



Universitetet  
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

## MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Industriell økonomi/Prosjektledelse

Vårsemesteret, 2014

Åpen

Forfatter: Vegard Stokke

.....  
(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Frank Asche, Universitetet i Stavanger

Veileder: Viktor Strand, GK Norge

Tittel på masteroppgaven:

**Behovsstyrt ventilasjon i kontorbygg- Evaluering av lønnsomhet**

Engelsk tittel:

**Demand Controlled Ventilation in office buildings- Evaluation of profitability**

Studiepoeng: 30

Emneord:

Behovsstyrt ventilasjon

Kontorbygg

Lønnsomhetskalkyler

Beslutningsgrunnlag

Sidetall: 61 sider

+ vedlegg: 19 sider

Stavanger, 13. Juni 2014

## Sammendrag

Bygninger står for nær 40 % av energibruken i Norge.[36] Norske bygg, og spesielt næringsbygg bruker langt mer energi enn nødvendig. For at Norge skal nå klimamål, klare nye tekniske krav, og gjennomføre ambisjoner om flere lavenergibygg må det gjøres tiltak for å redusere energibruken.

Fokus på arbeidsmiljø og inneklima har gjort ventilasjon til en relativt stor del av energiforbruket i næringsbygg. Derfor er det naturlig for byggherren å se på hvilke løsninger som kan gjøres bedre her. Det mest nærliggende tiltaket er å installere behovsstyrt ventilasjon som regulerer mengden tilført friskluft på en optimal måte. Ulempen er at det kreves en mengde dyre og mer komplekse komponenter. Ansatte hos GK Norge avdeling Tromsø har hatt problemer med å fortelle byggherrer ved mindre næringsbygg hvor lønnsomt og hensiktsmessig dette tiltaket faktisk er. Oppgaven har gått nærmere inn på denne usikre delen ved bruk av behovsstyrt ventilasjon for å lage et bredere beslutningsgrunnlag.

Det har blitt lagd et beregningsverktøy i Excel for å hjelpe entreprenører og byggherrer med vurdering ved valg av ventilasjonstype. Dette verktøyet er basert på lønnsomhetskalkyler gjennomført i oppgaven. Lønnsomhetskalkylene består av nåverdianalyse og sensitivitetsanalyse som igjen er delt opp i to deler. Den første delen har sett på forskjellen mellom et DCV-anlegg (behovsstyrt) og et CAV-anlegg (konstant luftmengde). Mens den andre delen har tatt for seg kontorceller, for å se på hvordan lønnsomheten endrer seg med andel behovsstyrte installasjoner i disse.

Nåverdianalysene for et standard kontorbygg på 200 m<sup>2</sup> viser at dyre investeringer i behovsstyrte systemer ikke lar seg tilbakebetale under de gitte forutsetningene i oppgaven. Det er likevel ingen tvil om at energibesparelsen er stor. Ved å gå fra et CAV-anlegg til et DCV-anlegg vil besparelsen være 26,8 kWh/m<sup>2</sup>, noe som tilsvarer litt over 50 % energireduksjon. Selv om lønnsomheten ikke viser seg ved en levetid på 15 år og 5 % i diskonteringsrente, gir sensitivitetsanalysen indikasjoner på at det likevel kan være en positiv investering økonomisk sett. For eksempel vil en økning i energipris eller en forlenget antatt levetid gjøre behovsstyrt ventilasjon til et fornuftig økonomisk valg. For delen i oppgaven som omhandler kontorceller foreligger den samme trenden, og viser ikke til lønnsom behovsstyrt ventilasjon før noen av de vesentlige parameterne endrer seg i positiv retning. Det er verdt å nevne at lønnsomheten i kontorcelleanalysen er størst der rundt 40 % av kontorene har behovsstyrt ventilasjon. For at det skal være lønnsomt med DCV-installasjoner i 40 til 100 % av kontorbygget må minst to av parameterne endre seg. For eksempel forlenget levetid og økt energipris.

Konklusjonen er at behovsstyrt ventilasjon er svært energisparende, og gir i de fleste tilfeller et inneklima med behagelig og god komfort. Likevel er ikke lønnsomheten sikker. Det må enten vurderes slik at energisparing og godt inneklima er grunnlag nok for å velge behovsstyrt ventilasjon, eller at de faktiske økonomiske parameterne som energipris, levetid etc. er gode nok til å generere profitt. Miljøprofilen i bygg er også ansett som et godt argument ved valg av energisparende tiltak, som for eksempel behovsstyrt ventilasjon. Videre er beslutningsgrunnlaget og beregningsverktøyet i Excel konkludert med at det gir interessant informasjon og god støtte til beslutning. Det trengs likevel å videreutvikles slik at tallene som kommer ut er sikrere og mer korrekte i forhold til reelle bygg. Resultatene bør sågar verifiseres i reelle kontorbygg.

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	2
Forord .....	6
1 Innledning.....	7
1.1 Forkortelser .....	9
2 Krav til inneklima .....	10
2.1 Lover og regler.....	10
2.2 TEK 10 .....	10
2.3 Tilstedeværelse .....	11
2.4 Samtidighet .....	12
3 Typer ventilasjon .....	13
3.1 CAV- Konstant luftmengde .....	13
3.2 VAV- Variabel luftmengde .....	14
3.3 DCV- Behovsstyrt ventilasjon .....	14
4 Behovsstyrt ventilasjon .....	15
4.1 Standardkomponenter CAV .....	16
4.2 Standardkomponenter DCV .....	17
4.3 Valg av type behovsstyrt ventilasjon.....	19
4.4 Systemløsninger .....	20
4.4.1 Spjeldoptimalisering.....	20
4.4.2 Trykkstyrt anlegg .....	20
5 Energiteknisk teori.....	21
5.1 Luftmengde .....	21
5.2 SFP .....	21
5.3 Energibruk .....	22
5.3.1 Vifteeffekt.....	22
5.3.2 Varmebehov .....	23
5.3.3 Kjølebehov.....	23
6 Lønnsomhetskalkyler: Teori .....	24
6.1 Nåverdianalyse .....	24
6.1.1 Nåverdiberegningen.....	26
6.1.2 Diskonteringsrente .....	27
6.2 Diskontert tilbakebetalingstid .....	27
6.3 Sensitivitets analyse .....	28

6.3.1	Stjernerdiagram .....	28
7	Datagrunnlag- Kontorbygg og inneklima.....	29
7.1	Kontorbygg .....	29
7.1.1	Standard kontorbygg.....	29
7.1.2	Case: kontorbygg.....	30
7.2	Økonomisk data.....	30
7.2.1	Kostnad på kanalnett og aggregat.....	31
7.2.2	Priser på luftbehandlingsutstyr .....	31
7.2.3	Installasjons- og prosjekteringskostnader.....	32
7.2.4	Levetid .....	33
7.2.5	Diskonteringsrente .....	33
7.2.6	Vedlikeholdskostnader .....	33
7.2.7	Validering av priser.....	34
7.3	Inneklimadata.....	34
7.3.1	Dimensjonering av luftmengde .....	34
7.3.2	Tilstedeværelsesfaktor og samtidighet .....	35
7.3.3	Driftstid.....	36
7.4	Energiberegninger .....	36
7.4.1	Vifteeffekt CAV-anlegg .....	37
7.4.2	Vifteeffekt DCV-anlegg .....	37
7.4.3	Varme- og kjølebehov .....	38
7.4.4	Oppsummering av energiberegningene.....	38
7.5	Oppsummering.....	39
8	Nåverdianalysen .....	40
8.1	Case 1- DCV-anlegg vs CAV-anlegg.....	40
8.1.1	Merinvestering .....	40
8.1.2	Vedlikeholdskostnader .....	41
8.1.3	Energikostnader .....	41
8.1.4	Restverdi og reduserte ventilasjonskostnader.....	42
8.1.5	Oppsummering av levetidskostnaden.....	42
8.2	Case 2- Levetidskostnadsanalyse med hensyn på kontorceller .....	42
8.2.1	Investeringen.....	43
8.2.2	Vedlikeholdskostnad .....	43
8.2.3	Energikostnad.....	43

8.2.4	Restverdi og Reduserte ventilasjonskostnader .....	44
8.2.5	Oppsummering av levetidskostnaden .....	44
9	Sensitivitetsanalyse .....	46
9.1	Case 1- DCV-anlegg vs CAV- anlegg .....	46
9.1.1	Sensitivitet med hensyn på levetid .....	46
9.1.2	Sensitivitet med hensyn på Diskonteringsrente.....	48
9.1.3	Sensitivitet med hensyn på Energipris .....	49
9.1.4	Sensitivitet med hensyn på Ventilasjonsvarmeforbruk .....	51
9.1.5	Tilbakebetalingstid .....	51
9.1.6	Oppsummering.....	51
9.2	Case 2- Med hensyn på kontorceller .....	52
10	Beslutningsgrunnlaget.....	54
10.1	Økonomisk kriterier.....	54
10.2	Tekniske kriterier .....	54
10.3	Øvrige kriterier .....	55
11	Diskusjon .....	56
12	Konklusjon .....	59
13	Referanser .....	60
14	Vedlegg.....	62
	Vedlegg A- Datainnsamling kontorbygg .....	63
	Vedlegg B- Energiberegninger .....	67
	Vedlegg C- Tilbakebetalingsmetoden.....	70
	Vedlegg D- Sensitivitetsanalyse CAV-anlegg vs DCV-anlegg .....	71
	Vedlegg E- Sensitivitetsanalyse med hensyn på kontorceller .....	74
	Vedlegg F- SWOT-analyse.....	76
	Vedlegg G- Forklaring på beregningsverktøy i Excel .....	78

## Forord

Denne masteroppgaven vil være med på å avslutte min toårige master i industriell økonomi ved Universitetet i Stavanger. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og arbeidet med den har pågått fra februar 2014 til juni 2014.

Sammen med GK Norges avdeling i Tromsø kom vi fram til en oppgave som var relevante for dem, samtidig som det passet min faglige bakgrunn og interesse. I Tromsø fikk jeg muligheten til å bruke GK Norges ekspertise på inneklima samtidig som jeg kunne anvende faglige prinsipper tilegnet på masterstudiet. Arbeidet med oppgaven har vært svært spennende og lærerikt for meg. Jeg har fått være med å se ny teknologi innen inneklima, og blitt kjent med erfarne og dyktige fagfolk. Kunnskapen og erfaringene jeg har tilegnet meg i løpet av perioden med masteroppgaven er jeg utvilsomt sikker på vil komme godt til nytte i arbeidslivet.

I Tromsø ble jeg veldig godt tatt i mot, og vil med det takke de ansatte i GK Norge for måten jeg har blitt inkludert på. Spesielt vil jeg takke distriktssjef Viktor Strand for god hjelp, tilrettelegging av arbeidsforhold, og ikke minst for muligheten jeg har fått til å skrive oppgaven. Videre vil jeg takke Johan-Petter Olsen for gode faglige samtaler, hjelp og forslag, og Espen Aronsen for faglige tilbakemeldinger på et høy nivå. Andre i bransjen som har gitt meg god informasjon og positive tilbakemeldinger er leverandørene Lindab og Trox Auranor, en takk til dem også!

Jeg ønsker også å takke min faglige veileder ved Universitetet i Stavanger, Frank Asche, for tips og gode konstruktive tilbakemeldinger de gangen jeg var i Stavanger. Avslutningsvis vil jeg av de utenforstående gjerne takke min samboer Sjenia Johansen og min bror Thomas Stokke for støtte og betydningsfull korrekturlesing.

