuddet af HFC-gasser via en kvoteordning, som styrer, hvor meget HFC-gas der må markedsføres i EU. Mængden angives i CO₂-ækvivalententer. Tanken er at fremme et skifte til kølemidler med en lav klimapåvirkning uden samtidigt at skabe forsyningsproblemer. (EU F-Gas Regulation Handbook 2024).

Ved markedsføring²⁶ af varmepumper indføres der forbud mod kølemidler med høj GWP som angivet i tabel 15. Dette betyder at små varmepumper til enfamilieshuse med kølemidler som R410a (GWP100 = 2.256) og R32 (GWP100 = 771) ikke må sælges i EU efter januar 2027. Varmepumper med naturlige kølemidler såsom R290 (GWP100 = 0,02), R744 (GWP100 = 1) og NH₃ (GWP100 = 0) vil kunne overholde de fremadrettede krav.

Forbud mod markedsføring af kølemidler i varmepumper			
Systemtype	Effektgrænse	GWP-grænse	Indtrædelse
Monoblock	≤ 12 kW	≥ 150	1. januar 2027
Monoblock	> 12 kW	≥ 150	1. januar 2030
Monosplit	≤ 3 kg HFC	≥ 750	1. januar 2025
Monosplit	≤ 12 kW	≥ 150	1. januar 2029
Multisplit	Alle	≥ 150	1. januar 2032
Multisplit	> 12 kW	≥ 750	1. januar 2035

²⁴ Kyoto-protokollen omfattede HFC, PFC og SF₆ samt CO₂ og Metan

²⁵ Netto-nul udledning betyder, at mængden af udledte drivhusgasser til atmosfæren er lige så stor som mængden der fjernes igen fra atmosfæren

²⁶ Med markedsføring skal det forstås som at produktet sælges. Dette vil sige at varmepumper købt før reglerne trådte i kraft, stadig godt må monteres efterfølgende.

Tabel 15: her ses begrænsningerne for hvilken type kølemiddel man må anvende afhængigt af varmepumpetyper. Det ses at mindre varmepumper typisk anvendt til enfamiliehuse (effekt mindre end 12 kW) påvirkes i første omgang. Større anlæg påvirkes først fra 2030. Systemtyperne er beskrevet under afsnit 4.1.3

I forhold til genpåfyldning af varmepumper ved service vil det fra 1. januar 2026 ikke være lovligt at bruge nyproduceret kølemiddel med en GWP på over 2500 ved vedligeholdelse af varmepumper. Man må dog godt bruge genanvendt kølemiddel med en GWP over 2500 indtil 2032. Dette kan have betydning for om en varmepumpe skal udskiftes før endt levetid, hvis den ikke kan genpåfyldes med et kølemiddel med lav GWP. (European Union)

I forhold til selve udførelsen af service på varmepumper kræves det at kun certificerede operatører udfører vedligeholdelsen på varmepumper med fluorholdige gasser. Der skal føres logbog over kontroller, påfyldninger og genindvendig af kølemedlet. Operatøren skal sikre at varmepumpen kontrolleres regelmæssigt for lækager hvis den indeholder mere end 5 ton CO₂-ækvivalenter. Desuden skal alle fluorholdige gasser genindvindes ved service eller bortskaffelse af varmepumpen. (European Union)

National regulering i Danmark og F-gasforordningen har medført et fald i anvendelsen af F-gasser i Danmark. (Miljø og Ligestillingsministeriet, Kølemidler).

TEKNOLOGISKE OG PRAKTISKE FORHOLD VED LOW-GWP KØLEMIDLER

Overgangen til naturlige kølemidler – eller low-GWP kølemidler er altså ikke helt uden tekniske og økonomiske udfordringer. Men de udgør en vigtig del af den grønne omstilling og har et lavere klimaaftryk.

Ved anvendelsen af de naturlige kølemidler såsom R290 (propan), R744 (kuldioxid) og R717 (ammoniak) er der betydelige miljømæssige fordele på grund af deres ekstremt lave eller nul GWP-værdier. Der er dog en række teknologiske og sikkerhedsmæssige udfordringer ved overgangen til disse kølemidler. Dette skal håndteres gennem standarder, designkrav og kompetenceudvikling.

BRÆNDBARHED

Hydrocarboner som R290 (propan) er klassificeret som A3-kølemidler (høj brandbarhed og lav toksicitet) iht. ISO 817 og EN 378-serien (ISO, 2014; CEN, 2020). Dette betyder, at de kræver særlige forholdsregler i systemdesign og installation. For at begrænse risikoen for brand eller eksplosion fastsættes der maksimale fyldningsmængder afhængigt af rum størrelse, ventilation og anvendelse. Der anvendes ofte læk sensorer, antændelsessikre komponenter og eksplosionssikrede ventilatorer i systemer med R290 (ISO, 2012; CEN, 2020).

Eksempelvis fastlægger EN 378-1:2016+A1:2020 fyldningsgrænser for brændbare kølemidler i beboelsesområder til maks. 1 kg R290, afhængigt af systemtype og installationens placering. Derudover kræver installation og vedligeholdelse af sådanne systemer operatører med særlige certifikater iht. F-gasforordningens krav (European Union, 2024).

HØJT DRIFTSTRYK

Kuldioxid (R744) er klassificeret som et A1-kølemiddel (ikke-brændbart og lavt toksisk), men det opererer under meget høje tryk, især i det transkritiske²⁷ område. Varmepumpens designudformning kræver derfor komponenter, som kan modstå driftstryk op til 120 bar, hvilket stiller høje krav til både materialer og sikkerhedsudstyr. Derudover kræves avanceret styringsteknologi, f.eks. trykoptimering og EEV'er (elektroniske ekspansionsventiler), for at sikre optimal ydeevne under variende driftsforhold. (Danfoss og Bitzer)

På trods af denne kompleksitet har kuldioxid (R744) høj varmeoverførselseffektivitet og lavt miljøaftryk, hvilket dog primært retter sig mod mere industrielle varmepumper og ikke til enfamiliehuse.

TOKSICITET OG KORROSION

Ammoniak (R717) er et naturligt kølemiddel med framragende termodynamiske egenskaber og har en GWP-værdi på nul, det er giftigt (klassificeret som B2L i ISO 817) og ætsende over for visse materialer. Derfor anvendes det primært i industrielle anlæg, hvor der kan implementeres tilstrækkelige sikkerhedsforanstaltninger såsom maskinrum. Dertil kræver ammoniak (R717) korrosionsbestandige komponenter såsom rustfrit stål og kræver teknisk personale med specialkompetencer til installation og service. På grund af disse faktorer er udbredelsen i boliger og enfamiliehuse meget begrænset.

KOMPETENCEBEHOV OG STANDARDISERING

Overgangen til naturlige kølemidler stiller derfor øgede krav til fagpersonale som installatører og serviceteknikkere. De skal uddannes i sikker håndtering, fejlfinding og vedligeholdelse af systemer med brændbare og giftige kølemidler. Dette understøttes i EU af F-gasforordningen. (European Union, 2024)

²⁷ Når et kølemiddel befinder sig i det transkritiske område, menes der, at trykket er højere end det kritiske tryk og temperaturen er også højere end den kritiske temperatur.

MARKEDSUDVIKLING

Få producenter er begyndt at udvikle og lancere varmepumper med R290 og R744 som kølemiddel. Disse er særligt målrettet enfamiliehuse og de overholder allerede kommende krav i F-gasforordningen og kan i mange tilfælde opnå højere SCOP-værdier og lavere elforbrug end deres HFC-baserede forgængere

4.4 MILJØVAREDEKLARATION AF VARMEPUMPER IHT. PEP

Ved at kende til den bagvedliggende metodik for at udføre miljøvaredeklARATIONERNE for varmepumpen kan man få en mere detaljeret forståelse af, hvad der ligger bag resultaterne i miljøvaredeklARATIONEN. Derfor gennemgås de punkter i PCR og PSR som omhandler varmepumper og kølemidler.

4.4.1 PRODUKTKATEGORIREGLER FOR VARMEPUMPER IHT. PEP

Produktkategorireglerne (PCR) angiver at varmepumpens kølemiddel altid skal medtages i miljøvaredeklARATIONEN uanset hvilken mængde den har. Cut-off-kriterier²⁸ gør sig altså ikke gældende for kølemidlet. Lækager af kølemidlet under brugsfasen og vedligeholdelsesfasen skal altid medtages uanset om det fremgår af produktets PSR.

4.4.2 PRODUKTSPECIFIKKE REGLER FOR VARMEPUMPER IHT. PEP

I dette afsnit gennemgås de beregningsregler og beskrivelser som fremgår af de produktspecifikke regler (PSR) for varmepumper til boliger. PSR er vedlagt som **bilag x**.

FUNKTIONEL ENHED KONTRA DEKLARERET ENHED

I miljødeklARATIONEN kan et produkts miljøpåvirkning angives ift. en funktionel enhed eller en deklareret enhed.

Den funktionelle enhed beskriver en produktkategoris primære funktion og ydeevne under bestemte brugsbetingelser. Dette gør at varmepumpers miljøbelastning fra forskellige producenter kan sammenlignes på en ensartet måde i livscyklusvurderingen, uanset om de har forskellig kapacitet eller konfiguration.

²⁸ Hvis et materiale f.eks. udgør mindre end 5% af produktets samlede masse kan det normalt udelades i analysen, da det betragtes som et ubetydeligt bidrag. Dette cut-off-kriterie gør sig ikke gældende for materialer med stor miljøpåvirkning. (PCR)

F.eks. defineres den funktionelle enhed i PEP for en varmepumpe med varme og køling, som dens evne til at producere 1 kW af varme eller 1 kW af køling iht. EN 14825 hen over varmepumpens reference levetid. Med den funktionelle enhed kan man altså sammenligne produkter inden for en produktkategori på ensartede vilkår.

Den deklarerede enhed bruges når den funktionelle enhed ikke direkte kan anvendes. Den knytter sig til en hel produktenhed og ikke til produktets serviceydelse. Dette kan f.eks. være i relation til en LCA beregning af en hel bygning som skal projekteres med en konkret varmepumpe. Her kan der være behov for at angive miljøpåvirkningen i forhold til hele referenceproduktet og derfor medtages værdierne for den deklarerede enhed.

REFERENCELEVETID (RSL)

Den deklarerede referencelevetid og de medhørende referencebetingelser er tilknyttet den funktionelle enhed. Det er vigtigt ved sammenligning af funktionelle enheder, at de har den samme referencelevetid. Referencelevetiden gør det også muligt at medregne antal udskiftninger når produktet implementeres i en bygnings LCA (DS/EN 15804:2012+A2:2019, 2019).

f.eks. bliver et produkts miljømæssige påvirkninger fordelt ud over referencetiden, så jo længere referencelevetid et produkt har, jo lavere vil dets årlige miljøaftryk være. F.eks. kan to varmepumper have samme miljøpåvirkning i alt, men hvis den ene har en levetid på 10 år og den anden en levetid på 20 år, så vil den varmepumpe med 20 års levetid have en halvt så stor miljøpåvirkning pr. år.

Iht. PSR sættes levetiden for varmepumpers funktionelle enhed til:

- 17 år for varmepumper til enfamilieshuse
- 22 år for varmepumper til etageboliger og erhverv

SYSTEMGRÆNSEN

Relationen mellem opdelingen af livscykluser	
PEP	EPD
Livscyklusstadie	Livscyklusmodul iht.
EN 50693 + ISO 14025	EN 15804 + ISO 14025
Fremstilling	A1-A3
Distribution	A4
Installation	A5

Brugsfasen	B1-B7
Nedrivning	C1
Endt Levetid	C2-C4
Fordele/påvirkninger uden for system	D

DEFINITION AF EMISSIONER FRA KØLEMIDDEL

Kølemiddel, som utilsigtet undslipper det lukkede kølekredsløb, beskrives i PSR ud fra følgende to begreber:

- **Kortvarige lækager** som omfatter udslip der opstår pludseligt og sporadisk i forbindelse med et uheld eller en proces f.eks. under produktion og bortskaffelse.
- **Løbende lækager** som omfatter små udslip, der sker over længere tid og som kommer fra utætte samlinger i kølekredsløbet.

Disse udslip skal medtages i miljøvaredeklarationen under de respektive moduler som beskrevet herunder.

FREMSTILLING / A1-A3:

Under produktionen skal kortvarige lækager medtages og beregnes som:

$$E_{fp} = C_n * T_{fp}$$

hvor,

E_{fp} = kortvarige lækager under fremstillingsfasen

C_n = varmepumpens maksimale påfyldning af kølemiddel under fremstillingsfasen

T_{fp} = den gennemsnitlige lækagerate under fremstillingsfasen

Hvis producenten ikke kan redegøre for en værdi af den gennemsnitlige lækagerate (T_{fp}), skal T_{fp} sættes til en standardværdi på 2%.

DISTRIBUTION / A4

Kortvarige lækager antages at være nul.

INSTALLATION / A5

Kortvarige lækager (E_{fi}) antages at være nul, hvis montagen udføres iht. EU forordning 1516/2007

BRUGSFASEN / B1

Løbende lækager skal medtages.

Kendes den årlige lækagerate (T_{fu}), kan den løbende lækage beregnes som:

$$E_{fu} = C_t * T_{fu} * DVR$$

hvor,

E_{fu} = løbende lækager under brugsfasen

C_t = varmepumpens maksimale kølemiddelspåfyldning under brugsfasen

T_{fu} = den årlige gennemsnitlige lækagerate under brugsfasen

DVR = varmepumpens levetid

Den løbende lækagerate skal forklares, dokumenteres og fremgå af miljøvaredeklarationen.