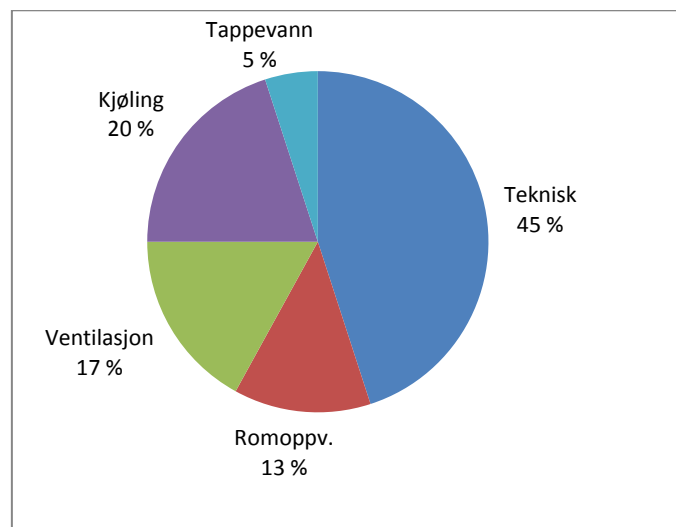
Stavanger, juni 2014

Vegard Stokke

## 1 Innledning

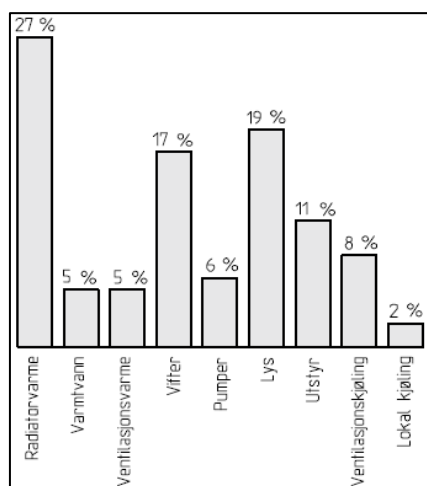
I følge det Internasjonale Energibyrådet(IEA) må investeringene i energieffektivisering firedobbelts på 20 år hvis den globale oppvarmingen skal begrenses til 3,6 grader.[1] Norge er i verdenstoppen på energiforbruk og bruker for eksempel dobbelt så mye strøm som det svenskene gjør og fire ganger så mye som danskene.[2] I tillegg bruker vi til tider mer strøm enn det vi klarer å produsere. Som følge av dette vil det bli stadig økende behov og etterspørsel for energieffektivisering i bygg. Bygninger står for nær 40 % av energibruken i Norge, og spesielt yrkesbygg bruker langt mer energi enn nødvendig.[36] Da sier det seg selv at for nå klimamål i Norge må tiltak gjennomføres for å redusere energibruken i bygg.

I tillegg til energieffektivisering er det blitt stadig mer fokus på et godt innneklima i dagens samfunn. Ventilasjonsanlegg er så å si obligatorisk i alle bygg hvor mye folk oppholder seg over lengre tid, både med hensyn på helse, komfort og arbeidseffektivitet. Utover disse personlige behovene er det blitt økt fokus på kostnadsbesparing i form av redusert energiforbruk. Ventilasjon dekker en betydelig andel av energiforbruket, se figur 1. Regjeringens hjemmesider sier at ventilasjon har 17 % av et næringsbyggs energiforbruk.[33] Trolig vil denne prosentandelen bli enda høyere da større og større andel av varmebehovet vil være varme og kjøleluft fra ventilasjon.



Figur 1 Fordeling av energiforbruk i næringsbygg [33]

Å ha et godt innneklima sammen med ønsket evne til å spare energikostnader gjør at det å ventilere etter behov blir mer og mer aktuelt. Entreprenører og spesielt kunden ønsker å finne optimale løsninger hvor energibruk står i forhold til hva som kun er nødvendig, både med tanke på økonomisk vinning og best mulig komfort. Figuren 2 viser en typisk energifordeling i et moderne kontorbygg. Ventilasjonsvarmen og ventilasjonskjølingen har en andel på henholdsvis 5 og 8 %. Verdiene vil variere fra bygg til bygg, og hva behovet for varme og kjøling er. I Nord-Norge er det eksempelvis lite bruk av ventilasjonskjøling. Diagrammet viser også at viftene med sine 17 % konsumerer det meste av energien i et ventilasjonsanlegg.



Figur 2 Energifordeling i et moderne kontorbygg [3]

Bruk av ventilasjon i kontorer og møterom er blitt en nødvendighet av hensyn til arbeidsmiljø og effektivitet blant ansatte. Ulempen er at mange kontor og møterom ofte står tomme 60-70 % av tiden med fullt kjøp på klimaanlegg og belysning.[4] Et behovsstyrt system kan redusere energibruken til ventilasjon med 50-60 %.[5] Som nevnt tidligere er grunnen til behovsstyrt ventilasjons aktualitet et økende fokus på miljøvennlige og energi effektive bygg, samt at driften av byggene må være i henhold til gitte krav og standarder(TEK 10/15). TEK 10 og de kommende direktivene gir krav om stadig lavere energiforbruk i bygg. I framtiden vil det bli bygget flere og flere passivhus, lavenergi hus og næringsbygg med minimal forbruk av energi. For å få til dette er det nødt til å bli gjort tiltak der hvor energiforbruket er stort, blant annet ved bruk av ventilasjon. Tiltak her kan sees på som veldig gevinstgivende.

Alle energisparende tiltak krever en viss merinvestering, og det kreves det også ved installasjon av behovsstyrte systemer. Flere komponenter vil være dyrere og mer komplekse, derfor må en veie kostnaden ved å investere opp mot framtidig lønnsomhet. I ventilasjonsbransjen, og spesielt hos leverandører kommer det fram at behovsstyrt ventilasjon vil være energibesparende og gjøre at drift av bygg blir mye billigere. Indikasjoner fra bransjen er at det ikke alltid er en klar visshet om at dette faktisk lønner seg, og at man tar lønnsomheten for gitt. Kunden og leverandøren ser ofte ikke på kostnadene i et livsløpsperspektiv. I samarbeid med GK Norge avd. Tromsø ble det kommet fram til en problemstilling rundt behovsstyrt ventilasjon. De var svært interessert i å få belyst hvorvidt og når behovsstyrt ventilasjon var mest hensiktsmessig å installere. De ansatte i Tromsø har til tider problemer med å fortelle og bevise til kundene sine at dette faktisk lønner seg. Jeg fattet med en gang interesse for problemstillingen og muligheten til å kombinere den tekniske innklima-delen med økonomiske betraktninger. Å få tilegne seg teknisk innsikt på det nyeste av teknologi innen ventilasjon samt å få anvende fagkunnskap fra masterstudier ved UIS var en god kombinasjon for meg.

Arbeidet med denne oppgaven skal undersøke og utfordre dagens praksis med å installere behovsstyrte systemer og se på hvor hensiktsmessig og lønnsomt det er under ulike forutsetninger. Det finnes flere studier på riktig valg av utstyr, energioptimalisering og lønnsomhetsvurderinger. Fra før er det relativt sikkert å anta at bygg som kjøpesentre, kino, hoteller, skoler og store kontorbygg har kortest tilbakebetalingstid. For mindre bygg og rom vil det være interessant å se hvorvidt det er lønnsomt å installere behovsstyrt ventilasjon. Denne oppgaven vil gå nærmere inn på bruk av



behovsstyrt ventilasjon i mindre kontorbygg og spesifikt inn i hver kontorcelle hvor lønnsomhet ikke gir en sikker avkastning. Hovedformålet blir å utforme analyser og verktøy for å gi et bedre beslutningsgrunnlag. For å få til dette skal det sees på kostnader og energibruk implementert i levetids- og sensitivitetsanalyser som igjen munner ut i et beslutningsgrunnlag. Alle analysene skal til slutt inn i et beslutningsverktøy som skal utvikles i Microsoft Excel. Excel er betraktet som et funksjonelt verktøy til dette formålet, og er i så måte brukervennlig med en passende vanskelighetsgrad.

## 1.1 Forkortelser

Forkortelser som blir anvendt i oppgaven:

<b>CAV</b>	Constant Air Volume
<b>VAV</b>	Variable Air Volume
<b>DCV</b>	Demand Controlled Ventilation
<b>kW</b>	Kilo Watt
<b>kWh</b>	Kilo Watt Hours
<b>SFP</b>	Spesific fan power
<b>CO<sub>2</sub></b>	Karbondioksid
<b>TEK10</b>	Teknisk forskrift for 2010
<b>TEK15</b>	Teknisk forskrift for 2015
<b>NS3130</b>	Norsk Standard
<b>FDV</b>	Forvaltning, drift og vedlikehold
<b>VVS</b>	Varme-, Ventilasjons- og Sanitærteknikk
<b>NNV</b>	Netto nåverdi

## 2 Krav til inneklima

### 2.1 Lover og regler

Alle bygg og byggenes tekniske innhold skal reguleres av lover, regler og veiledere for å sikre brukerne gode inneklimamiljø og fornuftig energibruk. Plan- og bygningsloven samt teknisk forskrift og veiledninger skal sørge for dette. Forskrift om tekniske krav til byggverk nå kalt TEK 10, trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Formålet er å sikre tilstrekkelig kvalitet, helse, miljø og sikkerhet samt energibruk. Forskriften stiller krav til at luftmengden fra ventilasjon er akseptabel, og det angis minimumsluftmengder i forhold til person- og materialbelastning. Lavt energibehov og miljøriktig energiforsyning skal fremmes under prosjektering og utførelse.[6]

### 2.2 TEK 10

De to viktigste kravene som stilles til bygg med ventilasjonsanlegg er lufttilførselen og energibruken. Kravene til lufttilførsel og energibruk er beskrevet av TEK 10 i henholdsvis § 13-3 og § 14-4. Videre står det i dette del-kapittelet om byggeforskriftens anbefaling til personbelastning og litt om byggematerialers påvirkning av luftkvaliteten.

#### § 13-3. Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning

- I byggverk for publikum og arbeidsbygning skal gjennomsnittlig frisklufttilførsel på grunn av forurensninger fra personer med lett aktivitet være minimum **26 m<sup>3</sup> pr. time pr. person**. Ved høyere aktivitet skal frisklufttilførsel økes slik at luftkvaliteten blir tilfredsstillende.
- Gjennomsnittlig frisklufttilførsel skal minimum være **2,5 m<sup>3</sup> pr. time pr. m<sup>2</sup> gulvareal** når bygningen eller rommene er i bruk og minimum **0,7 m<sup>3</sup> pr. time pr. m<sup>2</sup> gulvareal** når bygningen eller rommene ikke er i bruk. Kravet skal ivareta behov for å ventilere bort lukt og emisjoner fra bygningsmaterialer og inventar.

Et annet dimensjoneringsstall som er oppgitt i denne paragrafen for kontorer er at det skal være minimum et areal på 15 m<sup>2</sup> pr person.

#### § 14-4. Energirammer

For kontorbygg skal energiforbruket ikke overstige 150 kWh/m<sup>2</sup>, som er total netto energibehov til et oppvarmet bruksareal. For bygg med ventilasjonsoppvarmet luft- og kjøling er følgende maksimale forbruksverdier satt som ramme:

Tabell 1 Utviklingen i byggetekniske krav for ventilasjonsbruk[4]

	TEK 07 [kWh/m <sup>2</sup> ]	TEK 10 [kWh/m <sup>2</sup> ]	TEK 15 [kWh/m <sup>2</sup> ]
Ventilasjonsvarme	29	12	6
Ventilasjonskjøling	19	19	9
Ventilasjonsvifte	22	22	8

Tabellen over viser utviklingen med krav til energiforbruk fra ventilasjon i kontorbygg. Som en kan se er det kraftige innstramminger på kravene og det ventes i 2015 å være meget strenge krav for energibruk fra ventilasjon. Varme- og kjølebehovet i kontorbygg varierer veldig fra bygg til bygg og hvordan behovet er i det området bygget er plassert i. TEK 10 verdiene i tabellen over tar forbehold om et lavenergibyg, mens for eksempel et bygg med energiklasse C eller dårligere har et forbruk av

ventilasjonsvarme på 2-4 ganger høyere. Fra 2015 og utover vil det bli satt krav til at alle nye byggverk skal ha behovsstyrt ventilasjon, og fra 2020 i alle rehabiliteringsbygg.[7]

### Personbelastning

Personbelastningen sier noe om hvor stor forurensingsmengde et menneske avgir.

Forurensingsmengden øker ved økende aktivitet. Frisklufttilførselen på grunn av forurensing fra personer, må for personer med lett aktivitet minst være 7 l/s.[6] Krav til personbelastning er gitt av TEK 10 får å sikre gode innemiljø. For kontorbygg er det generelle kravet 15 m<sup>3</sup>/h pr kvadratmeter i TEK 10. Kravet er bare generelt, og behovet for frisk luft er forskjellige fra rom til rom. For eksempel er det i møterom anbefalt 20 m<sup>3</sup>/h pr. kvadratmeter, mens i single kontorrom er anbefalt 12-15 m<sup>3</sup>/h pr kvadratmeter.