I alle andre tilfælde (når den årlige lækagerate ikke kendes) skal den løbende lækage beregnes efter følgende formel:

$$E_{fu} = Q_{fu} * DVR$$

hvor

$Q_{fu} = 3 \text{ g pr. år ved hermetisk forsejlet udstyr}$

$Q_{fu} = 5 \text{ g pr. år pr. kobling ved ikke hermetisk forsejlet udstyr}$

DVR = Referencelevetiden

Definitionen af hermetisk forsejlet udstyr²⁹ fremgår af EU F-gasforordningen 2024/573³⁰. Udstyr som ikke lever op til denne definition betragtes som ikke-hermetisk udstyr. Med udstyr menes der varmepumpens inde- og udedel.

BRUGSFASEN / B2

Genpåfyldning og håndtering af genvundet kølemiddel efter genpåfyldning skal medtages.

²⁹ Ved hermetisk udstyr forstås det som, at alle dele, der indeholder fluorholdige drivhusgasser, er blevet forsejlet ved svejsning, lodning eller lignende permanent forbindelse, med en testet lækagerate på under 3 g pr. år. (European Union)

³⁰ PSR henviser til F-gasforordning 517/2014. F-gasforordningen 2024/573 erstatter den tidligere 517/2014.

Ved genpåfyldning af kølemidlet skal de miljømæssige omkostninger fra fremstillingen af det nye kølemiddel tages med i vurderingen. Omkostninger forbundet til et servicebesøg med transport er ikke medtaget³¹.

Genpåfyldningstærsklen³² sættes til 90% af den maksimale påfyldning. Anvendes anden værdi, skal denne forklares, dokumenteres og fremgå af miljøvaredeklarationen.

Antallet af genpåfyldninger under varmepumpens levetid skal medtages og beregnes efter følgende formel:

$$N = ENT SUP \left[\frac{RLT}{n} \right]$$

med

$$n = 1 + \frac{1 - S_r}{T_{fu}}$$

hvor

N = antal genpåfyldninger i løbet af varmepumpens levetid

$ENT SUP$ = Oprunding til nærmeste hele tal

RLT = Reference levetiden (varmepumpens levetid i år)

S_r = Genpåfyldningstærsklen

T_{fu} = lækageraten under brugsfasen

Efter antallet af genopfyldninger, vil produktionen af genpåfyldnings-kølemidlet være:

- Ved delvis genopfyldning:
 $N * (1 - S_r) * C_t$
- Ved hel genopfyldning:
 $N * C_t$
- Ved genindvendig af eksisterende kølemiddel og supplerer op:
 $N * C_t * (1 - (\epsilon_r * S_r))$

Hvor

C_t = maksimal kølemiddelpåfyldning

³¹ Transportomkostningerne medtages under vedligeholdelsesfasen i stedet for.

³² Genopfyldningstærsklen S_r er den nedre grænse for hvor meget kølemiddel der kan være tilbage i kølekredsløbet, før det ikke længere kan fungere korrekt.

ε_r sættes til 90% som standard anset kølemidlets type.

BRUGSFASEN / B2

Affaldshåndteringen af genindvundet kølemiddel ved service skal medtages og beregnes.

Ved fuld genopfyldning skal mængden af kølemiddel som skal affaldshåndteres beregnes efter følgende formel:

$$N * \varepsilon_r * S_r * C_t$$

ENDT LEVETID / C

Behandling af genindvundet kølemiddel ved skrotning:

CFC-kølemidler forbrændes 100% uden energiudnyttelse

For andre kølemidler forbrændes 10% uden energiudnyttelse og 90% regenereres eller forbrændes med energiudnyttelse

Mængden af kølemiddel, der ikke genvindes antages at være udledt direkte til atmosfæren:

$$(1 - \varepsilon_r) * C_t$$

Hvor

$$\varepsilon_r = 90\%$$

5 ANALYSE, METODE OG RESULTATER

5.1 ANALYSE AF ENERGIRAMMEN MED BE18

5.1.1 METODE

FORMÅL

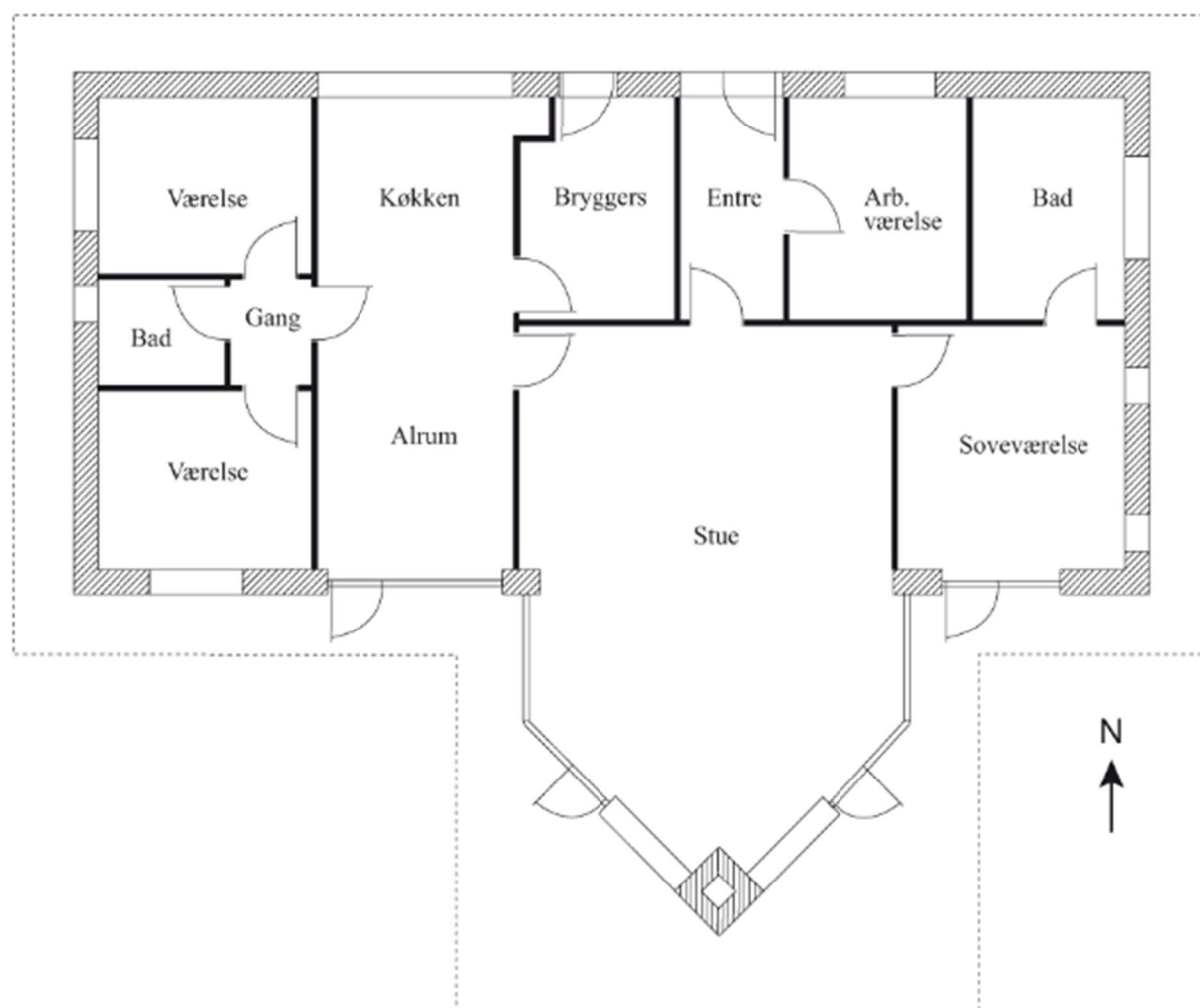
- at afdække hvordan luftbårne varmepumper påvirker energirammen for et enfamilieshus uden for den kollektive varmforsyning
- at afdække hvilken betydning varmepumpens lækage kan have på energirammen

FORVENTNINGER TIL ANALYSEN

- det forventes at boligens energiforbrug kommer til at ligge lavere med en LTV varmepumpe end med en LTL varmepumpe

BEREGNINGSGRUNDLAGET FOR ENERGIRAMMEN

Programmet Be18 kan anvendes til at dokumentere at en bygning overholder energirammen iht. BR18. I selve programmet findes der 3 indbyggede beregningseksempler, hvoraf det ene er et parcelhus – jf. figur 8. Dette beregningseksempel bruges i denne rapport som grundlaget for en række fiktive modeller af enfamilieshuse på 180 m². Den geometriske udformning og modellens konstruktioner bibeholdes, mens de tekniske installationer tilpasses i forskellige scenarier med varmepumper for at analyserer deres effekt på energirammen.



Figur 8: Her ses plantegningen af beregningseksempelet fra Be18 på et parcelhus, som denne analyse tager udgangspunkt i og bygger videre på.

FÆLLES FOR ALLE SCENARIER

Bygningens arealer, linjetabslængder og skygger ændres ikke ift. beregningseksemplet fra Be18.

Internt varmetilskud

Opvarmet etageareal:	180 m ²
Varmetilskud fra personer:	1,5 W/m ² (270W)
Varmetilskud fra apparaturer:	3,5 W/m ²
Varmetilskud fra app. nat:	0 W/m ²

Brugstid

168 timer/uge svarende til en helårsbolig.

Belysning

Medtages ikke for enfamilieshuse.

Andet elforbrug

Medtages ikke for enfamilieshuse.

Mekanisk køling

Medtages ikke.

Ventilation

Det ønskes at betragte varmepumpen under størst mulig belastning, og derfor medtages der ikke mekanisk ventilation med varmegenvinding i bygningen.

INDTASTNING AF TEKNISKE INSTALLATIONER I BE18

I dette afsnit gennemgås, hvordan nedenstående tekniske installationer skal medtages eller fjernes fra energirammeberegningen iht. *SBI-anvisning 213* (Aggerholm, 2018)

Naturlig ventilation

Ventilationen håndteres under fanen "Ventilation", hvorunder man klikker på "Skema 1" for at åbne indtastningsskemaet (jf. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** og **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.**). Her indtastes værdierne for den type ventilation man ønsker at anvende i modellen.

Et enfamilieshus betragtes som én samlet ventilationszone. Det regnes som naturligt ventileret, også selvom der er etableret udsugning fra badeværelser, toilet og køllen (f.eks. via emhætte). I dette tilfælde oprettes der derfor én samlet ventilationszone på 180 m², som indtastes på den første linje i skemaet (hver linje repræsenterer en selvstændig zone).

Enheden " q_n (l/s m²)" over "Vinter" angiver den naturlige ventilation for vinterperioden. For boliger, der opfylder tæthedskravet til klimaskærmen, kan denne værdi sættes til 0,3 l/s m² – jf. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** Det kan antages, at dette gør sig gældende for nybyggeri.

Ventilation	Areal (m ²)	Fo, -	qm (l/s m ²)	n vgv (-)	ti (°C)	EI-VF	qn (l/s m ²)	qi,n (l/s m ²)	SEL (kJ/m ³)	qm,s (l/s m ²)	qn,s (l/s m ²)	qm,n (l/s m ²)	qn,n (l/s m ²)
Zone	180		Vinter			0/1	Vinter	Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
1 Hele huset	180	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0

Ventilation	Areal (m ²)	Fo, -	qm (l/s m ²)	n vgv (-)	ti (°C)	EI-VF	qn (l/s m ²)
Zone	180		Vinter			0/1	Vinter
1 Hele huset	180	1	0	0	0	0	0,3

Figur 9: Her er den første halvdel af skemaet for ventilation vist med angivelse af ventilationszonen på 180 m² og naturlig vinter ventilation på 0,3 l/s pr. m²

Enheden " $q_{n,s}$ (l/s m²)" over "Sommer" – jf. **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** – angiver den maksimale gennemsnitlige naturlige ventilation, der kan opnås i varme perioder. Denne værdi skal som minimum være tilsvarende vinterværdien " q_n " (vinter ventilationen) men kan sættes til 2,4 l/s pr. m², da det kan antages at vinduer åbnes om sommeren. Alle øvrige enheder i skemaet er relateret til mekanisk ventilation og skal derfor udelades i modellen, hvilket gøres ved at sætte dem til nul.

Ventilation	Areal (m ²)	Fo, -	qm (l/s m ²)	n vgv (-)	ti (°C)	EI-VF	qn (l/s m ²)	qi,n (l/s m ²)	SEL (kJ/m ³)	qm,s (l/s m ²)	qn,s (l/s m ²)	qm,n (l/s m ²)	qn,n (l/s m ²)
Zone	180		Vinter			0/1	Vinter	Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
1 Hele huset	180	1	0	0	0	0	0,3	0	0	0	2,4	0	0

qi,n (l/s m ²)	SEL (kJ/m ³)	qm,s (l/s m ²)	qn,s (l/s m ²)	qm,n (l/s m ²)	qn,n (l/s m ²)
Vinter		Sommer	Sommer	Nat	Nat
0	0	0	2,4	0	0

Figur 10: Her er anden halvdel af skemaet for ventilation vist med angivelse af naturlig sommer ventilation på 2,4 l/s pr. m²

Mekanisk køling

Funktionen "*mekanisk køling*" aktiveres i Be18 ved at angive andelen af det etageareal som køles. Dette gøres øverst under hovedfanen "*Bygning*" under feltet "*Mekanisk køling*". I denne analyse sættes andelen derfor til nul, da mekanisk køling ikke medtages i nogen af scenarierne.

Fjernvarme

Fjernvarme indgår ikke i denne analyse, da der fokuseres på enfamilieshuse uden for det kollektive varmesystem. Dog kan det i praksis forekomme, at en varmepumpe som supplement benyttes i kombination med fjernvarme til brugsvandsopvarmning. Derfor beskrives det, hvordan fjernvarme håndteres i Be18.

I Be18 knytter fjernvarmen sig til flere faner.

Under hovedfanen "*Bygning*" skal fjernvarmen aktivt tilvælges under "*forsyning*". Hvis man vælger "*El-varme*" så deaktiveres fjernvarmen automatisk, og energirammen beregnes ud fra en anden energifaktor.

Under "*Forsyning*" ligger fanen "*Fjernvarmeveksler*". Ved direkte anlæg har man ikke en fjernvarmeveksler, og alle værdier for fjernvarmeveksleren indtastes som nul. Denne indtastning slår dog kun igennem, hvis fjernvarmen er tilvalgt under hovedfanen.

Når brugsvandet opvarmes som en kombination af fjernvarme med en varmepumpe, er det nødvendigt at opdele opvarmningen som to varmekilder i Be18. Man opretter en for fjernvarmen og en for varmepumpen. Fjernvarmens andel oprettes som en fiktiv gasvandvarmer under fanen "*gasvandvarmer*". Den rigtige varmtvandsbeholder med varmepumpen oprettes under fanen "*Varmtvandsbeholder*".

Gulvvarme

Bygningsdele har som standard en temperaturfaktor (b) på 1,0.

Ved gulvvarme stiger varmetabet på grund af den forhøjede temperatur. Derfor skal temperaturfaktoren b for de berørte bygningsdele justeres – dette omfatter terrændæk, kældergulve og fundamenter for ydervægge og kælderydervægge.

Ved fremløbstemperaturer på 35 °C korrigeres b-faktoren med +0,3:

- terrændæk og kældergulve sættes til 1,0
- fundamenter til ydervægge og kælderydervægge sættes til 1,3

Ved anden fremløbstemperatur end 35 °C beregnes korrektionen af b-faktoren med følgende ligning:

$$\text{Korrektion} = \frac{q_g - q_{opv}}{q_{opv} - q_u}$$

hvor

q_g = middelttemperaturen i gulvet (i varmerørets plan)

q_{opv} = middelttemperaturen i rummet

q_u = middelttemperaturen udenfor

Terrændækkets og fundamentets varmetab ændres til at være uden gulvvarme ved at sætte deres b-faktor til henholdsvis 0,7 og 1,0.

Uden gulvvarme skal terrændæk indtastes med en b-faktor på 0,7 og ydervægsgfundamenter indtastes med en b-faktor på 1,0

El-radiator/el-gulvvarme

Under fanen "*Forsyning*" og "*Anden rumopvarmning*" kan bidrag fra el-radiatorer eller el-gulvvarme tændes eller slukkes for under feltet "*Direkte el til rumopvarmning*" ved angivelse af andelen af etagearealet det dækker.

Brændeovn

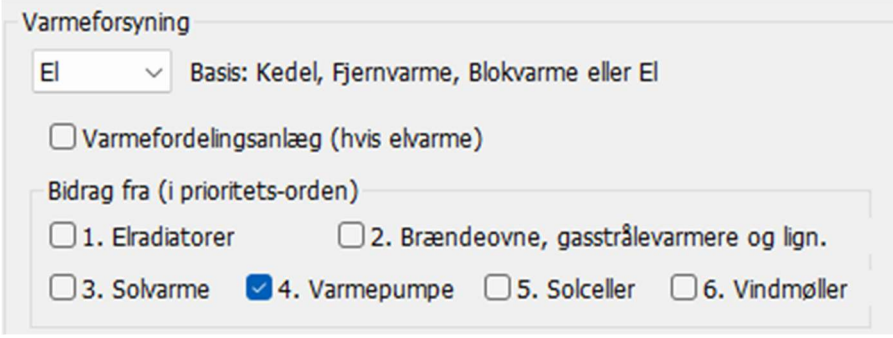
Bidrag fra brændeovne uden tilslutning til vandopvarmning og lignende kan tændes og slukkes under feltet "*Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.*" ved angivelse af andelen af etagearealet det dækker.

INDTASTNING AF VARMEPUMPER I BE18

Ved bygninger som opvarmes med en varmepumpe, skal varmforsyningen under hovedfanen som udgangspunkt registreres som "EI" kombineret med afkrydsning af varmepumpen under varmebidrag som vist i figur 11, medmindre der er en anden primær varmekilde som en kedel eller fjernvarme. Det skal noteres at kedel eller fjernvarme kun kan angives som varmforsyning, hvis varmepumpen ikke er udstyret med en el patron.

LUFT TIL LUFT VARMEPUMPE

Under hovedfanen "Bygning" skal varmforsyningen angives som vist i figur 11. Her skal der normalt ikke hakkes af for varmfordelingsanlægget³³. Under "Bidrag fra" sættes der hak ved "4. Varmepumpe"



Figur 11: Her ses hvordan LTL varmepumper indtastes under hovedfanen "Bygninger"

Gå til fanen "Forsyning", højreklik på underfanen "Varmepumper" og vælg "Tilføj varmepumpe". Klik på den oprettede varmepumpe for at tilgå dets skema som vist i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..** Varmepumpens navn kan angives under "Beskrivelse".

I bygninger med LTL varmepumper, hvor enkelte rum udstyres med individuelle varmepumper eller indedele (monosplit- og multisplitanlæg) angives det under "andel af etagearealet", hvor stor en samlet andel varmepumpen dækker.

Under "Varmepumpe" og "Funktion" giver en drop down menu mulighed for at vælge mellem

- "Brugsvand" for en varmepumpe der kun producerer varmt brugsvand

³³ Nogle LTL varmepumper til kolde klimaer kan have el-tilskudsvarme f.eks. som et indre elektrisk varmelegeme der tager over ved hård frost, men dette ses normalt ikke i Europa.

Livscyklusvurdering af varmepumper

- "*Rumopvarmning*" for en varmepumpe der kun producerer rumopvarmning
- "*Kombineret*" for en varmepumpe der producerer både rumopvarmning og varmt brugsvand
- "*Duo*" for to varmepumper til hhv. varmt brugsvand og til rumopvarmning

Luft til luft varmepumper yder kun rumopvarmning, hvorfor denne mulighed vælges. Herefter udfyldes data for varmepumpen under feltet "*Rumopvarmning*" iht. producentens specifikationer. Felterne under "*VBV*" som står for varmtvandsbeholder, skal ikke udfyldes.

Livscyklusvurdering af varmepumper

Beskrivelse

Varmepumpe

Funktion

Andel af etageareal, -

Rumopvarmning

1

Anden kilde

0

Varmtvandsbeholder

Volumen 180 liter

Rumopvarmning

5,2

4,2

1

VBV

0

0

0

Test-temperaturer, °C

2

30

Udeluft

Rumluft

7

5

Varmepumper tilknyttet ventilationen

0

0

0

Anden kilde

0

0

Nominal effekt, kW

Nominal COP, -, Inklusive pumper, ventilatorer og automatik

Rel. COP ved 50% last, -

Kold side

Varm side

Kold side: Jordslange, Aftæk, Udeluft eller Anden kilde

Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg

Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominal COP

Automatik, stand-by, W, (konstant drift)

Temp. virk.grad for vgv før VP, -

Dim. indblæsningstemperatur, °C

Luftstrøm, m³/s

Data for anden kilde

Figur 12: Her ses indtastningsskemaet for selve varmepumpen. Værdierne ud over det opvarmede etageareal oplyses typisk af producenten.

Nominel effekt, kW

- For on-off styret LTL-varmepumper er den nominelle effekt (kW) svarende til P_{dh} , hvis den er testet iht. ecodesign.
- For inverter-styrede LTL-varmepumper vil den nominelle effekt (kW) være P_{dh} ved bivalentpunktet tillagt 2% pr. °C forskel mellem bivalenttemperaturen og den kolde testtemperatur, hvis den er testet iht. ecodesign.

Nominel COP

- varmepumpe testet iht. EN 14825 = COP_d for den aktuelle T_j iht. Bilag G i EN 14825

Den relative COP ved 50% last for:

- varmepumpe testet iht. EN 14825 = 1,00
- on-off styret varmepumpe ej testet iht. 14825 = 0,90
- inverter-styrede varmepumpe ej testet iht. 14825 = 1,00

Testtemperaturen er for:

- den kolde side ved varmen hentet fra udeluften = 2 C
- den varme side ved varme afgivet direkte til rumluft = 20 C

Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP:

- ved intet hjælpeudstyr = 0,0
- ved evt. boostventilator indtast da producentens oplysninger
- faktor hvis forholdet mellem internt og samlet tryktab ikke kendes = 0,9

Automatik og standby W

- ved varmepumpe testet iht. EN 14825 = $0,02 \cdot P_{to} + 0,49 \cdot P_{ck} + 0,42 \cdot P_{off}$

hvor

P_{to} = thermostat-off mode

P_{ck} = crankcase heater mode

P_{off} = off mode

Varmepumpe tilknyttet ventilation

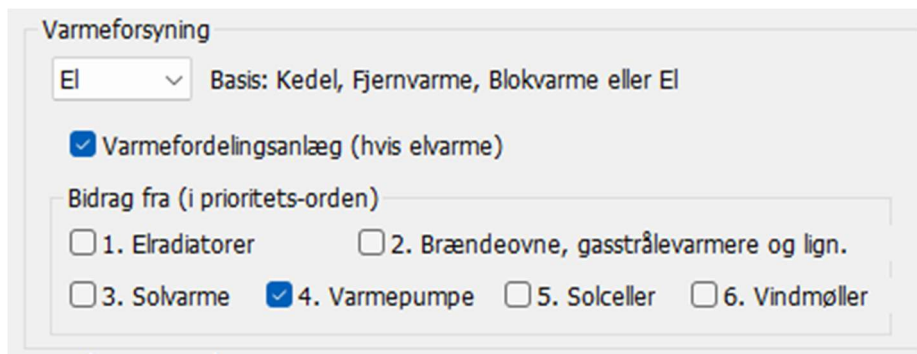
Udfyldes kun hvis varmepumpen er tilknyttet ventilation.

Data for anden varmekilde

udfyldes kun ved vand-til-vand varmepumper, og er derfor ikke relevant for LTL varmepumper.

LUFT TIL VAND VARMEPUMPE

Under hovedfanen "Bygning" skal varmeforsyningen angives som vist i figur 13. Her skal der hakkes af for varmefordelingsanlægget. Under "Bidrag fra" sættes der hak ved "4. Varmepumpe"



Figur 13: her ses hvordan en varmepumpe registreres under hovedfanen "Bygning". Her er varmefordelingsanlægget hakket af. Dette skal kun gøres i tilfælde af at boligen opvarmes med en LTV varmepumpe med vandbårent radiator- eller gulvvarmeanlæg og hvis varmepumpen har en el-patron

Varmefordelingsanlæg

Ved vandbåret rumopvarmning med varmepumpe, skal der tages stilling til fremløbs- og returtemperaturer for varmesystemet. Bemærk at der i Be18 skal angives den dimensionerende fremløbs- og returløbstemperatur ved -12 °C.

Skal varmepumpen tilsluttes et radiatoranlæg (både for et- og to-strengs anlæg), sættes den dimensionerende fremløbstemperatur til 55 °C og den dimensionerende returløbstemperatur til 45 °C (M. Hvenegaard, 2019). Skal varmepumpen tilsluttes gulvvarme er man nødt til at beregne de dimensionerende fremløbs- og returløbstemperaturer, som ligger højere end de typiske middel værdier som vist i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet..**

Temperaturer for vandbåret rumopvarmning

	Fremløb °C	Returløb °C
Gulvvarme ved trægulv på strøer	40-45	33-38
Gulvvarme ved trægulv med støbt fundament	35-40	28-35
Gulvvarme ved klinker/fliser med støbt fundament	25-30	20-25

Tabel 16: Her ses typiske middel værdier for temperaturer i fyringssæsonen (M. Hvenegaard, 2019).

Varmefordelingsanlæg

Opbygning og temperatur

Beskrivelse	Dimensionerende	
	45	Fremløbstemperatur, °C (ved -12 °C ude)
	30	Returløbstemperatur, °C
Anlægstype	2	Anlægstype: 1-streng eller 2-streng

Figur 14: her er vist de anvendte fremløbs- og returløbstemperaturer fra beregningseksemplet i Be18, hvor der er anvendt en LTV varmepumpe tilsluttet gulvvarme.

Alle cirkulationspumper som hører til det dimensionerede varmepumpesystem skal også angives her da de bruger strøm. Dette kan være evt. primær og sekundære cirkulationspumper.

Højreklik på underfanen "Pumper" og vælg "Tilføj Pumpe". Klik på den oprettede pumpe for at tilgå dets dataskema.

Antallet og typen af pumpen indtastes med værdier oplyst af producenten.

Pumper. Type: (A) Altid konstant drift året rundt. Opvarmningssæson: (V) konstant eller (T) tidsstyret. (K) kombi-pumpe (konst. i opvarmnings

	Pumpe-skema	Type (A,V,T,K)	Antal	P _{nom} (W)	F _p (-)
+1		A	1	0	1
2		V	1	0	1
3	Behovsstyret pumpe	T	1	75	0,6
4		K	1	0	1
5					

Figur 15:

P_{nom} er pumpens nominelle effekt.

Reduktionsfaktoren F_p er pumpens effektivitet. Den sættes som følgende:

- 0,8 for flertrinspumper med manuel indstilling
- 0,6 for automatisk trinstyrede pumper
- 0,4 for automatisk styrede pumper
- 0,3 for elektronisk styrede pumper

Varmt brugsvand

Klik på fanen "Varmt brugsvand". Varmtvandsforbruget sættes efter boligtypen – hvilket for enfamiliehuse svarer til 250 l/år pr. m²-etageareal.

Den ønskede temperatur for det varme brugsvand sættes til mindst 55 °C. Det ønskes ikke at vandet bliver så varmt så man brænder sig på det, men det må heller ikke blive for koldt til at der kan vokse Legionella i det.

Beskrivelse

Varmtvandsforbrug (vand af 55 °C, koldt vand 10 °C)

Gennemsnit for bygningen, liter/år pr. m²-etageareal

Brugsvandssystem

Varmt brugsvand temperatur, °C

Tilføj en varmtvandsbeholder ved højreklik på Varmt brugsvand i oversigten til venstre

Figur 16:

Højreklik på "varmt brugsvand" og vælg "Tilføj varmtvandsbeholder". Her følges producentens anvisninger. Antal beholdere, andelen af varmtvandsforbruget, beholdervolumen, varmetab og kombi-pumpens effekt afhænger af den valgte varmtvandsbeholder.