### Byggematerialer

Byggematerialene er ofte definert ut ifra hvor gammelt bygget er. Desto eldre bygget er desto vanskeligere er det å dokumentere hvilke materialer det er bygd av. Materialet som er brukt i bygningen kan ha store konsekvenser for hvordan inneklima blir. Byggematerialene er delt opp i tre kategorier:

1. Udokumenterte materialer
2. "Kjente gode" materialer
3. Lavemitterende materialer

En bør ta i betraktning hvilke materialer bygget består av ved dimensjonering av luftmengder. Materialer kan påvirke inneklima negativt ved avgassing(emisjoner) som gjør at det er nødvendig med større luftmengder.[8] Nye bygg består stort sett av lavemitterende materialer som betyr at byggemassene er godt dokumenterte og at det er kjent hvordan de påvirker inneklimaet. På grunn av dette kan luftmengdene neddimensjoneres. Figuren under viser hvordan krav til friskluft endrer seg for de tre materialkategoriene. For eksempel øker materialbelastningen fra 1 til 2 l/s/m<sup>2</sup> (tilsvarende 3,6 til 7,2 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>) for henholdsvis lavemitterende materialer og udokumenterte materialer.

Materialbelastning B $\frac{l/s}{m^2}$		
Lavemitterende materialer	"Kjente, gode" materialer	Udokumenterte materialer
1	1.5	2
0.7	0.7	1
0.4	0.5	0.6

Figur 3 Kategorier over byggematerialer [9]

## 2.3 Tilstedeværelse

Tilstedeværelse defineres som fraksjonene av tid et rom er okkupert innenfor en spesifikk tidsperiode.[4] Oppholdstid i rom er opplagt forskjellig fra bruker, rom og bygg. Eksempelvis i en typisk kontorbygning er personer tilstede på 20-60 % av rommene på et gitt tidspunkt.

Tilstedeværelsesfaktoren gir et prosentvis estimat på antatt gjennomsnittlig brukstid i hvert enkelt rom, der 100 % tilsvarer bruk av rom under hele arbeidstiden.

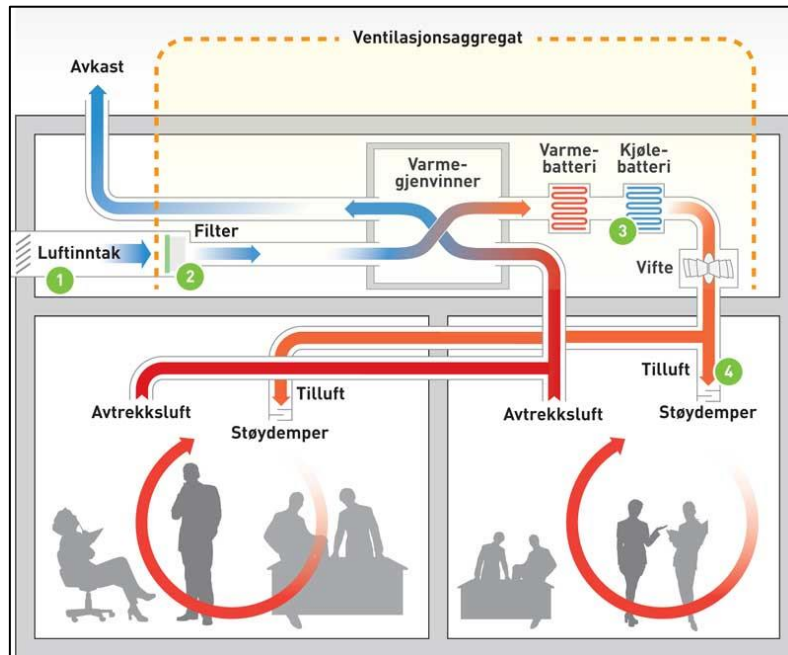
## 2.4 Samtidighet

Avhengig av grunnventilasjonen gir en tilstedeværelse på mellom 20-60 % en ventilasjonsmengde på 40-70 % av dimensjonerende luftmengde som et tilsvarende CAV anlegg ville hatt. Dette kalles samtidighet.[4] Samtidighetsfaktoren er forholdet mellom sannsynlig samtidig luftmengde og maksimal dimensjonerende luftmengde. For et DCV-anlegg skal luftmengden reguleres etter det behovet som til en hver tid er. Med samtidighetsfaktorer tas det høyde for at alle ventilasjonshetter sjelden settes i åpen stilling samtidig. Denne faktoren velges ut i fra hvor mange rom det er og luftmengde som forseres. For å bestemme den samtidige maksimale- og minimale luftmengden står følgende viktige prosjektavhengige faktorer[11]:

- Antall rom som har behovsstyrte innretninger
- Type regulering og reguleringsparametere
- Type bygning og brukere
- Aksept for avvik i korte perioder

### 3 Typer ventilasjon

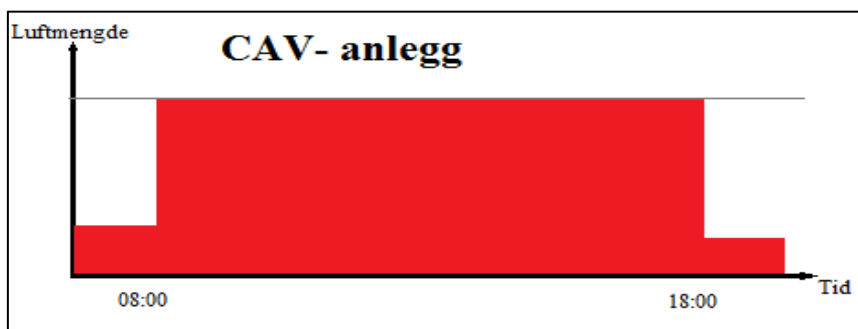
Figur 4 under illustrerer hvordan et ventilasjonsanlegg fungerer. Frisk uteluft (1) blir ført gjennom filter (2) og varmet/kjølt i batterier, alt etter behov(3). Deretter blåses luften inn i rommene (4). Avtrekket i rommene fører så den brukte og forurensede luften ut i avkastet igjen. Slik er syklusen til anlegget. Det er også ofte hensiktsmessig å gjenbruke den varme luften som blir kastet ut. I figur 4 vist ved en varmegjenvinner i midten av ventilasjonsaggregatet. Et ventilasjonsanlegg blir stort sett omtalt som CAV styrt (Constant Air Volume) eller VAV styrt (Variable Air Volume). Disse er forklart nærmere i kapittelet under. VAV-komponenter er ikke nødvendigvis behovsstyrte komponenter, men de inngår likevel i DCV-systemet og er derfor definert som DCV- komponenter i oppgaven.



Figur 4 Prinsippkisse for et ventilasjonsanlegg [12]

#### 3.1 CAV- Konstant luftmengde

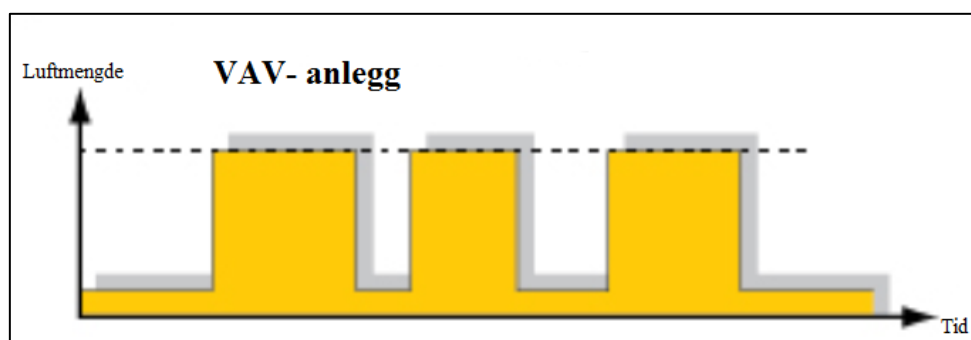
Konstant luftmengdetilførsel er den enkleste formen for styring av luftmengder og har kun et enkelt tidsur som slår av og på anlegget etter angitt tid. For eksempel fra kl. 0800 til 1800, se figur 5. CAV brukes vanligvis når det er jevnt behov for ventilasjon, liten variasjon i personbelastningen og liten variasjon i varmebelastningen. Denne metoden har en enkel og billig styring og et tidsur som kan overstyres via en bryter eller en bevegelsessensor. Ulempen med CAV er at det er like luftmengder i alle rom uavhengig av personbelastning. I tillegg går det konstant, noe som fører til et høyere energiforbruk.



Figur 5 CAV- anleggets driftssyklus i løpet av en arbeidsdag

### 3.2 VAV- Variabel luftmengde

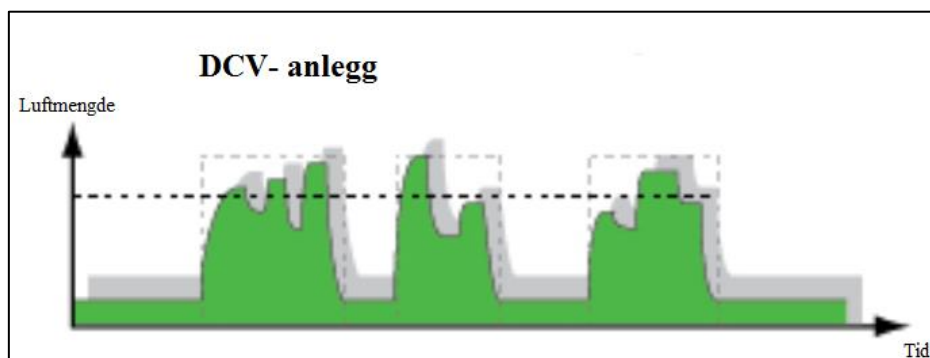
Ved variabel luftmengde kan man styre ventilasjonen avhengig av når de enkelte rommene brukes, men ikke hvor mye de belastes i det aktuelle tidsrommet. Som i et CAV anlegg er det mulig å bruke et tidsur som definerer start og stopp. Det kan også være en bryter eller en bevegelsessensor, mens for VAV kan ventilasjonen øke/minke i de enkelte rommene. Fordelen med VAV er altså at det er ventilasjon kun i de rommene som er i bruk. VAV brukes vanligvis når rommet kun er brukt periodevis, det er liten variasjon i personbelastning og varmebelastning. Et slikt anlegg består av en regulator som holder trykket konstant i kanalsystemet for at luftmengden skal fordeles riktig.



Figur 6 VAV- anleggs driftssyklus i løpet av en arbeidsdag [13]

### 3.3 DCV- Behovsstyrt ventilasjon

DCV står for Demand Controlled Ventilation og omfatter ventilasjonssystemer der tilført luftmengde reguleres automatisk i forhold til et samtidig målt behov på romnivå. DCV forutsetter romsensorer som gir et signal om romluftas kvalitet. Dette signalet brukes til å styre luftmengden direkte i forhold til ønsket kvalitetsmål. Denne definisjonen betyr at ikke alle VAV- løsninger er DCV, mens alle DCV- løsninger er VAV.[14]

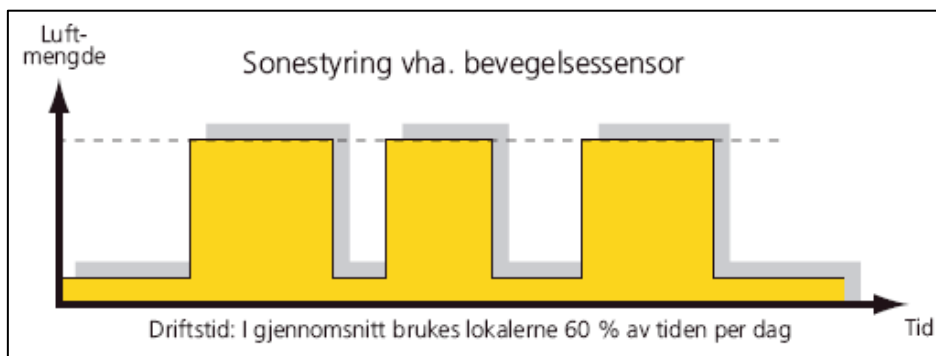


Figur 7 DCV- anleggs driftssyklus i løpet av en arbeidsdag [13]

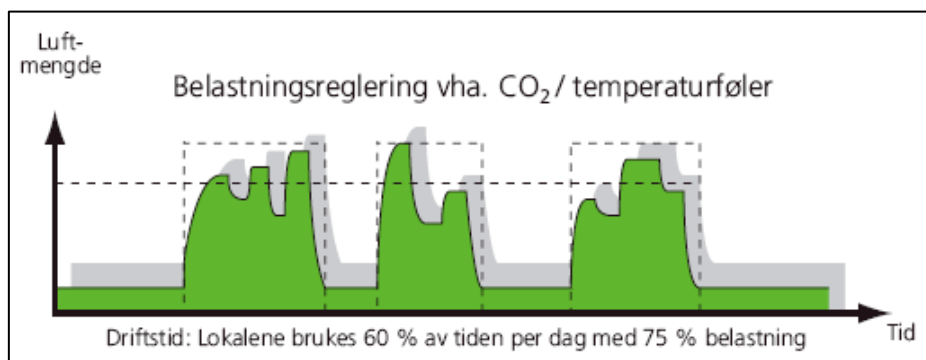
## 4 Behovsstyrt ventilasjon

Det at et ventilasjonsanlegg er behovsstyrt betyr at tilført ventilasjonsmengde reguleres automatisk og i sann tid etter et målt behov på romnivå. Det vil si at det er nødvendig med en romsensor som gir et mål/signal på romluftens tilstand. Målingen/signalet brukes til å styre tilført mengede luft etter hvilke kvalitet som er ønsket. Hvilke type romsensor som brukes bestemmes av hvem som bruker rommet, hvor mange, hvor ofte, hvor mye penger en ønsker å investere. Type sensor kan være alt fra klokkestyrte anlegg til avansert energioptimal spjeldstyring med rombehov gitt av en gass-sensor. DCV får det meste ut av ventilasjonsanlegget, kun ved å bruke anlegget ved behov. Ved å bruke nøyaktig like stor mengde uteluft til akkurat å kompensere bruken av inneluft. [10]

Det er i all hovedsak to forskjellige måter å gjennomføre behovsstyring på: Det ene er sonestyring med bevegelsessensor, også kalt VAV. Det andre er belastningsregulering ved hjelp CO<sub>2</sub>/temperafølere, se figur 8 og 9 under. Begge de to kan gå under navnet VAV.



Figur 8 VAV- Variable Air Volume [13]



Figur 9 DCV- Demand Controlled Ventilation [13]

## 4.1 Standardkomponenter CAV

### Tilluftsventil

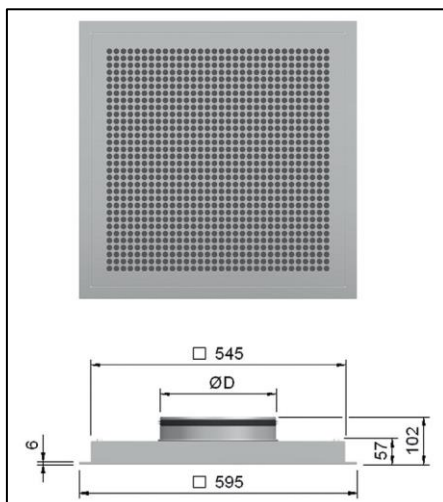
Tilluftsventilen er kvadratisk og laget for montasje i systemhimlingen. Det er vanlig å montere denne direkte på plenumskammeret. Tilluftsventilen er den siste komponenten luften går forbi før den treffer rommet.



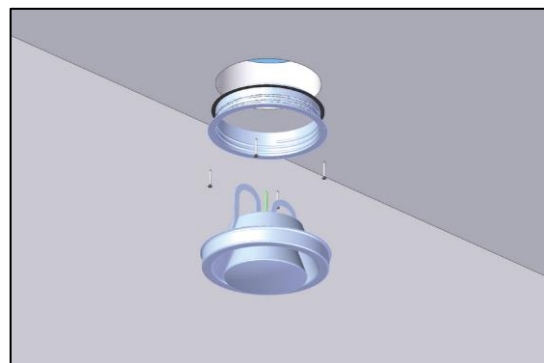
Figur 10 Tilluftsventil [15]

### Avtrekk

Avtrekk er en komponent for å trekke "brukt" luft ut av rommet. Figur 12 til høyre brukes typisk i mindre rom med lav personbelastning. Figuren til venstre er typisk brukt for større rom og større personbelastninger.



Figur 12 Auranor [16]



Figur 11 Auranor [16]

### Plenumskammer

Det anbefales å bruke plenumskammer selv for et CAV- anlegg. Plenumskammeret gir bedre lyd-demping samt regulerings og målemuligheter. Kammeret er rektangulært med demonterbart spjeld som gir tilgang til anslutningskanalen. Hva et kammer består av avhenger av leverandør og systemløsning.

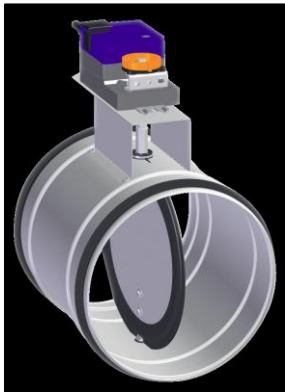


Figur 13 Plenumskammer [15]

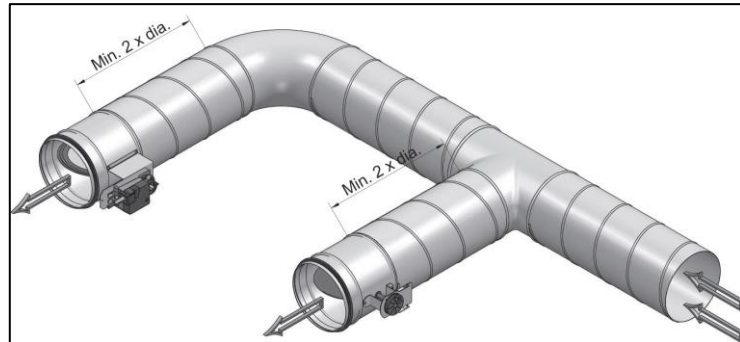


### Spjeld med manuell lukker

I et CAV- system brukes spjeld til å innregulere anlegget og sørge for riktig fordeling av luftmengde i anlegget. Spjeldene i et CAV-anlegg har en fast innstilling og brukes ikke til regulering.



Figur 15 Auranor [16]



Figur 14 Plassering av spjeld i systemet [16]

### Lyddemper

Antall lyddempere og designet på dem varierer etter behovet. Lyddempere viser seg å være dyrere ved DCV- installasjoner. Tilluftssystemet skal alltid utstyres med lyddempere. Avtrekksystemet skal utstyres med lyddempere der det er en avtrekksventil plassert i rom med krav til lydnivå. Lyddemperne plasseres mellom aggregatet og første avgrening til ventil.



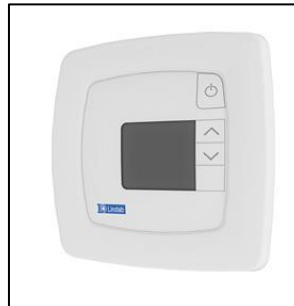
Figur 16 Lyddemper [15]

## 4.2 Standardkomponenter DCV

For et DCV- system gjelder de samme komponentene som er nevnt i kapittelet over for et CAV- system: Ventiler, plenumsammer etc. Den store forskjellen er en VAV- regulator som har motorikk til å jobbe ved forskjellige lufthastigheter. VAV- regulator, sensorer og noe mer avanserte lyddempere. Det finnes mange varianter av komponenter til DCV-anlegg, for eksempel tilluftsventiler med innebygd DCV-spjeld. Blant annet har Lindinvents løsning de fleste DCV-komponenter samlet i et "boks". Denne består av et plenumsammer med innebygd motorstyrt spjeld, trykk- og temperatur målere, sensorer, kretskort og tilluftsventil.

## Regulator/sensorer

Denne komponenten registrerer temperatur, bevegelse og luftkvalitet. Data registrert gjør at den kan regulere tilførsel av luft og temperatur. De forskjellige sensorene er nevnt i kapittel 4.3



Figur 17 Romregulator [15]

## Systemregulatorer

Konfigurering av avtrekksmengde, vifteoptimering og driftskontroll. Dette er selve styringen bak hele behovsstyrte ventilasjonssystemet. Hvert rom er utstyrt med en regulator for å overvåke og kontrollere hvilken temperatur og luftmengde som er tilstede. Disse regulatorene sender igjen informasjon til en systemregulator som sørger for at anlegget går optimalt på hvert enkelt rom.



Figur 18 Systemregulator[15]



Figur 19 Luftmengderegulator [15]

## VAV spjeld/ Luftmengde regulatorer

VAV- regulatoren regulerer seg alltid inn til den luftmengden som samsvarer med signalet fra romregulatoren. VAV- enheten eller DCV- spjeldet som det også kan kalles er hovedkomponenten for å regulere luftmengde i et DCV- system. DCV- spjeld er et motorspjeld med automatikk for struping og innebygd måling av enten lufthastighet eller trykkfall. Denne automatikken har flere navn, blant annet elektronisk styreenhet, luftmengderegulator, DCV- regulator eller bare regulator. DCV- regulatoren får et signal fra en sensor i rommet om hvilke innstillinger spjeldet bør ha. Signalet sendes videre til spjeldmotor som deretter struper eller åpner spjeldet.[11] VAV- spjeld er et bladspjeld som er avrundet i topp og bunn.

## VAV-regulator i Lager, kopirom, korridorer etc.

Luftmengderegulator som er beskrevet i teorikapittelet kan anvendes i rommene med lav aktivitet relativt lite behov for luftmengder. Selv om rommene er typiske CAV-rom med stort sett lik luftmengde hele tiden kan det være hensiktsmessig å installere VAV-komponenter. Målet med å bruke luftmengderegulatoren er å holde trykktapet over VAV-enheten så lav som mulig og dermed redusere driftskostnadene ved å redusere viftepådraget(SFP-faktoren).[17]

### 4.3 Valg av type behovsstyrt ventilasjon

Ved valg av type behovsstyrt ventilasjon er det i hovedsak tre løsninger det er snakk om. Det er:

1. VAV, i hovedsak større rom/møterom hvor personbelastning varierer mye
2. Tilstedeværelses- og temperaturfølere. Benyttes vanligvis i mindre rom
3. CO<sub>2</sub>-følere, alene eller kombinert med tilstedeværelses- og temperaturfølere. Brukes mest i større rom: typisk klasserom, auditorium etc.

Tabell 2 Beskrivelse av de forskjellige reguleringsverktøyene/sensorene [11]

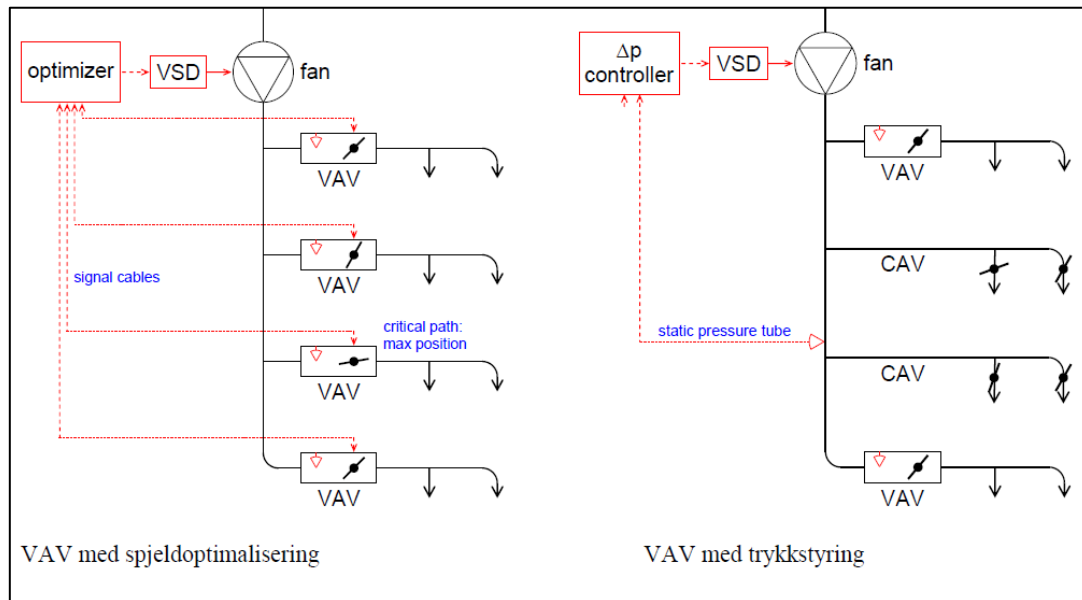
Reguleringsverktøy/ sensorer	Bruk	Fordel	Ulempe
Ur	Muligheter for tidsstyring. Brukes der det er generell høy belastning i løpet av en tidsperiode	Billig	Ingen mulighet til å behovsstyre etter personbelastning
Bevegelses sensor	Brukes vanligvis i mindre rom	Lav kostnad Lang levetid	Tar ikke hensyn til hvor mange som oppholder seg i rommet
CO <sub>2</sub> - føler	Anvendt i større rom, hvor det kan oppholde seg mange personer. Klasserom, auditorium etc.	Behovsregulering etter hvilke personbelastning det er i rommet	Kan trenge kalibrering for å sikre nøyaktighet over tid. Kan ha noe usikre målinger
Temperaturføler	Denne blir brukt i kombinasjon med de reguleringsverktøyene nevnt ovenfor	Lav kostnad Lang levetid	Regulerer kun i forhold til temperatur belastning

Der hvor det er ulike behov for luftmengder og temperatur kan det være hensiktsmessig å dele inn bygget i soner. En sone kan være et rom eller det kan bestå av mange rom. Poenget er at hvis det ikke er nødvendig med styring etter hvert enkelt roms behov, er det enklere og billigere å styre flere rom på samme styringsenhet. Dette gjelder da større bygg og anlegg hvor trykktapet blir stort med lange kanaler. Det er ikke brukt komponenter i forhold til reguleringer i soner, da dette bør vurderes ved større bygg. I større bygg anbefales det å ha VAV-soner som styrer flere DCV spjeld.[10]

I cellekontorer er det vanlig å styre etter tilstedeværelse og temperatursensor. Fordelen er forenklet styring og rimeligere sensorer. Ulempen er økt energibruk og risiko for ubehagelig lave temperaturer i rom med få brukere. I møterom, klasserom og andre rom med stor variasjon i antall brukere er det vanlig å anvende kombinert temperatur og CO<sub>2</sub>-følere.[11] Hvis det er flere enn 10 personer i rommet er det vanlig å bruke CO<sub>2</sub>-sensor. Teknologien med bruk av sensorer har eksistert lenge, men problemet har vært å ha kostnadseffektive, enkle og pålitelige sensorer. CO<sub>2</sub> følere kan bli unøyaktige over tid, og det kreves kalibrering.