Varmtvandsbeholder

Beskrivelse

VBV Beholder

1

Antal beholdere

1

Andel af varmtvandsforbrug, -

180

Beholdervolumen, liter (For solvarmebeholdere opgives totalvolumen)

60

Fremløbstemperatur fra centralvarme, °C

Nej

El-opvarmning af VBV (Hvis 'Nej' kører kedlen om sommeren)

☐

Solvarmebeholder med varmespiral i top. (Korrektion for temp.lagdeling)

1,2

Varmetab fra varmtvandsbeholder, W/K

0

Temperaturfaktor, b for opstillingsrum, - (Opv. zone: b = 0, Ude: b = 1)

Ladepumpe

For kombi-pumpe angives Effekt til 0 W

Effekt, W

0

☒ Styret

Lade-eff, kW

6

Figur 17:

Bemærk at der kan være bufferbeholder som skal indtastes separat efter samme fremgangsmåde som varmtvandsbeholderen, og at varmtvandsbeholderen altid skal stå før bufferen.

Bemærk at der kan være behov for cirkulationspumpe til at pumpe det varme brugsvand rundt.

Forsyning

Gå til fanen "Forsyning". Højreklik på underfanen "Varmepumper" og vælg "Tilføj Varmepumpe". Klik på den oprettede varmepumpe for at tilgå dets dataskema.

Indtast varmepumpens navn under "Beskrivelse"

Under "Varmepumpe" og "Funktion" giver drop down menuen mulighed for at vælge mellem

- "Brugsvand", for en varmepumpe der kun producerer varmt brugsvand
- "Rumopvarmning", for en varmepumpe der kun producerer rumopvarmning

Livscyklusvurdering af varmepumper

- "Kombineret", for en varmepumpe der producerer både rumopvarmning og varmt brugsvand
- "Duo", for to varmepumper til hhv. varmt brugsvand og til rumopvarmning

Felter under "Rumopvarmning" udfyldes ved varmepumpe der producerer rumopvarmning.

Felter under "VBV" udfyldes ved varmepumpen der producerer varmt brugsvand.

5.1.2 RESULTATER

Energirammeberegningerne for de følgende scenarier er vedlagt som Bilag C, D, E, F og G.

SCENARIO 1A: LUFT TIL LUFT VARMEPUMPE

Boligen opvarmes 90% med en LTL varmepumpe med tekniske specifikationer som vist i figur 18. Elvarme dækker 10% af arealet og brændeovnen 30%. Brugsvand opvarmes af eldrejet varmtvandsbeholder. Varmepumpen har en relativ høj nominel effekt.

Beskrivelse		LTL Varmepumpe med inverter	
Varmepumpe Funktion: Rumopvarmning Andel af etageareal, -: 0,9		Varmtvandsbeholder Volumen 180 liter	
Rumopvarmning 6 3,8 0,9		VBV 0 0 0	
Test-temperaturer, °C 7 20		Nominel effekt, kW Nominel COP, -, Inklusive pumper, ventilatorer og automatik Rel. COP ved 50% last, -	
Udeluft Rumluft 0 25		Kold side Varm side Kold side: Jordslange, Aftræk, Udeluft eller Anden kilde Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg	
Varmepumper tilknyttet ventilationen 0 0 0		Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP Automatik, stand-by, W, (konstant drift)	
		Temp. virk.grad for vgv før VP, - Dim. indblæsningstemperatur, °C Luftstrøm, m³/s	
Data for anden kilde			

Figur 18: Her ses de tekniske specifikationer for LTL varmepumpen i scenario 1A

Livscyklusvurdering af varmepumper

Nøgletal, kWh/m² år

Renoveringsklasse 2

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
82,2	0,0	82,2
Samlet energibehov		80,7

Renoveringsklasse 1

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
61,7	0,0	61,7
Samlet energibehov		80,7

Energiramme BR 2018

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
35,6	0,0	35,6
Samlet energibehov		80,7

Energiramme lavenergi

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
27,0	0,0	27,0
Samlet energibehov		80,7

Bidrag til energibehovet

Varme	23,7
El til bygningsdrift	30,0
Overtemp. i rum	0,0

Netto behov

Rumopvarmning	39,5
Varmt brugsvand	15,2
Køling	0,0

Udvalgte elbehov

Belysning	0,0
Opvarmning af rum	6,3
Opvarmning af vbv	15,2
Varmepumpe	8,5
Ventilatorer	0,0
Pumper	0,0
Køling	0,0
Totalt elforbrug	60,7

Varmetab fra installationer

Rumopvarmning	0,0
Varmt brugsvand	2,0

Ydelse fra særlige kilder

Solvarme	0,0
Varmepumpe	21,3
Solceller	0,0
Vindmøller	0,0

Figur 19: Her ses nøgletalene for scenarie 1A. Det ses at det samlede energibehov ligger på 80,7 kWh/m²*år hvilket er langt over den tilladte grænse på 35,6 kWh/m²*år for nybyggeri. Varmepumpen yder 21,3 kWh/m²*år, og forbruger 8,5 kWh/m²*år

SCENARIO 1B: LUFT TIL LUFT VARMEPUMPE

Boligen opvarmes på samme måde som i scenarie 1A, men LTL varmepumpen ændres med de tekniske specifikationer som vist i figur 20. Varmepumpen har i forhold til scenarie 1A en lavere nominel effekt der er testet ved -2 °C og en højere COP.

Beskrivelse Fighter E35		
Varmepumpe Funktion Rumopvarmn Andel af etageareal, - 0,9		Varmtvandsbeholder Volumen 180 liter
Rumopvarmning 3,7 5,23 0,9	VBV 0 0 0	Nominel effekt, kW Nominel COP, -, Inklusive pumper, ventilatorer og automatik Rel. COP ved 50% last, -
Test-temperaturer, °C 2 0 20 0		Kold side Varm side
Udeluft Udeluft Rumløft	Udeluft	Kold side: Jordslange, Aftræk, Udeluft eller Anden kilde Varm side: Rumløft, Indblæsning eller Varmeanlæg
0 0 25 0		Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP Automatik, stand-by, W, (konstant drift)
Varmepumper tilknyttet ventilationen 0 0 0 0 0		Temp. virk.grad for vgv før VP, - Dim. indblæsningstemperatur, °C Luftstrøm, m³/s
Data for anden kilde		

Figur 20: Her ses de tekniske specifikationer for LTF varmepumpen i scenarie 1B

Livscyklusvurdering af varmepumper

Nøgletal, kWh/m² år

Renoveringsklasse 2

Uden tillæg

82,2

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

82,2

66,6

Renoveringsklasse 1

Uden tillæg

61,7

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

61,7

66,6

Energiramme BR 2018

Uden tillæg

35,6

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

35,6

66,6

Energiramme lavenergi

Uden tillæg

27,0

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

27,0

66,6

Bidrag til energibehovet

Varme

7,2

El til bygningsdrift

19,7

Overtemp. i rum

21,9

Netto behov

Rumopvarmning

12,0

Varmt brugsvand

15,2

Køling

0,0

Udvalgte elbehov

Belysning

0,0

Opvarmning af rum

1,9

Opvarmning af vbv

15,2

Varmepumpe

2,6

Ventilatorer

0,0

Pumper

0,0

Køling

0,0

Totalt elforbrug

50,4

Varmetab fra installationer

Rumopvarmning

0,0

Varmt brugsvand

2,0

Ydelse fra særlige kilder

Solvarme

0,0

Varmepumpe

6,5

Solceller

0,0

Vindmøller

0,0

Figur 21: Her ses nøgletallene for scenarie 1B. En varmepumpe med en lavere nominel effekt ved en lavere temperatur har en positiv effekt på energirammen.

SCENARIO 2A: LUFT TIL VAND VARMPUMPE

boligen opvarmes 100% med en LTV varmepumpe, som tilsluttes gulvvarme og varmtvandsbeholder. Der er kun naturlig ventilation i boligen. Beregningen indeholder varmepumpen fra det anvendte beregningseksempel i Be18 som vist i figur 22.

Beskrivelse		Udeluftvarmepumpe	
Varmepumpe Funktion: Kombineret Andel af etageareal, -: 1		Varmtvandsbeholder Volumen 180 liter	
Rumopvarmning 5,2 4,8 4,2 2,55 1 0		Nominel effekt, kW Nominel COP, -, Inklusive pumper, ventilatorer og automatik Rel. COP ved 50% last, -	
Test-temperaturer, °C 2 7 30 50		Kold side Varm side	
Udeluft Udeluft Varmeanlæ Udeluft		Kold side: Jordslange, Aftræk, Udeluft eller Anden kilde Varm side: Rumluft, Indblæsning eller Varmeanlæg	
7 7 5 0		Særligt hjælpeudstyr, W, som ikke er med i nominel COP Automatik, stand-by, W, (konstant drift)	
Varmepumper tilknyttet ventilationen 0 0 0 0 0 0,09		Temp. virk.grad for vgv før VP, - Dim. indblæsningstemperatur, °C Luftstrøm, m³/s	
Data for anden kilde			

Figur 22: Her ses specifikationerne for den anvendte LTV varmepumpe i scenarie 2A

Livscyklusvurdering af varmepumper

Nøgletal, kWh/m² år

Renoveringsklasse 2

Uden tillæg

82,2

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

82,2

40,0

Renoveringsklasse 1

Uden tillæg

61,7

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

61,7

40,0

Energiramme BR 2018

Uden tillæg

35,6

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

35,6

40,0

Energiramme lavenergi

Uden tillæg

27,0

Samlet energibehov

Tillæg for særlige betingelser

0,0

Samlet energiramme

27,0

40,0

Bidrag til energibehovet

Varme

0,0

El til bygningsdrift

21,1

Overtemp. i rum

0,0

Netto behov

Rumopvarmning

42,1

Varmt brugsvand

15,2

Køling

0,0

Udvalgte elbehov

Belysning

0,0

Opvarmning af rum

2,2

Opvarmning af vbv

0,0

Varmepumpe

18,6

Ventilatorer

0,0

Pumper

0,3

Køling

0,0

Totalt elforbrug

51,7

Varmetab fra installationer

Rumopvarmning

0,0

Varmt brugsvand

2,0

Ydelse fra særlige kilder

Solvarme

0,0

Varmepumpe

55,1

Solceller

0,0

Vindmøller

0,0

Figur 23: Nøgletal for energirammeberegningen i scenarie 2A.

Den primære ændring i scenarie 2A ift. beregningseksemplet er at den mekaniske ventilation er erstattet med naturlig ventilation og at der derfor ikke er et varmegenvindingsbidrag. Som det ses af nøgletalene i figur 23, så kan energirammen ikke overholdes med en varmepumpe med en nominel kapacitet på 5,2 kW

SCENARIO 2B:

Nøgletal, kWh/m² år

Renoveringsklasse 2

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
82,2	0,0	82,2
Samlet energibehov		33,1

Renoveringsklasse 1

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
61,7	0,0	61,7
Samlet energibehov		33,1

Energiramme BR 2018

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
35,6	0,0	35,6
Samlet energibehov		33,1

Energiramme lavenergi

Uden tillæg	Tillæg for særlige betingelser	Samlet energiramme
27,0	0,0	27,0
Samlet energibehov		33,1

Bidrag til energibehovet

Varme	0,0
El til bygningsdrift	17,4
Overtemp. i rum	0,0

Netto behov

Rumopvarmning	42,1
Varmt brugsvand	15,2
Køling	0,0

Udvalgte elbehov

Belysning	0,0
Opvarmning af rum	0,0
Opvarmning af vbv	-0,0
Varmepumpe	17,1
Ventilatorer	0,0
Pumper	0,3
Køling	0,0
Totalt elforbrug	48,1

Varmetab fra installationer

Rumopvarmning	0,0
Varmt brugsvand	2,0

Ydelse fra særlige kilder

Solvarme	0,0
Varmepumpe	57,3
Solceller	0,0
Vindmøller	0,0

Figur 24: Nøgletal for energirammeberegningen af scenarie 2B.

Bygningen er som i scenarie 2A men varmepumpens ændres til en større model. For rumopvarmning ændres nominelle effekt fra 5,2 til 8,8 og nominel COP fra 4,2 til 4,3. For VBV ændres nominelle effekt fra 4,8 til 9,3 og nominel COP fra 2,55 til 4,48

SCENARIO 2C

Her antages det at varmepumpen fra scenarie 2b har mistet 10% af sit kølemiddel, hvilket har resulteret i at dens nominelle effekt og COP værdi er faldet med 3%

Nøgletal, kWh/m² år

Renoveringsklasse 2

Uden tillæg

Tillæg for særlige betingelser

Samlet energiramme

82,2

0,0

82,2

Samlet energibehov

34,5

Renoveringsklasse 1

Uden tillæg

Tillæg for særlige betingelser

Samlet energiramme

61,7

0,0

61,7

Samlet energibehov

34,5

Energiramme BR 2018

Uden tillæg

Tillæg for særlige betingelser

Samlet energiramme

35,6

0,0

35,6

Samlet energibehov

34,5

Energiramme lavenergi

Uden tillæg

Tillæg for særlige betingelser

Samlet energiramme

27,0

0,0

27,0

Samlet energibehov

34,5

Bidrag til energibehovet

Varme

0,0

El til bygningsdrift

18,2

Overtemp. i rum

0,0

Netto behov

Rumopvarmning

42,1

Varmt brugsvand

15,2

Køling

0,0

Udvalgte elbehov

Belysning

0,0

Opvarmning af rum

0,0

Opvarmning af vbv

0,0

Varmepumpe

17,9

Ventilatorer

0,0

Pumper

0,3

Køling

0,0

Totalt elforbrug

48,8

Varmetab fra installationer

Rumopvarmning

0,0

Varmt brugsvand

2,0

Ydelse fra særlige kilder

Solvarme

0,0

Varmepumpe

57,2

Solceller

0,0

Vindmøller

0,0

Figur 25: Nøgletal for scenarie 2C

5.1.3 DELKONKLUSION

SCENARIER MED LUFT TIL LUFT VARMEPUMPER

I scenarie 1A har vi som udgangspunkt en velisoleret bolig, og energibehovet til rumopvarmning er derfor lavt. Det varme brugsvand opvarmes dog ikke med varmepumpen, men med el, hvilket øger det samlede energibehov.

I scenarie 1B er varmepumpen udskiftet til en væsentligt mere effektiv model, hvilket øger COP fra 3,8 til 5,23. Dette reducerer elforbruget til rumopvarmning markant, og det samlede energiforbrug falder fra 80,7 til 66,6 kWh/m²/år.

Det er stadig ikke tilstrækkeligt til at overholde energirammen for nybyggeri. Da opvarmning af brugsvandet stadig udgør den største del af elforbruget, vil man uanset varmepumpens effektivitet, først kunne overholde energirammen for nybyg ved at supplere med vedvarende energi fra solceller eller solvarme.

SCENARIO MED LUFT TIL VAND VARMEPUMPE

I scenarie 2A er varmepumpen koblet til både gulvvarme og varmtvandsbeholder. Da brugsvandet kræver en højere fremløbstemperatur end gulvvarmeanlægget, belastes varmepumpen, og den lave COP-værdi for brugsvandsopvarmningen gør systemet mindre effektivt samlet set.

I scenarie 2B opnås det bedste resultat – som forventet. Her er varmepumpens COP optimeret til både rumopvarmning og brugsvand, hvilket reducerer elforbruget betydeligt og forbedrer den samlede energibalance.

I scenarie 2C antages det, at varmepumpen har mistet noget kølemiddel fra løbende lækage hvilket har reduceret COP-værdien en smule. Vi kan se at energiforbruget stiger, men bygningen overholder stadig kravene i BR18. Dette viser, at der er en vis robusthed i løsningen – energirammen kan overholdes ved et moderat fald i varmepumpens effektivitet.

5.2 ANALYSE AF MILJØVARDEKLARATIONER

5.2.1 METODE

FORMÅLET MED ANALYSEN

Det ønskes at undersøge:

- hvordan kølemidlets lækagerate og potentiale for global opvarmning (GWP) dokumenteres i en miljøvaredeklaration
- brugen af generisk data vedr. varmepumpers lækagerate
- hvordan de deklarerede lækagerater i PEP'erne forholder sig til de produktspecifikke regneregler (PSR) som ligger til grund for udarbejdelsen af disse miljøvaredeklarationer

FORVENTNINGER TIL ANALYSEN

- Det må forventes at varmepumpens kølemiddel har en betydning for dens GWP, med den antagelse at varmepumper med et højt GWP kølemiddel har en samlet højere GWP værdi end varmepumper med et lavt GWP kølemiddel
- Det må forventes at varmepumpens opbygning har en betydning for dens GWP, med den antagelse at monoblock varmepumper har en samlet lavere GWP værdi end split varmepumper.

DATAGRUNDLAG FOR ANALYSEN

Analysen tager udgangspunkt i:

- De PEP'er for varmepumper til boliger som findes i PEP Ecopassport databasen
- Beregningsgrundlaget for kølemidlet i PSR for varmepumper

UDVÆLGELSE AF MILJØVARDEKLARATIONER TIL ANALYSEN

Alle tilgængelige PEP'er for LTV varmepumper og LTL varmepumper til boliger blev gennemgået.

Under LTV varmepumper blev følgende frasorteret

- Varmepumper med levetid på 22 år blev frasorteret da disse er dimensioneret til erhverv.
- Varmepumper **med** køling blev frasorteret.
- Gengangere blev frasorteret. Dette skal forstås som at ved miljøvaredeklarationer i to udgaver blev kun en medtaget i puljen. Ved den samme miljøvaredeklaration på fransk og engelsk blev den franske frasorteret. Ved miljøvaredeklarationer af det samme produkt bare under forskellige navne blev en tilfældigt udvalgt og de resterende frasorteret.
- Deklarationer baseret på EN 15804+A1 blev frasorteret.

- Deklarationer uden angivelse af kølemiddel eller underrepræsenteret kølemiddel blev sorteret fra

Under LTL varmepumper blev følgende frasorteret:

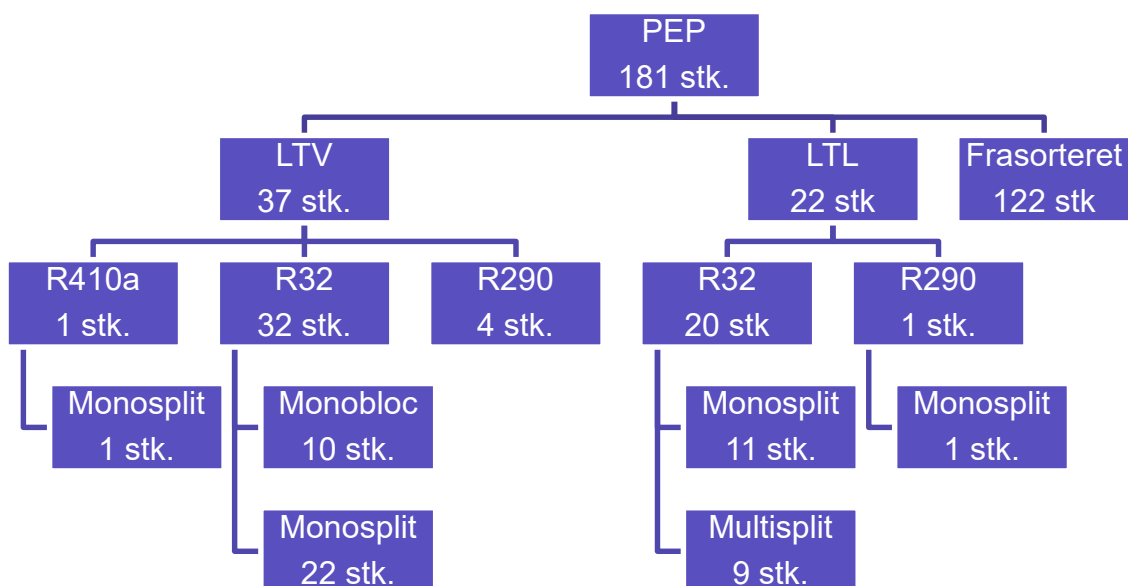
- Varmepumper med levetid på 22 år blev frasorteret da disse er dimensioneret til erhverv
- Varmepumper **uden** køling blev frasorteret.
- Gengangere blev frasorteret på samme måde som ved LTV varmepumperne.
- Indblæsningsdele blev frasorteret.
- Deklarationer baseret på EN 15804+A1 blev frasorteret.

Dette gav to puljer med hhv. 37 LTV varmepumper og 22 LTL varmepumper.

Herefter blev miljøvaredeklarationerne i disse to puljer opdelt efter kølemiddelkategori og derefter deres opbygningssystem (monobloc eller monosplit)

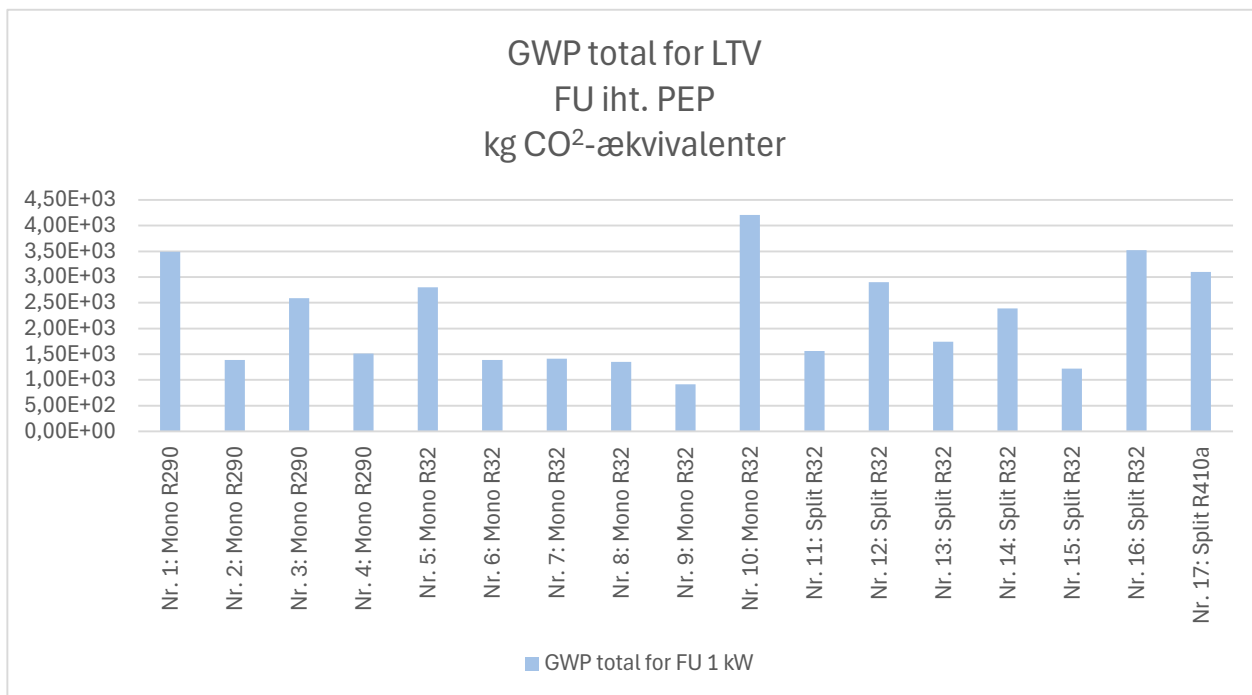
Resterende PEP'er sorteres i kategorierne mono eller split system

Der udvælges tilfældigt et begrænset antal miljøvaredeklarationer således at kølemidler og opbygning er repræsenteret så bredt som muligt. Data fra disse miljøvaredeklarationer fremgår af Bilag A og Bilag B, og ligger til grund for alle analyser i dette afsnit.

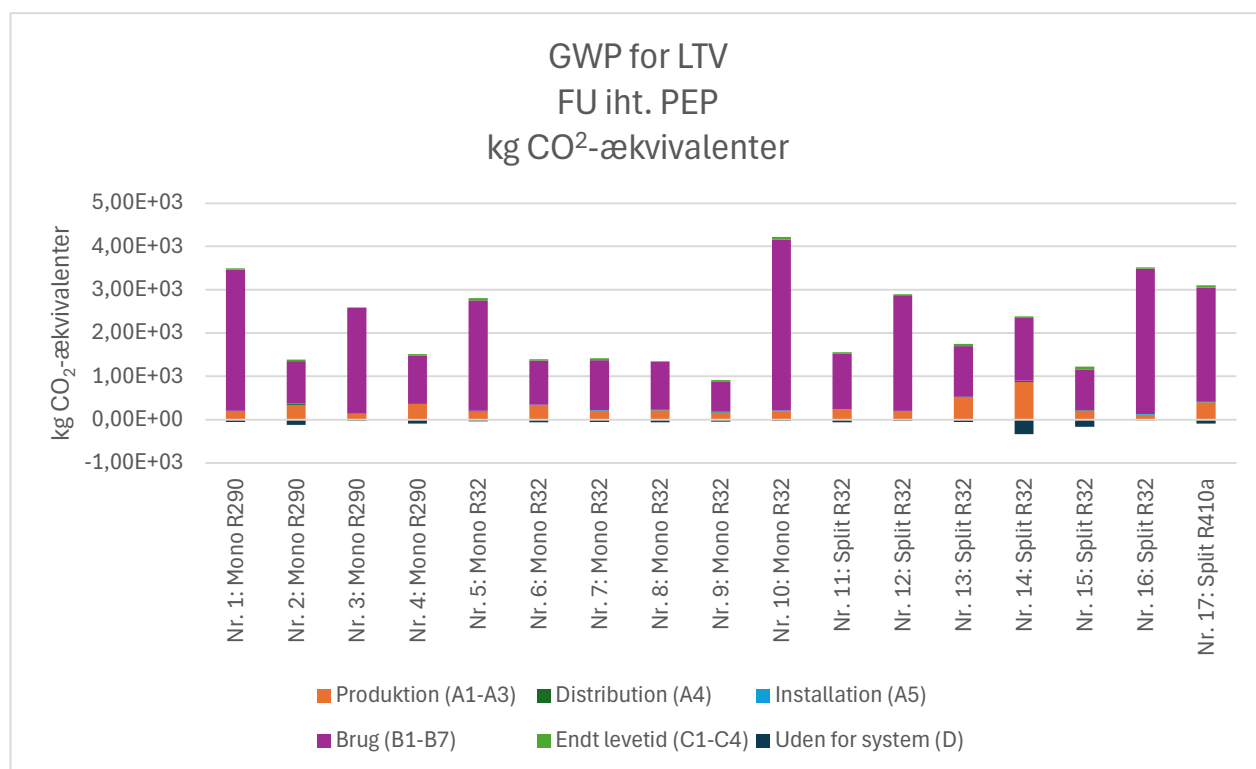


Figur 26: Udvalgelse af miljøvaredeklarationer til yderligere analyse.