## 4.4 Systemløsninger

Å kombinere en konstant luftmengdetilførsel med behovsstyrt luftmengdetilførsel er svært vanlig. Mange rom trenger ingen behovsstyring da behovet for frisk luft er så å si konstant hele tiden. I rom som lager, korridorer og tekniske rom etc. er det lite variasjon i tilstedeværelse av mennesker, derfor er det ikke hensiktsmessig å installere dyre DCV-komponenter for å regulere ingenting. Det finnes to typer behovsstyrte systemer: anlegg med spjeldoptimalisering og trykkstyrte kombinasjonsanlegg, se figur under. Trykkstyrt ventilasjon blir anvendt ved bruk av CAV- komponenter i systemet.



Figur 20 To typer behovsstyrte systemer[18]

### 4.4.1 Spjeldoptimalisering

Denne styringen har direkte kontroll med alle spjeld fra en Optimizer. En Optimizer er en styrefunksjon for å få optimal kjøring av anlegget med tanke på luftmengde og energisparing. Den regulerer viften direkte ut i fra behov. Erfaringer med Spjeldoptimalisering indikerer at det er energieffektivt og har rask innreguleringsevne. Denne løsningen er også mest kompleks og er dyrest.

### 4.4.2 Trykkstyrt anlegg

Det finnes mange varianter av denne systemløsningen: VAV på enden av en gren, CAV på enden av en gren, eller mer kombinerte anlegg. Et slikt anlegg medfører utfordringer ved innregulering, det vil si få alle komponentene til å fungere sammen optimalt. Det er viktig å unngå for mye struping med hensyn på energibruken. Hvis for eksempel trykksensoren er for nærme aggregatet styrer den mot et veldig høyt trykk. Spjeld blir strupt stort sett i hele driftsperioden og bygger opp mye høyre trykk en hva som trengs. Dette gir dårlig omfordeling av luft og høyre energiforbruk.[14]

## 5 Energiteknisk teori

Ventilasjonsanleggets energibruk er som nevnt tidligere i all hovedsak basert på luftmengdens størrelse og oppvarming/kjøling av ventilasjonsluften. Foruten varme/kjølebatteriet står aggregatviftene for bortimot all elektrisk kraft trukket av ventilasjonsanlegget sett bort i fra småelektronikk og automatikksystemer. Hvor mye energi viftene bruker avhenger av mengde luft som presses ut i kanalene, og hvordan aggregatet, kanalene og komponentene i luftfordelingssystemet fungerer sammen. I tillegg er type bygning, størrelse på bygningen og hvordan trykket i kanalene er, utslagsgivende for viftenes effektivitet. Viftens effektivitet er angitt av SFP faktoren, se kapittel 5.2. Hvordan energien fra viftene og varme/kjølebehovet beregnes er forklart i siste del av dette kapittelet.

### 5.1 Luftmengde

Luftmengde er den friske luften som forlyttes av viftene i ventilasjonsaggregatet. Den totale luftmengden defineres som den største tillufts- og avtrekksmengden i anlegget.[3] Luftmengde har symbolet  $q_v$  eller  $\dot{V}$  og oppgis i  $m^3/s$ ,  $m^3/h$  eller  $l/s$ . Kontorbygg som i relativt stor grad har faste arbeidsplasser må alltid ha egen tilførsel av uteluft på en trekkfri måte. Ved dimensjonering er det viktig å være klar over at store luftmengder krever generelt mye energi, mens små luftmengder vil gi dårlig inn klima. I praksis beregnes nødvendig luftmengde etter arbeidstilsynets normer eller byggeforskrifter (TEK10). Ventilasjonsforholdene vurderes ut i fra:

1. Personer
2. Bygning
3. Aktiviteter

Er luftmengden på grunn av aktiviteter veldig forskjellig fra summen pga. personer(1) og bygning(2), velges den største luftmengden av (1)+(2) eller (3).[19] For å beregne luftmengden multipliseres den anbefalte minimum luftmengde pr kvadratmeter med antall areal luftmengde:

$$\text{Luftmengde [m}^3/\text{h]} = \text{Areal [m}^2] \times \text{min. luftmengde [m}^3/\text{h pr m}^2]$$

### 5.2 SFP

Specific Fan Power, på norsk spesifikk vifteeffekt. Denne faktoren sier noe om hvor effektiv viften i et ventilasjonsaggregat er. Den spesifikke vifteeffekten er forholdet mellom den total effekten viftene bruker og luftmengde som forflyttes i bygget ved hjelp av disse viftene.[20] SFP faktoren er ikke konstant for et ei gitt vifte, men endres både med størrelse på luftmengde og viftetrykk - økning. Desto høyere SFP faktoren er desto høyere blir energibruken og energikostnadene. SFP beregnes slik:

$$\text{SFP} = \frac{\sum P}{\dot{V}} \text{ [kW/(m}^3/\text{s)]}$$

Hvor:

$\sum P$  = Summen av alle vifteeffektene, kW

$\dot{V}$  = Total sirkulert luftmengde,  $[m^3/s]$

SFP faktor bør velges etter ambisjonsnivå på energisparing og hvilke type bygg det er snakk om. I TEK10 er det anbefalt for:

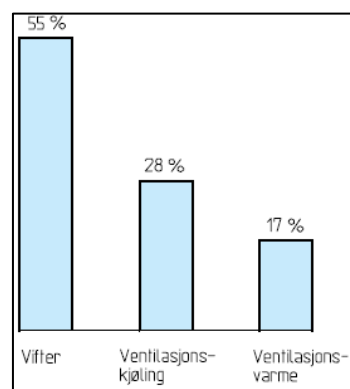
- Boligbygninger  $\leq 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- Øvrige bygninger  $\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
- Passivhus  $\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$

Videre har Mads Mysen ved SINTEF anbefalt [20]:

- SFP < 2,0 for nye bygg med begrenset driftstid (under 4.000 timer/år)
- SFP < 1,5 for nye bygg med døgkontinuerlig drift
- For VAV-anlegg økes SFP med 1,0 ved maksimal luftmengde
- SFP < 2,5 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg
- SFP < 4,0 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg med spesielt trange tekniske rom og vanskelige Føringer

### 5.3 Energibruk

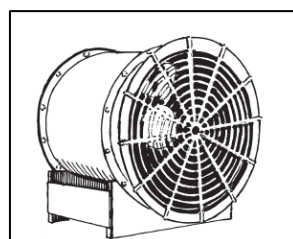
Hvor mye energi et ventilasjonsanlegg bruker er i all hovedsak avhengig av om anlegget anvendes til romoppvarming eller kjøling, hvor lenge det er i drift, og hvor mye frisk luft som trengs. Figuren under viser en typisk energifordeling i et ventilasjonsanlegg. Ventilasjonsvarmen og ventilasjonskjølingen har en andel på henholdsvis 17 og 28 %. Verdiene vil varieres fra bygg til bygg, og hva behovet for varme og kjøling er. I Nord-Norge er det eksempelvis lite bruk av ventilasjonskjøling. Diagrammet viser også at viftene med sine 55 % trekker det meste av energien i et ventilasjonsanlegg.



Figur 21 Typisk energifordeling til ventilasjon [3]

#### 5.3.1 Vifteeffekt

Vifteeffekten er den elektriske effekten som er nødvendig for å drive viftene. Denne beregnes ut i fra anleggets antatte SFP, dimensjonert luftmengde og antall timer i drift. Desto lavere vifteeffekten er, desto lavere er energiforbruket og støyverdiene.



Figur 22 Radialvifte [3]

$$P_V = \text{SFP} \times \left( q_v \times \frac{1}{3600} \right) \times h \text{ [kWh]}$$

$P_V$  = Vifteeffekt [kW]

SFP = Spesific Fan Power [kW/m<sup>3</sup>/s]

$q_v$  = Luftmengde [m<sup>3</sup>/h]

$h$  = Driftstimer pr år

### 5.3.2 Varmebehov

Ved behovsstyrt ventilasjon vil kjøle og varmebehovet reduseres fordi man reduserer tilført luftmengde av kjølt og varmet luft til rom som ikke er i bruk. Ventilasjonsvarmen er hvor mye energi som kreves for å løfte temperaturen til ønsket verdi, med andre ord oppvarmingsbehovet i en bygning. Det er altså effekten til varmebatteriet som befinner seg i ventilasjonsaggregatet. Oppvarmingsbehovet bestemmes av følgende formel:

$$\varphi = C_p \times \left( q_v \times \rho \times \frac{1}{3600} \right) \times \Delta t$$

$\varphi$  = Varmeeffekt [kW]

$C_p$  = Varmekapasitet luft = 1 [KJ/kg · K]

$q_v$  = Luftmengde [m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  = Luftens massetetthet = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta t$  = temperatur ventilasjonsluft [°C] – temp. rom [°C] = ( $t_1 - t_2$ )

### 5.3.3 Kjølebehov

$$P = C_p \times \left( q_v \times \rho \times \frac{1}{3600} \right) \times \Delta t$$

$P$  = Kjøleeffekt [kW]

$C_p$  = Varmekapasitet luft = 1 [KJ/kg · K]

$q_v$  = Luftmengde [m<sup>3</sup>/h]

$\rho$  = Luftens massetetthet = 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta t$  = temperaturforskjell mellom romluft og tilluft

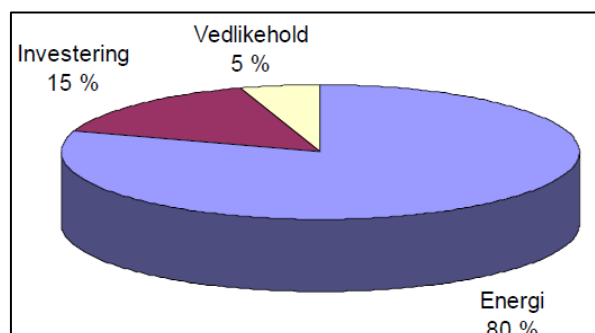
## 6 Lønnsomhetskalkyler: Teori

Dette kapitlet skal forklare leseren de teoretiske prinsippene bak modellene og verktøyene som er brukt i oppgavens analyser. Ved å finne fram til de økonomiske parameterne over systemets levetid kan analysene anvendes for å lage et beslutningsgrunnlag. Det vil bli interessant å se på de sparte energikostnadene og om det er en rimelig tilbakebetalingstid på relativt dyre DCV- komponenter. Lønnsomhetskalkylene vil gi indikasjoner på dette. Lønnsomhetskalkylene beror på prinsipper fra investeringsanalyse og levetidskostnadsanalyse. Nøkkelfaktorene i en investeringsanalyse inkluderer inngangspris, forventet tidshorizont og grunner for å ta beslutningen på gitt tidspunkt.[21] En levetidskostnad skaper på sin side et helhetlig bilde av systemets livsløp, synliggjør alle kostnader og legger grunnlag for sammenligning og beslutninger.[22] Betrakningene om levetidskostnad og investeringsanalyse har gitt utløp til en nåverdianalyse og en sensitivitetsanalyse som skal presenteres og brukes videre i denne oppgaven.