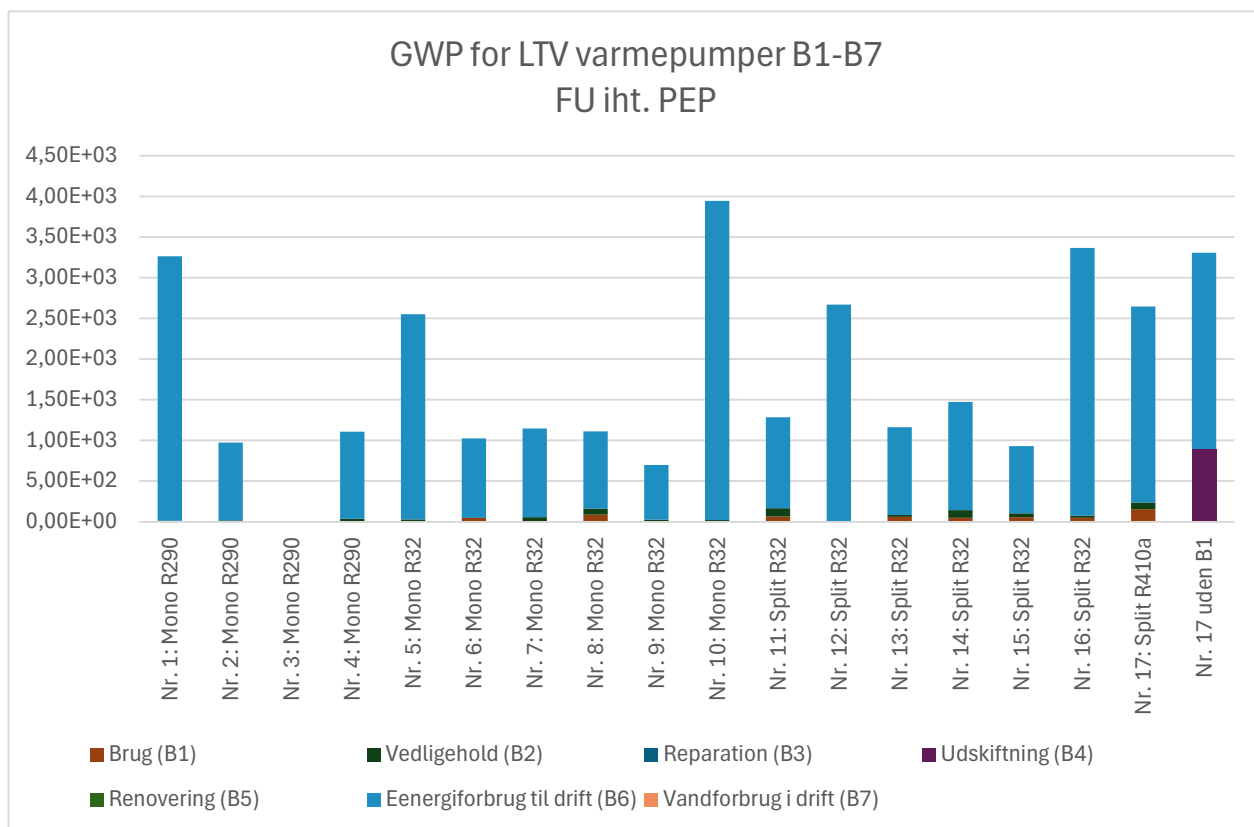
5.2.2 RESULTATER



Figur 27: Her ses det totale GWP for den funktionelle enhed af de udvalgte LTV varmepumper. Alle varmepumperne har den samme funktionelle enhed (1 kW varme) og referencelevetid (17 år). Forskellen er deres systemopbygning og kølemiddeltype. Varmepumperne repræsenterer 3 forskellige typer kølemiddel - R290 (4 stk.), R32 (12 stk.) og R410a (1 stk.). Varmepumpernes opbygning er enten som monobloc- eller splitsystem som angivet.



Figur 28: Her ses de samme varmepumper som i figur 27, blot er fordelingen af emissioner fra de viste moduler blevet angivet med hver sin farve. Det ses at brugsfasen (modul B1-B7) udgør den største del GWP for alle varmepumperne.



Figur 29: Her ses fordelingen af GWP inden for brugsfasen alene. Det er for alle varmepumper primært energiforbruget til drift som forårsager den største emission. De øvrige moduler udgør stort set ingen emissioner.

DATAUDTRÆK FRA LTV VARMEPUMPE MILJØAVARDEKLARATIONER

PEP	Kortvarig lækage A1-A3 Standard: 2% af Cn	Kortvarig lækage A4-A5 Standard: Antages nul	Løbende lækage B1-B2 Standard: 3 g / 5 g 2%	Antal genpå- fyldninger	Spild ved endt levetid: C Standard: 10% af Cn
1 Mono	Unævnt	Antaget nul	3 g	Medtaget	10%
2 Mono	Medtaget	Antaget nul	3 g	6	Medtaget
3 Mono	Medtaget	Unævnt	3 g	0	Unævnt
4 Mono	2%	Antages nul	Medtaget	Medtaget	Unævnt
5 Mono	Medtaget	Antages nul	Medtaget	Unævnt	10%
6 Mono	Medtaget	Unævnt	2%	Unævnt	Medtaget
7 Mono	Medtaget	Antages nul	Medtaget	Antages nul	10%
8 Mono	Unævnt	Unævnt	2%	4	Unævnt
9 Mono	Medtaget	Antages nul	3 g	Unævnt	10%
10 Mono	Medtaget	Antages nul	3 g	Unævnt	10%
11 Split	2%	Unævnt	26 g	3	Unævnt
12 Split	Unævnt	Unævnt	25,8	8	Medtaget
13 Split	Medtaget	Antages nul	2%	3	Medtaget
14 Split	Unævnt	Unævnt	2%	3	Unævnt
15 Split	2%	Unævnt	24 g	3	10%
16 Split	Unævnt	Antages nul	Medtaget	Medtaget	10%
17 Mono	Unævnt	Unævnt	2%	3	Medtaget

Tabel 17: Her ses en opsummering af hvordan lækage og spild angives i de analyserede miljøvaredeklARATIONER. Standardværdier er markeret med grøn, produktspecifikke værdier er markeret med orange. Ved "medtaget" menes der at det i miljøvaredeklARATIONEN skrives at påvirkningen er medtaget. Ved "Unævnt" menes det at værdien hverken nævnes eller omtales som medtaget. Bemærk at monobloc varmepumperne fra er angivet med standardværdien 3 g – svarende til hermetisk forseglet udstyr. Deres lækage antages altså at være langt under de 2% for splitsystemerne.

Livscyklusvurdering af varmepumper

Lækagetype	Standard	Medtaget/Unævnt	Produktspecifik
Kortvarig lækage A1-A3	18%	82%	0%
Kortvarig lækage A4-A5	53%	47%	0%
Løbende lækage B1-B2	58%	24%	18%
Antal gen-påfyldninger B	0%	48%	52%
Spild ved endt levetid C	41%	59%	0%

Tabel 18: Her ses en procentvis opgørelse af hvordan standardværdier, produktspecifikke værdier og uklar information (medtaget/unævnt) i fordeler sig over de analyserede miljøvardeklarerationer i tabel 18.

DATAUDTRÆK FRA LTL VARMEPUMPE MILJØVARDEKLARATIONER

PEP	Kortvarig lækage A1-A3 Standard: 2% af Cn	Kortvarig lækage A4-A5 Standard: Antages nul	Løbende lækage B1-B2 Standard: 3 g / 5 g 2%	Antal genpå- fyldninger	Spild ved endt levetid: C Standard: 10% af Cn
1 Split	2%	Unævnt	1 g	1	10%
2 Split	Medtaget	Antages nul	2%	Unævnt	Unævnt
3 Split	Unævnt	Unævnt	18,8 g	4	10%
4 Split	2%	Unævnt	17 g	3	10%
5 Split	Medtaget	Antages nul	2%	3	Medtaget
7 Split	Unævnt	Medtages	2%	4	Udeladt
8 Split	Unævnt	Unævnt	2%	4	Udeladt

Tabel 19: Her ses igen en opsummering af hvordan lækage og spild angives i de analyserede miljøvaredeklARATIONER. Standardværdier er markeret med grøn, produktspecifikke værdier er markeret med orange. Ved "medtaget" menes der at det i miljøvaredeklARATIONEN skrives at påvirkningen er medtaget. Ved "Unævnt" menes det at værdien hverken nævnes eller omtales som medtaget.

Lækagetype	Standard	Medtaget/Unævnt	Produktspecifik
Kortvarig lækage A1-A3	38%	62%	0%
Kortvarig lækage A4-A5	38%	62%	0%
Årlig lækage B1-B2	63%	0%	37%
Antal gen- påfyldninger B			
Spild ved endt levetid C	50%	50%	0%

Tabel 20: Her ses en procentvis opgørelse af, hvordan standardværdier, produktspecifikke værdier og uklar information (medtaget/unævnt) fordeler sig over de analyserede miljøvaredeklARATIONER i tabel 19.

5.3 VARMEPUMPENS PROCENTDEL AF KLIMAGRÆNSEN

5.3.1 METODE

FORMÅLET MED ANALYSEN

Det ønskes at undersøge

- hvor meget en varmepumpe kan udgøre af den samlede klimagrænse for et enfamilieshus
- hvilken betydning efterberegning med kølemidlets GWP faktor kan have for B1 modulet
- Undersøgelsen udføres kun med LTV varmepumperne, da har alle tre kølemidler repræsenteret ved den samme type funktionelle enhed på 17 år

BEREGNINGSMETODE

Betrakter vi formlen for beregning af bygningens klimagrænse ses det at den kun omfatter modulerne A1-A3, B4, C3-4 og B6:

$$\text{Bygningens beregnede klimapåvirkning} = \frac{A1+A2+A3+B4+C3+C4}{A_{ref} * 50 \text{ år}} + \frac{B6}{A_{opv} * 50 \text{ år}}$$

Beregning af B4

B4 modulet står for udskiftninger.

I dette tilfælde har varmepumpen en levetid på 17, hvilket giver 2 udskiftninger inden for den 50 årige betragtningsperiode.

$$B4 = 2 * (A1 + A2 + A3 + C3 + C4)$$

I miljødeklarationerne fra PEP er C3 og C4 modulet ikke angivet separat, men indgår som en total værdi inden for modul C1 til C4. Derfor vælges der i dette tilfælde at beregne udskiftning således:

$$B4 = 2 * (A1 + A + A3 + C1 + C2 + C3 + C4)$$

Da dette også blot vil give en mere korrekt værdi for den reelle emission fra B4 modulet

Beregning af B1 emissioner

B1 modulet indeholder emissionen fra evt. lækage af kølemidlet, hvilket findes med formlen:

$$B1_{refr} = GWP_{refr} * m * r * t$$

Her sætte GWP_{refr} . Konservativt ift. GWP_{100} iht. rapporten (Balouktsi & Birgisdottir, 2023), hvorfor kølemidlerne beregnes med følgende værdier:

- R290: $GWP_{B1} = 0$ kg CO₂-ækvivalenter
- R32: $GWP_{B1} = 898,7$ kg CO₂-ækvivalenter
- R410a: $GWP_{B1} = 2479$ kg CO₂-ækvivalenter

Varmepumpens andel af grænseværdien for referenceboligen

I dette tilfælde er $A_{ref} = A_{opv}$, da vores referencebygning ikke har kælder, udvendige gangarealer, integrerede garager eller carporte.

Der tages udgangspunkt i en varmepumpe med en nominel kapacitet på 8,8 kW. Emissionen fra de funktionelle enheder kan omregnes til emissionen svarende en varmepumpe på 8,8 kW efter følgende metode:

Varmepumpens andel i den samlede klimagrænse for boligen med B1:

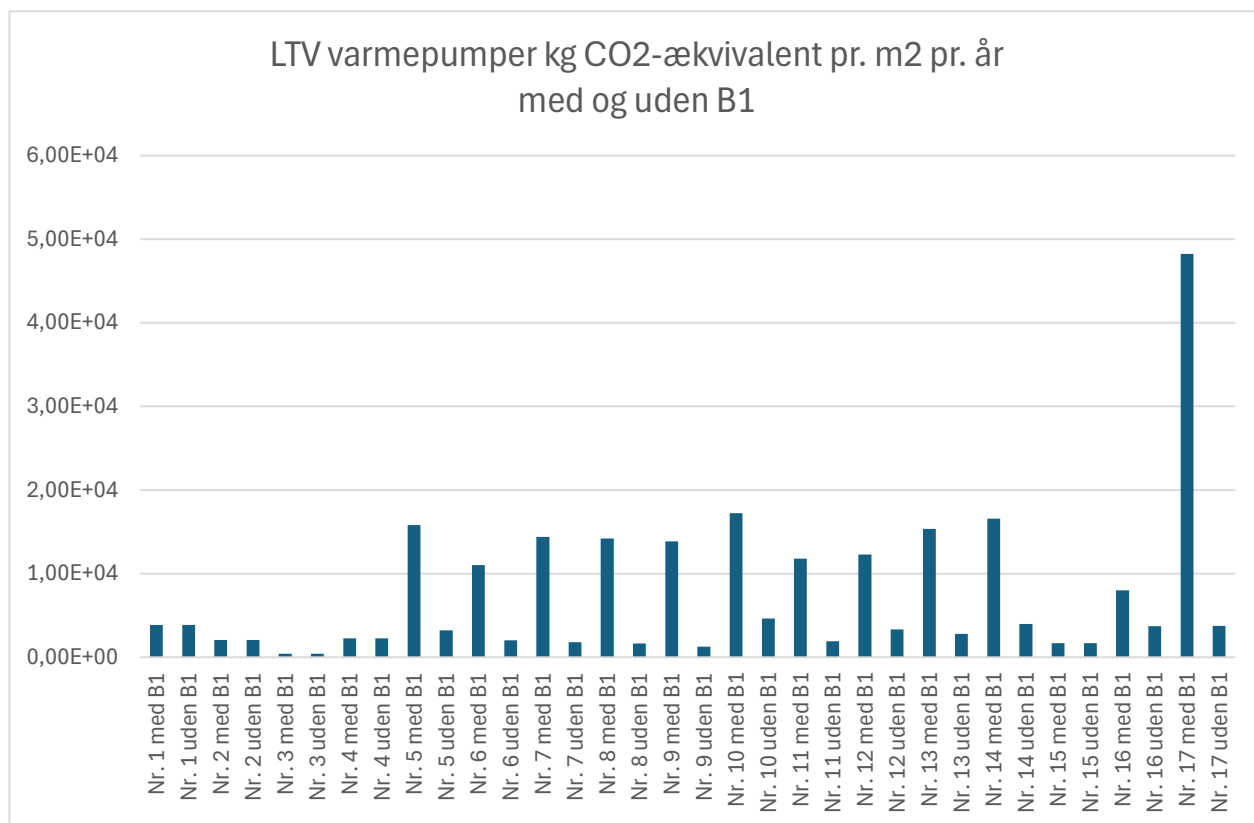
$$V_{total} = V_{kapacitet} * (A1 + A2 + A3 + B1 + B4 + C1 + C2 + C3 + C4 + B6)$$

Hvilket giver at:

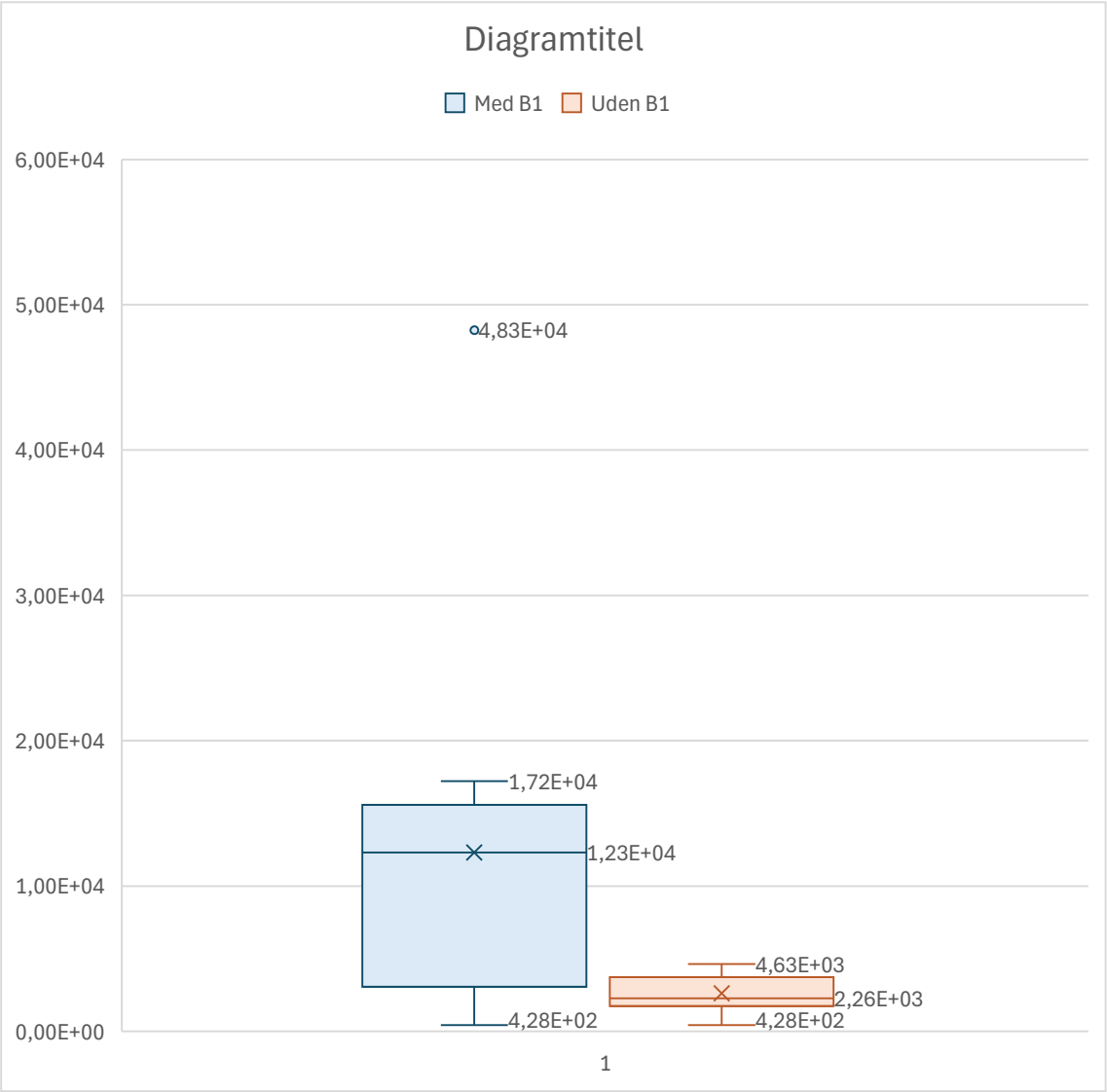
$$Totalt \text{ for varmepumpen pr. } m^2 \text{ pr. år} = (V_{total} / 180 \text{ m}^2) / 50 \text{ år}$$

Ud fra dette beregningsprincip beregnes de enkelte varmepumpers emission med og uden modul B1.

5.3.2 RESULTATER



Figur 30: Her ses varmepumpernes klimapåvirkning med og uden modul B1. Ved at medtage de tre kølemidlers GWP ses der større difference mellem varmepumperne, hvor den forventede påvirkning fra kølemidlets GWP værdi slår igennem.

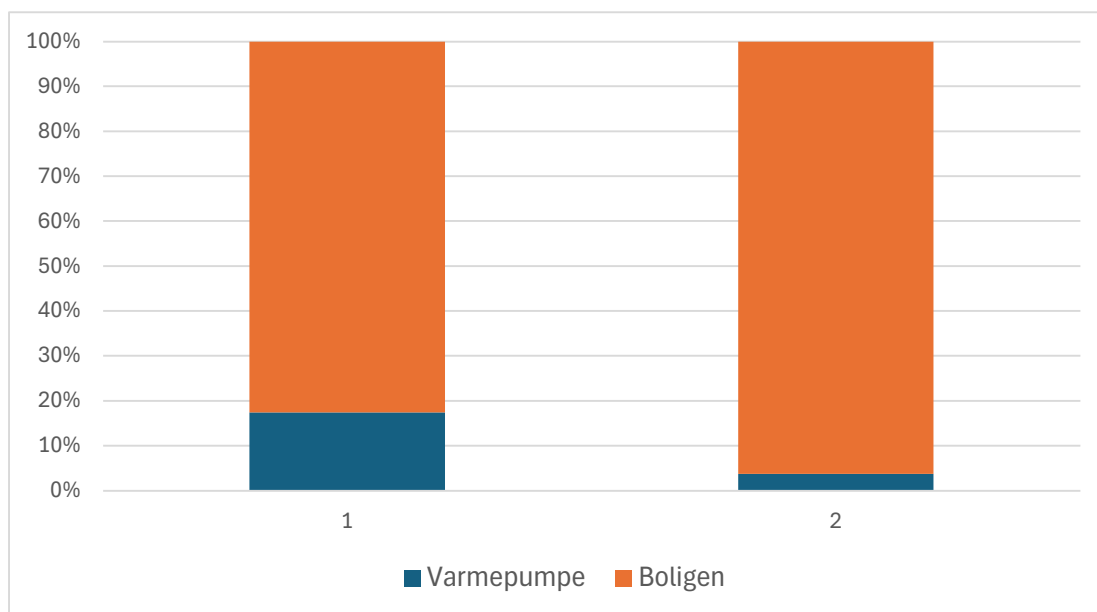


Figur 31: Her ses et boxplotdiagram, hvor det fremgår at varmepumpernes totale GWP ændres markant når man inkluderer B1 i beregningen.

NØGLETAL FRA FIGUR 31

	Med B1	Uden B1
	Kg CO ² -ækvivalent	Kg CO ² -ækvivalent
Minimum	428	428
Median	12.300	2.260
Maks	48.300	4.630

Livscyklusvurdering af varmepumper



Figur 32: Her er medianværdierne fra figur 31 sammenlignet med grænseværdien på 6,5 kg CO²-ækvivalenter for et enfamiliehus. Som man kan se, så udgør varmepumpen med B1 næsten 20% af hele den tilladte emission for et enfamiliehus.

5.3.3 DELKONKLUSION

GWP DIAGRAMMER

I **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** ses den totale GWP for de 17 udvalgte LTV varmepumper. Forventningen at alle varmepumper med R290 kølemiddel ville ligge lavere end de øvrige varmepumper (R32 og R410a kølemiddel), men 2 af dem ligger på niveau med varmepumperne med R32 kølemiddel. Af samme årsag var forventningen at varmepumperne med R32 ville lægge højere end dem med R290, men varmepumpe nr. 5, 9 og 16 ligger meget lavt og på niveau med R290 varmepumperne.

I **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** er varmepumperne med korrigeret funktionel enhed pillet ud. Her ses det endnu tydeligere at der ikke er den store forskel på varmepumperne uanset om de har forskelligt kølemiddel eller opbygning. Yderligt i **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** er GWP niveauet for modul B1-B7 også sat ind i diagrammet, og heraf fremgår det at denne fase udgør størstedelen af varmepumpernes totale GWP. Dette er konsekvent for alle varmepumper.

I **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** er GWP niveauet for modul B1 og B2 isoleret og vist i forhold til det totale GWP niveau. Forventning var at GWP skulle være relativt højt for disse moduler, da de omfatter kølemidlernes emission under driften.

I **Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** ses GWP for modul B6 isoleret ved siden af GWP total. Det ses at størstedelen af varmepumpernes klimapåvirkning er beregnet som energiforbrug under driften.

ANVENDELSEN AF DE 3 KØLEMIDDELTYPEN R290, R32 OG R410A

Ved at betragte figur 26 som viser sorteringen af miljøvaredeklarationerne efter kølemiddeltype, kan man se at for begge typer varmepumperne (LTL+LTV) så udgør R32 den langt største del kølemiddel. Det er et fåtal af varmepumperne som er produceret med R290. Taget dette i betragtning indikerer dette at udfasningen af kølemidler er en udfordring for varmepumpebranchen. De undersøgte varmepumper er alle beregnet til boliger og har alle en effekt under 12 kW, det vil sige alle monobloc varmepumper fra 2027 ikke kan produceres med R32 og alle monosplit varmepumper kan fra 2029 ikke produceres med R32. Dette udgør en stor andel af de varmepumper som findes i PEP databasen.

Forbud mod markedsføring af kølemedier i varmepumper			
Systemtype	Effektgrænse	GWP-grænse	Indtrædelse
Monoblock	≤ 12 kW	≥ 150	1. januar 2027
Monoblock	> 12 kW	≥ 150	1. januar 2030
Monosplit	≤ 3 kg HFC	≥ 750	1. januar 2025
Monosplit	≤ 12 kW	≥ 150	1. januar 2029
Multisplit	Alle	≥ 150	1. januar 2032
Multisplit	> 12 kW	≥ 750	1. januar 2035

LÆKAGERATER

Af tabel 17 og tabel 19 fremgår det, at under alle faser bliver udslip af kølemediet primært beregnet som medtaget eller som en standardværdi på 2% eller 3 g pr. år. Betragter man dette med den forudsætning at afvigelse fra PSR standardværdier udtrykkeligt skal forklares, dokumenteres og fremgå af miljøvaredeklareringen, så må man formode at når ikke andet er nævnt så er de undersøgte PEP'er primært baseret på de i PSR angivne standardværdier. De produktspecifikke værdier udgør altså den mindste kategori.

VARMEPUMPENS GWP MED OG UDEN B1

Figur 31 viser en tydelig forskel i varmepumpernes samlede klimapåvirkning alt efter, om modulet B1 inkluderes i beregningen eller ej. Modul B1 repræsenterer emissionsbidraget fra kølemiddellækager. Når B1 medregnes, stiger medianværdien markant fra 2.260 kg CO₂-ækvivalenter til 12.300 kg. Det svarer til en femdobling af klimapåvirkningen. Bemærk at den maksimale værdi vokser endnu mere markant – fra 4.630 kg CO₂-ækvivalenter til hele 48.300 kg med B1. Det indikerer, at enkelte installationer med stor lækagerisiko eller mange komponentudskiftninger kan have en uforholdsmæssigt stor miljøpåvirkning. Boxplottet visualiserer samtidigt, at spredningen er meget større ved inklusion af B1, hvilket kan tolkes som en øget usikkerhed eller variation i driftsrelaterede påvirkninger. Den store forskel mellem minimum og maksimum illustrerer, hvor afhængigt resultatet er af antagelser om drift, vedligehold og lækager. Medianen ligger dog stadig markant højere, hvilket bekræfter, at der i langt de fleste tilfælde er en betydelig klimapåvirkning fra driften.

Figur 32 viser den relative andel af varmepumpens emission sammenlignet med en samlede tilladte emissonsgrænse for et enfamilieshus. Her tydeliggøres det, at varmepumpens miljøpåvirkning kan udgøre næsten 20% af det samlede tilladte udslip. Uden B1 fylder varmepumpen kun en meget lille andel af den samlede emission. Denne forskel har stor betydning for både projekterende og bygherre, da den viser, hvor vigtigt det er at medregne B1 i livscyklusvurderingen.

Sammen viser de to figurer, at medtagelsen af modul B1 er afgørende for at forstå den reelle miljøpåvirkning fra varmepumper. Især i konteksten af de kommende klimakrav i bygningsreglementet vil det være nødvendigt at tage højde for driftsfaseudledninger – ellers risikerer man at undervurdere bygningens samlede emissioner betydeligt.

6 DISKUSSION

Formålet med denne rapport har været at analysere miljøpåvirkningen fra luft-til-luft og luft-til-vand varmepumper anvendt i enfamilieshuse med et særligt fokus på deres globale opvarmningspotentiale (GWP).

Det har desværre ikke været muligt at få en udtalelse fra Ecopassport omkring de fortolkninger og observationer, som rapporten afdækker vedrørende deres miljøvaredeklarationer. Dette kunne ellers have givet et vigtigt og nuanceret indblik i, hvordan lækagerater beregnes og anvendes i praksis, samt hvilke metodiske valg der ligger bag.