### 6.1 Nåverdianalyse

Tidligere var det vanlig å kjøpe det utstyret som har lavest mulig pris. Utviklingen i norsk byggenæring har økt fokuset på tidlig planlegging og de gevinstene dette gir. Nåverdianalysen er basert på levetidskostnadsanalyse og i denne oppgaven anvendt for å operasjonalisere kostnader til ventilasjonsanlegg over et livsløp. Levetidskostnadsanalyser kan benyttes som belynings- og beslutningsverktøy i ulike faser og for ulike formål. Det er viktig å ha bevissthet om dette før man starter opp analysene.[22] Livsløpskostnad, eller Life Cycle Cost som det engelske faguttrykket heter består av den totale kostnaden ved innkjøp, installering, bruk og vedlikehold av utstyrt over en estimert levetidsperiode. Miljøkostnaden av råmaterialutnyttelse og resirkulering/søppel kan også inngå i den totale summen. Levetidskostnadsanalysen leverer en metode som tillater å sammenligne den samlede profitten til de forskjellige alternativene, ikke ulikt nåverdianalysen. Den kan for eksempel velge den metoden som er best på pris eller best på miljø, alt etter hvilke kriterier en setter. Poenget er å lage et helhetlig bilde av et produkts livssyklus. Levetidskostnaden omfatter alle kostnader i løpet av systemets levetid. For å utføre en slik analyse av tekniske anlegg som ventilasjon må hver av disse kostnadene summeres[23]:

- Investeringskostnad
- Installeringskostnad
- Energi kostnad
- Service- og vedlikeholds kostnad
- Miljø kostnad
- Verdi av utstyrt ved endt levetidsperiode
- Eventuell skatt

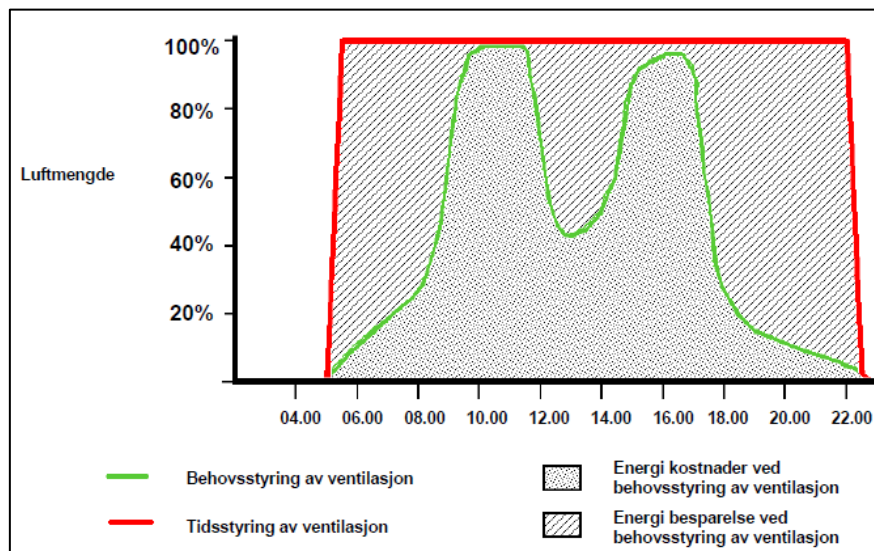


Figur 23 Kostnader som ligger i et ventilasjonsanlegg[25]



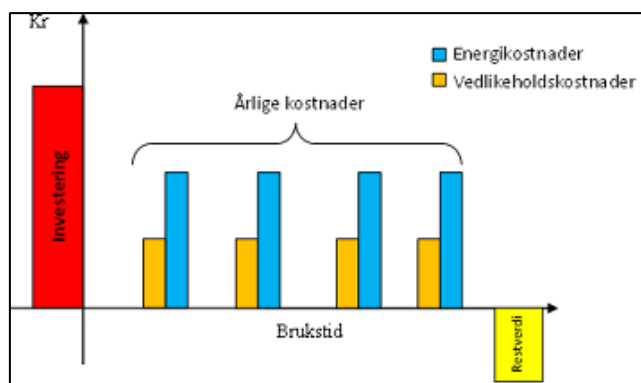
Det er verdt å merke seg at i løpet av levetidsperioden fra 10 til 20 år kan energikostnadene være opp til 80 % av den total levetidskostnadssummen, se figur 23 over. En lengre levetid på utstyret gjør at energibruken tar større deler av ventilasjonskostnadene. Derfor har denne delen av kostnadene i et ventilasjonsanlegg et stort reduserings potensiale. Energiforbrukene er summen av det konsumerte energi koster hvert år i levetiden til systemet. Energi og vedlikeholdskostnadene er uttrykt i form av nåverdi med renter og inflasjon, se kapittel 6.1.1 lengre ned.

Når det gjelder behovsstyrt ventilasjon vil investeringskostnadene naturlig nok ligge høyere enn for CAV- systemet. Det nåverdianalysen vil gi indikasjoner på, er om levetidskostnaden for den behovsstyrte ventilasjonen fremdeles kan være lavere enn for et konstant luftmengde-anlegg. Figuren under illustrerer denne delen av energiforbruket som spares ved installasjon av DCV. Det skraverete feltet mellom det røde tidsstyrte CAV- anlegget og det grønne behovsstyrte anlegget er hva man kan forvente å spare. Men er denne besparelsen god nok for å rettferdiggjøre en dyr investering?



Figur 244 Sammenligning av driftssyklus mellom DCV og CAV-anlegg[24]

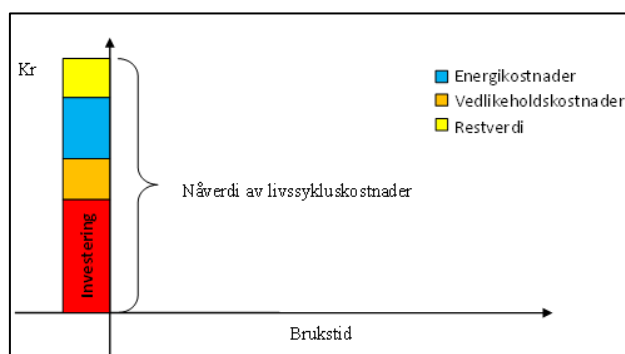
Figuren 25 viser en forenklet levetidskostnad for et ventilasjonsanlegg. Her er ikke miljøfaktorer, utvikling, avvik og skatter tatt i betraktning, men kun kostnader og verdi et teknisk anlegg har. De årlige kostnadene er beregnet eller registrerte kostnader for de enkelte år, i tillegg kommer verdien av utstyret i siste leveår. Denne restverdien trekkes i fra levetidskostnads-regnskapet.



Figur 25 Forenklet levetidskostnader for et ventilasjonsanlegg

### 6.1.1 Nåverdiberegningen

For å få et riktigere økonomisk bilde må alle framtidige kostnader og inntekter beregnes om til nåverdi. Nåverdiberegningene brukes i denne oppgaven til å beregne alle levetidskostnadene til et ventilasjonsanlegg. Utgangspunktet for Nåverdi metoden er at alle inn- og utbetalinger regnes om til ett og samme tidspunkt, se figur 26 under. Søylene i figuren nedenfor hvis alle kostnader og inntekter i år null samlet. Denne søylen kalles levetidskostnad og er summen av alle kostnader neddiskontert til ti nåverdi. Den gule restverdien(inntekt) vil som nevnt ha motsatt fortegn i motsetning til de andre delene.



Figur 26 Nåverdi av alle levetidskostnader

Nåverdi defineres som verdien av dagens penger til å bli mottatt i framtiden. Framtidige inntekter og utgifter regnes tilbake til investeringstidspunktet. Først da kan alle summer av nåverdier sammenlignes. Prosjekter med positiv nåverdi er lønnsomme og prosjektene med høyest nåverdi er mest lønnsomme. Nåverdi kan også benyttes til å finne hvilket prosjektalternativ som har lavest total kostnad over tid når en ser på et prosjekt som ikke har en direkte inntektsside. Generelt sett gir den netto nåverdien av alle investeringsanalyser det mest nøyaktige svaret på hvilket prosjekt som bør velges eller ikke.

I nåverdianalysen blir anvendelsen av nåverdiforemlene brukt for å diskontere kostnadene til år null. Formelen øverst på neste side viser at FDV(energi og vedlikeholdskostnader) diskonteres årlig fram til brukstiden er over. Restverdien diskonteres kun ved endt leveår, altså ved brukstiden  $T$ . I et typisk prosjekt er det en negativ investeringskostnad i år null ( $I_0$ ) og en positiv kontantstrøm i de resterende årene til levetiden er nådd. Utrengninger i denne rapporten vil få fram det alternativet til ventilasjon som har lavest negativ levetidskostnad. Formelen under er hentet fra Multiconsults veileder.[22]

$$\text{Levetidskostnad} = -I_0 + \sum_{t=1}^n -\frac{\text{FDV}}{(1+i)^t} + \frac{\text{Restverdi}}{(1+i)^T}$$

FDV = Årlig Forvaltning, drift og vedlikeholds kostnad

R = Restverdi i siste leveår

T = Brukstid

i = Kalkulasjonsrente

t = Levetid

### 6.1.2 Diskonteringsrente

Blir oftest brukt i forbindelse med investeringsanalyser og lønnsomhetsberegninger. Renten sier ikke bare noe om verdien til pengene i et tidsperspektiv, men også risiko og usikkerheten av framtidig kontantstrøm. Desto større usikkerheten for framtidig kontantstrøm er, desto høyere blir diskonteringsrenten. Den blir dermed et mål for avkastning på investert kapital.

Eksempel på utregning[26]:

$$\text{Realrente} = \frac{rn - i}{1 + i} = \frac{0,07 - 0,02}{1 + 0,02} = 0,05 = 5\%$$

rn = Nominell rente

i = Prisstigning (inflasjon)

## 6.2 Diskontert tilbakebetalingstid

Denne metoden blir presentert som et supplement til nåverdianalysen i denne oppgaven og gir kun leseren interessant informasjon om lønnsomheten samtidig som den er enkel å forstå. Og det er nettopp det som er årsaken til at tilbakebetalingsmetoden er en av de mest populære alternativene til nåverdi metoden. Denne metoden bestemmer når prosjektet har nedbetalt investeringen som er gjort. En tilbakebetalingsperiode er altså antallet år det tar å dekke initierende kostander. Tilbakebetalingstiden beregnes ved å bruke nåverdi formelen til å diskontere kontantstrømmen i de årene systemet er satt til å leve. Deretter beregnes den kumulative kontantstrømmen for å se når tilbakebetalingstidspunktet er. Formelen under viser hvordan summen av den diskonterte kontantstrømmen skal være like investeringen  $I_0$  ved tilbakebetalingstidspunktet.[25]

$$\sum_{t=1}^n \text{Summen av den diskonterte kontantstrømmen} = I_0$$

For å finne den nøyaktige diskonterte tilbakebetalingstiden må den kumulative kontantstrømmen beregnes, som i talleksempel under. Verdiene er allerede diskontert. Ved å se på tabellen under kan tilbakebetalingstiden pekes ut til å være mellom år 3 og 4. Beregningene under viser at tilbakebetalingsmetoden er 3,12 år.