Gennemgangen af miljøvaredeklarationerne har tydeliggjort en generel mangel på transparens og datakvalitet omkring centrale forhold som lækagerater, antal genopfyldninger og håndteringen af kølemedier. Disse usikkerheder gør det vanskeligt at sammenligne varmepumper på et konsistent grundlag med henblik på at identificere den løsning med lavest miljøbelastning – hvilket ellers er det primære formål med en miljøvaredeklaration.

Rapporten viser, at det globale opvarmningspotentiale (GWP) fra kølemedier ofte udgør en væsentlig del af den samlede miljøpåvirkning fra varmepumperne. Dette er særligt uheldigt ved split-systemer, hvor standardiserede og generiske antagelser om lækagerater anvendes og kan skjule løbende lækager som opstår efter længere tids drift.

Baggrunden er det stigende krav til både energiforbrug og klimabelastninger i bygningsreglementet samt EU-strategien REPowerEU, der fremmer udbredelsen af varmepumper som alternativ til fossile energikilder.

Et centralt emne er på kølemedlernes rolle og deres betydning for varmepumpers klimapåvirkning, hvor især F-gassers lækage og GWP-værdi analyseres.

7 KONKLUSION

Denne rapport har belyst kølemidlets betydning for at overholde de kommende klimakrav til nybyggeri. Der er stor forskel på deres potentiale for global opvarmning. Flere undersøgelser peger på at den løbende lækagerate fra varmepumper kan variere meget fra bygning til bygning, afhængigt af varmepumpens opbygning og alder. Tendensen er at jo flere samlinger der er på en kølemiddelkreds og jo større varmepumpens kapacitet er, jo højere lækagerate kan den få. Undersøgelser peger også på at det kan være svært at styre mængden af udslip ved affaldshåndteringen af kølemidlet. Ses dette i lyset af den ønskede udrulning af 30 millioner nye varmepumper i Europa, taler det i den grad for at man vælger varmepumper med kølemidler, der har meget lave GWP værdier, såsom propan og kuldioxid.

Det kunne konstateres ved gennemgang af miljøvaredeklarationerne at varmepumper med kølemidlet R32 udgjorde den langt største gruppe af alle fundne kølemidler. R32 har ikke en lav GWP værdi, den er bedre end R401a, men stadig langt fra R290. Taget dette i betragtning, ser det ud som om at udfasningen af kølemidler med høj GWP værdi langt fra er kommet i gang.

Der er altså meget modsatrettede aspekter af at anvende varmepumper i enfamiliehuse. Det kan ikke entydigt siges at være et miljøvenligt alternativ. På den ene side kan de bidrage til at nedsætte CO₂-udledningen som et alternativ til fossile brændstoffer, hvis de har en høj energieffektivitet. På den anden side kan de indeholde kølemidler der bidrager kraftigt til CO₂-udledningen, hvis kølemidlet har en høj GWP værdi og slipper ud i atmosfæren. Overgangen til kølemidler såsom propan, må derfor prioriteres højt.

En ting er at man ved klimaberegninger ikke kan være ukritisk i forhold til at anvende generisk materiale, men man bør overveje indbygnings og vedligeholdes forhold fra projekt til projekt, da disse kan give stor variation i lækageraten for varmepumper. En anden ting er at varmepumper ikke bør have en lækagerate hvis kølemidlet har en høj GWP værdi. Ja, man skal selvfølgelig udføre en klimaberegning korrekt – men det bedste er vel helt at undgå klimabelastningen.

Et af de politiske tiltag for at begrænse udledningen af kølemidler er bl.a. kravet om klimadokumentation i BR18. For at dette tiltag kan slå igennem, forudsætter dette også at generiske data i klimaberegninger sættes konservativt og inkludere de moduler som påvirkes af lækage fra kølemidler. Desuden har rapporten afdækket, hvordan F-gasforordningen i stigende grad influerer både valg og dimensionering af varmepumpesystemer. Disse krav fremmer implementeringen af systemer med lav-GWP kølemidler og hermetisk lukkede kredsløb.

I forhold til hvilken type enfamiliehuse som de undersøgte varmepumper egnede sig til, kan det konkluderes at LTV-varmepumper er bedst egnede til nybyggeri med gulvvarme, mens LTL-varmepumper kan være fordelagtige i mindre boliger hvis de suppleres med solceller eller solfangere. For at overholde både energirammen og klimakravene er det vigtigt at vælge varmepumper med lav-GWP kølemiddel og høj SCOP-værdi.

8 PERSPEKTIVERING

Rapportens resultater peger tydeligt på, at varmepumpens kølemiddel kan udgøre en væsentlig andel af den samlede klimapåvirkning fra en varmepumpeinstallation. Særligt fremhæves det, at valget af kølemidler med lavt globalt opvarmningspotentiale (lav-GWP) har stor betydning for om et byggeri kan overholde de klimamæssige krav fastsat i bygningsreglementet BR18. Dette er særligt relevant information for projekterende og rådgivere, da det særligt i forbindelse med mindre enfamiliehuse er de tekniske installationer som udgør en stor del af bygningens samlede CO₂-udledning.

Selvom denne rapport fokuserer på nybyggeri, så har analyserne også stor relevans for renoveringsprojekter. I den eksisterende bygningsmasse, hvor mange boliger stadig opvarmes med olie, gas eller direkte el, så udgør varmepumper en vigtig mulighed for at reducere både energiforbruget og klimabelastningen fra disse bygninger.

Kendskab og forståelsen for betydningen af at vælge lav-GWP kølemidler kan bidrage til et mere oplyst valg i forbindelse med renoveringsprojekter, hvor ældre varmepumper med høje GWP kølemidler kan være i drift. Ved at inkludere lækagerater og CO₂-besparelser i LCA-baseret renoveringsanalyser, kan fremme miljømæssige gevinster.

De kommende stramninger i F-gasforordningen vil få væsentlige konsekvenser for både producenter, installatører og bygherre. Overgangen til lav-GWP kølemidler vil give disse parter udfordringer i forhold til dette skift. De øgede dokumentationskrav med registrering af kølemidler, årlige lækagekontrol og rapportering heraf vil også kunne medføre et større indblik i hvor meget kølemiddel der reelt bliver udledt til atmosfæren. Standardiserede værdier for kølemiddeludslip giver muligvis ikke et retvisende resultat af miljøbelastning i LCA-beregninger, da de ikke tager højde for montagefejl eller komplicerede montageforhold.

Driften og montage af små varmepumper i private hjem kunne være overset problem i forhold til energieffektivitet. Man kan nemt forestille sig at udedelen primært placeres efter eksisterende rørgennemføringsforhold eller æstetiske og støjmæssige forhold, frem for at reducere antallet af samlinger i kølekredsen.

Samlet set spiller energirammen og de tilhørende lovkrav en central rolle i at fremme anvendelsen af energieffektive og miljørigtige varmepumpeløsninger. Det kræver grundig projektering og forståelse for både den tekniske og lovgivningsmæssige ramme, hvis bygninger skal opfylde energikravene i BR18 og samtidigt drage nytte af moderne varmepumpeteknologi. ECOdesignkravene og energimærkningen fungerer som vigtige styringsværktøjer i denne proces, idet de gør det muligt at vurdere og sammenligne produkter på et informeret grundlag. For bygherre, rådgiver og installatører er det derfor afgørende at holde sig opdateret på både nationale og europæiske krav for at sikre, at varmepumpeinstallationer lever op til fremtidens standarder for energiforbrug og bæredygtighed.

9 LITTERATURLISTE

Aggerholm, S. (2018). *Bygningers energibehov* (6. udgave ed.). SBI, Aalborg Universitet.

Andersen Kirk, S., & Gravesen, N. (2025, 9. april). *Luft til luft varmepumpe pris inkl montering: Stor 2025 prisguide*. <https://www.greenmatch.dk/>.
<https://www.greenmatch.dk/varmepumpe/luft-til-luft>

Balouktsi, M., & Birgisdottir, H. (2023). *Analysis of new modules in connection with calculation of the climate impact of buildings*. Aalborg Universitet.

Danfoss. (2024). *Refrigerant options now and in the future*

Dansk Standard. *DS 13612-1*. Dansk Standard.

Dansk Standard. (2012). *DS/EN 15978*. Dansk Standard.

Dansk Standard. (2014). *Varme- og køleanlæg i bygninger - Metode til beregning af varmepumpesystemets ydeevne og konstruktion - Del 1: Konstruktion og dimensionering*. Dansk Standard.

Dansk Standard. (2020). *DS/EN 378-1:2016+A1:2020 [Kølesystemer og varmepumper - Sikkerheds- og miljøkrav - Del 1: Generelle krav, definitioner, klassifikation og udvælgelseskriterier]*. Dansk Standard.

Dansk Standard. (2022). *DS/EN 14825:2022*. Dansk Standard.

Livscyklusvurdering af varmepumper

DS/EN 15804:2012+A2:2019. (2019). DS/EN 15804:2012+A2:2019.

DS/EN ISO 14040. (2008). *DS/EN ISO 14040*. Dansk Standard.

Energistyrelsen. (a). *Hvilken type varmepumpe skal du vælge?* [https://spareenergi.dk/.
https://spareenergi.dk/privat/tid-til-skifte-varmekilde/hvilken-type-varmepumpe-skal-
du-vaelge](https://spareenergi.dk/.https://spareenergi.dk/privat/tid-til-skifte-varmekilde/hvilken-type-varmepumpe-skal-du-vaelge)

Energistyrelsen. (b). *Information om varmeområdet.* [https://ens.dk/.
https://ens.dk/forsyning-og-forbrug/information-om-varme](https://ens.dk/.https://ens.dk/forsyning-og-forbrug/information-om-varme)

Energistyrelsen. (c). *Om energikrav*

Overblik over ecodesign, EU's energimærkning og andre ordninger.
<https://ens.dk/forsyning-og-forbrug/om-energikrav>

Eunomia Research & Consulting Ltd, & London South Bank University. (2014). *Impacts of Leakage from Refrigerants in Heat Pumps*. Department of Energy & Climate Change.

Europa-Parlamentet. (2023, 22. marts). *Hvilke gasser forårsager klimaforandringer?*
[https://www.europarl.europa.eu/portal/da.
https://www.europarl.europa.eu/topics/da/article/20230316STO77629/hvilke-gasser-
forarsager-klimaforandringer?](https://www.europarl.europa.eu/portal/da.https://www.europarl.europa.eu/topics/da/article/20230316STO77629/hvilke-gasser-forarsager-klimaforandringer?)

European Commission. (2022, Maj 18). *REPowerEU*. ec.europa.eu.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_3131

European Heat Pump Association. (2023, 7. juni). *REPowerEU and the EU Heat Pump Action Plan*. <https://www.ehpa.org/policy-2/repowereu-and-the-eu-heat-pump-action-plan/>

REGULATION (EU) 2024/573, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A32024R0573&>

Hovmand Energi ApS. *Monoblock eller split varmepumpe? Alt du behøver vide*. [hovmandenergi.dk. https://hovmandenergi.dk/raad-og-viden/monoblock-eller-split-varmepumpe/](https://hovmandenergi.dk/raad-og-viden/monoblock-eller-split-varmepumpe/)

Hyldgård, C. (1993). *Køleanlæg og Varmepumper*. Aalborg Universitet.

Hørning, P. (2023). *Køleanlæg og varmepumper* (3. udgave ed.). Polyteknisk Forlag.

M. Hvenegaard, C. (2019). *Den lille blå om varmepumper* (2. udgave ed.). Dansk Energi.

Metro Therm. *De to kompressortyper: ON/OFF og frekvensstyret*. <https://www.metrotherm.dk/>.
<https://www.metrotherm.dk/videnscenter/varmepumper/de-to-typer-kompressorer-til-varmepumper>

Miljø- og Ligestillingsministeriet. *Om kølemidler*. <https://mst.dk/erhverv.https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-produkter/koelemidler/videnscenter-for-koelemidler/om-koelemidler>

Livscyklusvurdering af varmepumper

NovaSolar. (2021, 16. august). *Hvordan virker en varmepumpe?*

<https://www.novasolar.dk/>. <https://www.novasolar.dk/blog/hvordan-fungere-en-varmepumpe-n17>

One Click LCA. (2024, december). *The New EN 15804 Standard: A Quick Guide (+A1 vs +A2)*. <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us>.

<https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360017188900-The-New-EN-15804-Standard-A-Quick-Guide-A1-vs-A2>

Social- og Boligstyrelsen. (a). *FAQ*. <https://www.sbst.dk/>.

<https://www.sbst.dk/byggeri/baeredygtigt-byggeri/videncenter-for-bygningers-klimapaavirkning/faq?>

Social- og Boligstyrelsen. (b). *National strategi for bæredygtigt byggeri*.

<https://www.sbst.dk/>. <https://www.sbst.dk/byggeri/baeredygtigt-byggeri/national-strategi-for-baeredygtigt-byggeri>

Social og Boligstyrelsen. *Vejledning om Tiny Houses*.

<https://www.bygningsreglementet.dk/>.
https://www.bygningsreglementet.dk/vejledninger/andre_vejledninger/vejledning/

Stranddorf, H. K., Hoffmann, L., & Schmidt, A. (2005). *Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA*. Miljøstyrelsen.

The European Heat Pump Association AISB. *What is a heat pump?*

<https://www.ehpa.org/>. <https://www.ehpa.org/about-heat-pumps/>

Livscyklusvurdering af varmepumper

UN Environment programme. *About Montreal Protocol.*

<https://www.unep.org/ozonaction/>. <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>

Viessmann DK. *Luft til vand varmepumper - luft som varmekilde.* viessmann.dk.

<https://www.viessmann.dk/da/viden/teknologi-og-systemer/luft-vand-varmepumpe.html>

Vølund Varmeteknik. *Den bedste placering af luft-til-luft varmepumpe.*

<https://volundvt.dk/>. <https://volundvt.dk/placering-af-luft-til-luft-varmepumpe>

Würth, K. What is the Kyoto Protocol? https://unfccc.int/kyoto_protocol