	0	1	2	3	4	5
<b>Diskontert kontantstrøm</b>	-150	45	33	60	95	124
<b>Kumulativ kontantstrøm</b>	-150	-105	-72	-12	83	207

Den nøyaktige tilbakebetalingstiden kan beregnes slik:

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \text{År tilbakebetalt} + \frac{\text{kumulativ kontantstrøm i år 3}}{\text{Diskontert kontantstrøm i år 4}} = 3 + \frac{12}{95} = 3,12$$

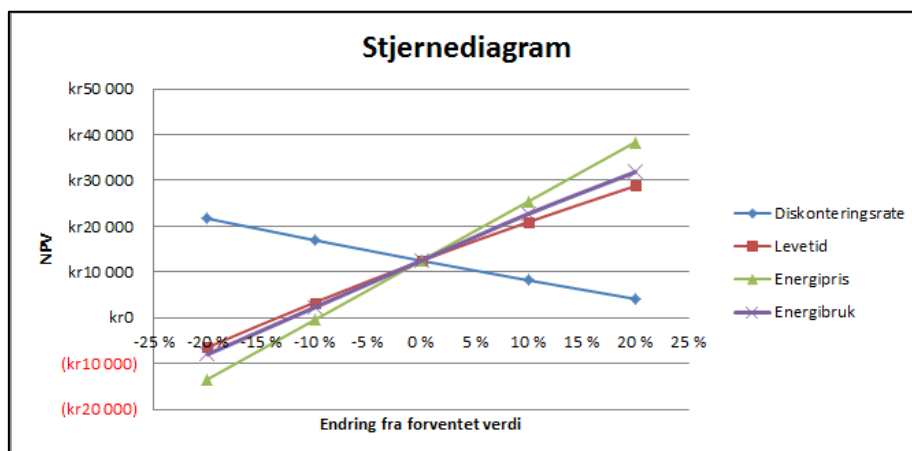
En av de store svakhetene er at metoden ignorerer kontantstrøm etter at investeringen er nedbetalt. Et prosjekt kan leve lenge etter at tilbakebetalingen er gjort. Hvis kriteriet er å velge det prosjektet som nedbetales først kan dette ekskludere framtidige inntekter i de andre prosjektene. Prosjektene med kortest tilbakebetalingstid blir ofte foretrukket og det kan være til hinder når det beste prosjektet skal velges. Fordelen med denne metode er at den er enkel å forstå og fokuserer på evnen til å betale ned investeringen.

### 6.3 Sensitivitets analyse

Spørsmålet etter at nåverdianalysen er gjennomført blir hvordan resultatet kan leve opp til sitt potensial. Sensitivitetsanalysen er et verktøy for å få svar på hvor følsom den optimale løsningen er for endringer i forskjellige parametere i diagrammet/modellen.[25] Antagelser om forskjellige nøkkelvariabler, for eksempel tid, kostnad, diskonteringsrente etc. er sjelden helt sikkert. Det bør også tas høyde for endringer i valutakurs, rentenivå, energipriser, politiske forandringer og endring i markedet. Spesielt elementer forbundet til tidspunkt lengre fram i tid kan gi store usikkerheter for nåverdianalysene. For å evaluere usikkerheten i et prosjekts utfall kan det skaffes ekstra informasjon i beslutningsfasen ved å utføre en sensitivitetsanalyse. I en sensitivitetsanalyse varierer en faktor, mens resten av faktorene er låst. Det er altså mulig å se effekten en faktor har å si for utfallet av prosjektet. Ved å gjøre det samme for flere variabler er det mulig å sammenligne variablene i et stjernediagramdiagram. Svakheten med sensitivitetsanalysen er at den ikke viser sannsynligheten for at endringer i variablene vil oppstå.

#### 6.3.1 Stjernediagram

Figur 27 under viser et stjernediagram som illustrerer sensitiviteten ved endring av forskjellige variabler. Det viktige spørsmålet i beslutningsprosessen, "hva hvis?" skal stjernediagrammet prøve å besvare. Variablene med den bratteste stigningen påvirker prosjektet mest, og det er hensiktsmessig å vurdere handlinger for å redusere variabelens usikkerhet. Et stjernediagram har flere separate sensitivitetsanalyser i en figur. Diagrammet angir også nullpunktet for hver variabel. Problemet med denne metoden er at den bare tillater å endre én usikker variabel om gangen. Hvis det ønskes en mer avansert utgave av følsomhetsanalyse kan scenarioanalyse anvendes. Den tar hensyn til to eller flere basisforutsetninger. Sensitivitetsanalysen tar heller ikke med sannsynlighetenes for de beregnede avvikene i diagrammet. Sannsynlighetene må derfor vurderes skjønnsmessig utenfor modellen.[27]



Figur 27 Eksempel på stjernediagram

## 7 Datagrunnlag- Kontorbygg og inneklima

Som nevnt er oppgaven avgrenset til å gjelde mindre kontorbygg. Det er tatt utgangspunkt i et 200 m<sup>2</sup> stort kontorbygg, der kostnad- og inneklimadata er jobbet fram på bakgrunn av det. Tilsvarende data for bygg mindre eller større enn 100 til 200 m<sup>2</sup> er antatt ikke å avvike mye i kostnader og energibruk. Ventilasjonsanleggets aggregat og kanaler i et slikt kontorbygg har en kostnad på mellom 200-300 000 kr. Ved installering av behovsstyrt ventilasjonsutstyr blir den totale kostnaden for anlegget opp i mot doblet. I tillegg kommer årlige driftskostnader i form av vedlikehold og energibruk. Det er inneklimadata og fortrinnsvis dimensjonert luftmengde som setter standarden for hvor mye ventilasjonsanlegget kommer til å koste og hvor høyt energiforbruket blir. Det genererte datagrunnlaget er basert på litteratursøk, informasjon og anbefalinger fra leverandører og fagkyndige, samt egne vurderinger. Datagrunnlaget vil anvendes i lønnsomhetskalkylene i kapitlene som følger, og Excel-verktøyet.

### 7.1 Kontorbygg

#### 7.1.1 Standard kontorbygg

Et kontorbygg som alle andre bygg varierer naturlig nok i størrelse og utseende, men grovt sett har de fleste lik oppbygging hva gjelder størrelse pr rom og antall kvadratmeter per person. Det finnes ingen krav til hvor stort et rom skal være, men det finnes krav til hvor mye luft det må være pr person. TEK 10 anbefaler at for kontorceller bør det være minst 15 m<sup>2</sup>. Jeg har valgt å bruke 10 m<sup>2</sup> med forbehold om at lufttilførselen er tilstrekkelig og at luftmengdene tilfredsstiller kravene til arbeidstilsynet.

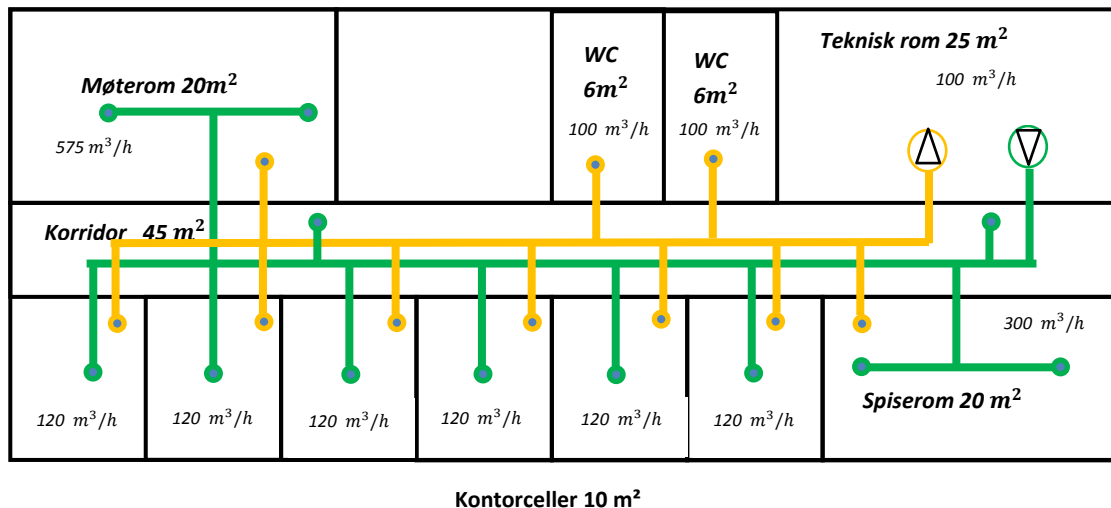
Tabellen 3 under viser hvilke rom som er relevante og verdier som er satt til å være gjeldene for beregninger videre i oppgaven (vedlegg A). Arealene for kontorer og møterom er relativt vanlige og avviker lite fra disse. De andre arealene er basert på ventilasjonsleverandøren Auranors oppfatning av hvordan et typisk kontorbygg ser ut. Verdiene er sannsynlig å gjelde for de fleste kontorbygg, bortsett fra åpne-kontorlandskap, oppholdsrom og korridorer som kan variere en del. Lager, kjøkken og garderober er ikke med i dette eksempelet, men det kan settes inn verdier ved behov i beregningsverktøyet. Arealene kan endres i Excel-modellen hvis det er nødvendig. Større rom som auditorium, resepsjoner, saler osv. er ekskludert da DCV sees på som relativt hensiktsmessig i disse rom- og bygningstypene. Summen av kvadratmeterne til alle disse rommene i et kontorbygg utgjør klimatisert areal.

Tabell 3 Luftmengder og areal i et standard kontorbygg

Type rom/soner	Areal [m <sup>2</sup> ]
Kontorceller	10
Møterom	20
Oppholdsrom/spiserom	20
Åpent landskap	20
Lager/kopirom	8
WC	6
Teknisk rom	25
Korridorer	45
Lager	10
Kjøkken	20
Garderobe	10

### 7.1.2 Case: kontorbygg

Som utgangspunktet for lønnsomhets samt Excel-verktøyet er det brukt et standard kontorbygg av relativt liten størrelse. Kontoret er som nevnt skissert på bakgrunn av informasjon fra ventilasjonsleverandøren Auranor. Tabellen 3 viser hvilke verdier figuren under er basert på. Det grønne kanalnettet er lufttilførselen og det gule er avtrekk. For oversiktens skyld er det også lagt inn hvilke luftmengder hvert rom har. Hvordan det er kommet fram til luftmengden i figuren under blir beskrevet i kapittel 7.3.1. Luftmengdene er dimensjonert for maksimalt tilførsel av friskluft.



Figur 28 Standard kontorbygg

## 7.2 Økonomisk data

Dette delkapittelet skal forklare hvordan priser og kostnader er innhentet samt hvordan de er brukt. Videre er det tatt standpunkt til data tilknyttet de økonomiske beregningene som levetid og diskonteringsrente. For beregningene av levetidskostnader er det lagt opp til at en kan legge inn hva den totale kostanden for aggregat og kanaler for et CAV-system. Disse prisene varierer stort ut ifra valgt anlegg og hvor mye luftmengde det skal håndtere. For DCV-systemet antas det 20 % reduksjon av kostnader for aggregat og kanaler fordi det er mulig å dimensjonere lavere ved behovsstyring, se kapittel 7.3.1 om luftmengder. Priser for ventilasjonssystemet er i denne rapporten delt opp i to:

1. **Aggregat sammen med kanaler.** Pris på aggregat og kanaler er vanskelig å forutsi, de endrer seg ikke proporsjonalt med størrelsen på kontorbygget og blir derfor vanskelig å forholde seg til beregningsmodellen. Derfor er det kun en felles pris for disse, som kan endres etter hva brukeren mener det vil koste.
2. **Luftfordelingsutstyr,** dvs. automatikk og komponenter som fordeler luften i rommet. Prisene på luftfordelingskomponentene er hentet direkte fra en leverandør, og er forklart i kapittelet under med detaljerte listepriker og sammenligning av priser for CAV og DCV. Det er vanskelig å finne korrekte priser for utstyr da de varierer fra leverandør til leverandør, type, utforming og kvalitet. Norsk prisbok opererer med gode tall gitt av gjennomsnittet, men har lite detaljerte kostnader om utstyr til ventilasjon, som for eksempel til DCV-systemer.

### 7.2.1 Kostnad på kanalnett og aggregat

Ventilasjonsaggregatet og kanaler i dette eksemplet er antatt å koste like mye for begge systemene, men det er lagt inn en 20 % reduksjon, som nevnt i kapittel 7.3.1. Prosjektleder Johan-Petter Olsen ved GK Norge (mars 2014) oppga et gjennomsnittlig estimat for kostnadene på kanalnett og aggregat til å være omtrentlig 60 kr/m<sup>3</sup>/h for større anlegg (over 10 000 m<sup>3</sup>/h). Derimot er prisen for mindre anlegg (under 5 000 m<sup>3</sup>/h) høyere pr kubikkmeter luft. Mye av det samme utstyret trengs uavhengig om anlegget er stort eller lite, derfor kommer små anlegg dårligere ut på m<sup>3</sup>/h- prisen. Denne prisen er foruten kanalnett og aggregat også inkludert montasje, prosjektering, innregulering etc. Olsen foreslo en dobling av kubikkmeterluft-prisen på de veldig små anleggene. Altså omtrent 120 kr/m<sup>3</sup>/h.

### 7.2.2 Priser på luftbehandlingsutstyr

Leverandører av ventilasjonsutstyr og behovsstyrte systemer er kontaktet for å få veiledende priser. Foruten dette er det brukt listepreiser som ligger på leverandørers nettsider og listepreiser som GK Tromsø innehar. Alle de kontaktede leverandørene påpekte vanskeligheten med å oppgi konkrete komponenter og kostnader, da dette varierende mye i forhold til bygg, kompleksitet og hvor mye penger kunden ønsker å bruke. Noen leverandører har for eksempel mange funksjoner i en og samme komponent, blant annet innebygd motorer, og sensorer for belysning. Ved kontakt med leverandørene ble det satt krav til at data måtte oppgis etter standard kontorbygg med 10 m<sup>2</sup> kontor celler, møterom, korridorer, WC, etc.

Trox Auranor AS var de som ga de mest konkrete data, se vedlegg A. De leverte som tidligere nevnt et eksempel på et typisk kontorbygg med utstyr og komponenter i delt opp i to alternativer; en kalkyle med CAV og en kalkyle med DCV. Tabell 4 på neste side illustrerer komponenter og kostnader for de to ulike systemene. Det er kun tatt for seg utstyret som hører med til luftavgiving og styring. Unntaket er bevegelsessensorer, der pris er hentet fra Micro-Matic AS. Johan-Petter Olsen i GK Norge mente var det mer hensiktsmessig å bruke billigere bevegelsessensorer i kontorrom. Micro-Matics prisliste viste mellom 400-600 kr for en slik sensor, full pris for kunden vil nok være opp mot 1000 kr inkludert kobling og mva.

Listeprisene og verdiene i tabell 4 er oppgitt i bruttopriser altså inkludert alle gebyrer og normale tillegg før eventuelt fradrag av rabatter, og utelukker installering, prosjektering. Verdiene er også gitt eksklusive mva. Så i denne oppgavens økonomianalyser er merverdiavgiften lagt til i alle priser. I tabellen er noen av komponentene merket i rødt, de skal ikke med ved installering av DCV. I kolonnene for DCV der noen av komponentene merket i grønt, betyr de kommer i tillegg til komponentene som trengs i et CAV system.

Det er verdt å merke seg i tabellen på neste side at det er store forskjeller på pris når det gjelder utstyr for DCV kontra CAV. De store kostnadsdriverne for DCV- anlegget er VAV-regulatorene og sensorer. Bare et CO<sub>2</sub>-sensorsystem koster 11 798 kr pr rom. Når en ser på det valgte kontorbygg-eksemplet i Excel-beregningene er den totale kostnaden 50 202 kr og 181 681 kr for henholdsvis CAV-anlegg og DCV-anlegg. Det gjør at luftfordelingskomponentene for et DCV-system er 3 til 4 ganger dyrere som et konstant luftmengdesystem.

Tabell 4 Utstyr og priser for CAV-anlegg og VAV- anlegg etter romtype i et kontorbygg.  
Pris er oppgitt pr komponent

Type rom	CAV		DCV	
	Utstyr	Pris NOK	Utstyr	Pris NOK
<b>Møterom</b>				
	Tilluftsentil (2 stk.)	2 973	Tilluftsentil (2 stk.)	2 973
	Plenumsammer (2 stk.)	2 700	Plenumsammer (2 stk.)	2 700
	Frontpanel for tilluft	1 614	Frontpanel for tilluft	1 614
	Spjeld	319	VAV-Regulator (2 stk.)	10 835
	Lyddemper	900	Lyddemper (2 stk.)	2 670
			CO2/Temp føler	11 798
<b>Kontorer</b>				
	Tilluftsentil	1 200	Tilluftsentil	1 194
	Avtrekk	353	Avtrekk	353
	Plenumsammer	968	VAV-Regulator (2 stk.)	10 372
	Lyddemper	659	Lyddemper (2. stk.)	2 242
			Bevegelsessensorer	1000
<b>Oppholdsrom</b>				
	Tilluftsentil (2 stk.)	2 973	Tilluftsentil	1 614
	Frontpanel for tilluft	1 614	Frontpanel for tilluft (2 stk.)	2 953
	Plenumsammer (2 stk.)	2 700	VAV-Regulator (2 stk.)	10 835
	Spjeld	319	Lyddemper (2 stk.)	2 670
	Lyddemper	900	CO2/Temp føler	11 798
<b>Teknisk rom</b>				
	Tilluftsentil	1 200	Tilluftsentil	1 194
	Lyddemper	659	Lyddemper	353
	Avtrekk	353	Avtrekk (2 stk.)	1 318
	Plenumsammer	968	Luftmengde reg. for lave hastigheter (2 stk.)	4 665
<b>Lager og WC</b>				
	Avtrekk	353	Avtrekk	282
	Lyddemper	659	Lyddemper	662
			Luftmengde reg. for lave hastigheter	1 866
<b>Korridor</b>				
	Plenumsammer	1 200	Luftmengde reg. for lave hastigheter	1 866
	Lyddemper	659	Lyddemper	662
	Avtrekk	353	Tilluftsentil	955

### 7.2.3 Installasjons- og prosjekteringskostnader

Installasjonskostnader avhenger av mange parametere. Som for eksempel arbeidsrater, erfaring, alder på systemet, tidsbruk. Det er vanskelig å si eksakt hva kostandene på installasjon er. Priser for installasjon CAV kontra VAV er vanskelige å skille samt tallfeste. På grunn av utilstrekkelig tid ble det ikke funnet et ordentlig estimat på dette. Det er derfor gjort antagelser på at det er lik kostnad for begge systemene.



#### 7.2.4 Levetid

Levetiden for utstyr og installasjoner kan variere fra komponent til komponent. Ofte i et prosjekt vil flere komponenter ha ulik levetid, det kan da være fordelaktig å bruke gjennomsnittlig levetid på hele systemet. Utstyret kan bli utslitt eller at det ikke er forsvarlig/lønnsomt å bruke det lengre. Her er levetider for komponenter til ventilasjonsanlegg anbefalt av[26]:

- 10 år: Varmegjenvinner, automatikk, SD anlegg
- 20 år: Aggregat
- 25 år: Kanaler og utstyr, rør, el-utstyr

SINTEFs veileder om krav og overlevering sier følgende om levetider[3]:

- For CO2 sensor er forventet levetid 15 år uten kalibrering eller annet vedlikehold
- Levetid ventilasjonsanlegg er satt til 15 år

Aggregat og kanaler skal normalt holde en levetid på 25 år. I følge Viktor Strand i GK Norge (februar 2014) er mer fintfølende komponenter ute i systemet ikke lenger levetid enn 15 år. Desto nyere teknologien er desto vanskeligere er det å få dokumentert levetiden. Ut i fra denne informasjonen er det tatt utgangspunkt i 15 års levetid på alle komponenter hvis det blir utført årlig vedlikehold. 15 års levetid med forbehold om at det denne kan forlenges med 10 år hvis vedlikehold er tilstrekkelig utført. Sensitivitetsanalysen i kapittel 9 skal se på variasjonene i levetiden.

#### 7.2.5 Diskonteringsrente

Diskonteringsrenten er for tiden foreslått til å være 5 % for et teknisk anlegg som ventilasjon[20]. Det er nok mange oppfatninger og meninger om hva denne burde være, og hvordan renten vil bli seende ut i fremtiden. Uavhengig av oppfatninger vil sensitivitetsanalysen i kapittel 9 se på endringene i renten og hvilket økonomisk følger det får.

#### 7.2.6 Vedlikeholdskostnader

Den virkelige livsløpskostnaden er påvirket ved endringen i trykkfall derfor er ordentlig service og vedlikehold for luftsysteemet viktig. I likhet med effektiviteten vil viftene og motoren forringes hvis det ikke er tilstrekkelig vedlikehold. Et grunnleggende vedlikehold for både DCV og CAV er mekanisk service på vifter, filter og andre komponenter som krever en viss overhaling. Ellers kreves også vedlikehold på automatikk/ styring av selve aggregatet. I følge Viktor Strand (februar 2014) spiller kompleksiteten til ventilasjonsanlegget og tilgang til anlegget en viktig rolle i vedlikeholdskostnadene. DCV-systemet mer komplekst og har finere teknologi. For eksempel sensorer, som krever kalibrering. Fagansvarlig energi i GK Norge Espen Aronsen (mars 2014) sier at vedlikehold for den behovsstyrte ventilasjonen omfatter en årlig gjennomgang, testing og kontroll av alle ventilene i systemet via SD-anlegget. I tillegg kommer tilsyn og eventuelt kalibrering av sensorer.

Aronsen mener det ikke er lett å gi konkrete tall, men konkludere med at arealer dekket av behovsstyrt ventilasjon har en årlig gjennomsnittskostnad på mellom 4-6 kr pr m<sup>2</sup> for små og mellomstore kontorbygg. Mens arealer som er dekket av CAV- anlegg med kun grunnleggende vedlikehold ligger i gjennomsnitt på anslagsvis 2-5 kr pr m<sup>2</sup>. For beregninger er det brukt 3 og 5 kr pr m<sup>2</sup> for henholdsvis CAV og DCV. Tabellen 5 på neste side viser kostnad pr kvadratmeter, og i høyre kolonne den totale vedlikeholdskostnaden for et 200 m<sup>2</sup> stort kontorbygg.

**Tabell 5 Vedlikeholdskostnad, henholdsvis for et CAV og DCV- anlegg pr år for et 200 kvadratmeter stor kontorbygg**

Vedlikeholdskostnad pr år CAV [Kr/m <sup>2</sup> ]	kr	3	kr	600
Vedlikeholdskostnad pr år DCV [Kr/m <sup>2</sup> ]	kr	5	kr	1 000

### 7.2.7 Validering av priser

De prisene som er gitt over passer godt inn med hvordan de generelle prisene ser ut og de komponentene som trengs. Det er stor variasjon i hvordan komponentene ser designet og systemene er lagt opp hos de forskjellige leverandørene. For å se til at prisene stemmer noenlunde overens med andre leverandørers systemer er det også innhentet datagrunnlag fra Lindab AS. Deres priser er tilsynelatende høyere enn i Trox Auranors eksempel, men til gjengjeld er de oppgitte prisene for en lavere dimensjon i tillegg til at Lindab har innebygd motor og sentralstyresystem inkludert. Også kostandene per rom som Swegon har fastsatt stemmer overens med Trox Auranors priseksempel. Hovedpoenget er at prisene ikke avviker mye fra de oppgitte tallene fra Auranor. Viktor Strand ved GK Norge sier også at prisene med DCV- komponenter er generelt sett like uansett leverandør.

## 7.3 Inneklimadata

Det er tre viktige inneklimadata for å få til optimal dimensjonering av nødvendig luftmengde. Det første er personbelastningen og hvor mange kubikkmeter luft pr kvadratmeter denne belastningen krever. Det andre er tilstedeværelsesfaktoren, det vil si hvor lenge det er nødvendig med normal luftmengde i brukstiden. Og er det tredje er hvor mange timer i løpet av et år ventilasjonsanlegget går normalt, altså brukstiden. Disse tre inneklimaparameterne blir vurdert under.

### 7.3.1 Dimensjonering av luftmengde

Det er mange parametere å vurdere for å dimensjonere riktige luftmengder, men det viktigste er å ta hensyn til hvor mange som er tilstede og størrelse på rommet. Luftmengder brukt i beregninger er tatt utgangspunkt i kravspesifikasjon for VVS og klimatekniske anlegg som er utarbeidet av Universitetet i Oslo (UiO), se vedlegg A. Konferanserom, store auditorium etc. inngår sjeldent disse i mindre kontorbygg, og er derfor utelukket i beregningene.

**Tabell 6 Kravspesifikasjoner til luftmengde i utvalgte rom**

Type rom	Luftmengde min. krav [m <sup>3</sup> /h pr m <sup>2</sup> ]
Kontor	10
Kontorlandskap	12
Møterom	20
Kopierom	15
Korridor	5
Kantine	15
Kjøkken	35
WC	100 pr enhet
Garderober	12
VVS teknisk rom	100 pr enhet
Lager	5

### Underdimensjonering

I mange tilfeller er det ikke ønskelig å dimensjonere 20 % lavere, fordi det i framtiden er ønsket å utvide anlegget på grunn av påbygg.[28] Helsetilsynet kan også påpeke at det ikke tiltatt med lavere

dimensjonering fordi de ikke ønsker en risiko for at luftmengdene blir utilstrekkelige, spesielt ved skole og helsebygg. Jon Østvold, salgsansvarlig hos Lindab AS (februar 2014) mener helt klart at det er mulig å gå ned minst 20 % på luftmengden uten at dette går utover miljø og helsen til brukerne. Forsker Johan Halvarsson ved NTNU mener og at underdimensjonering i kontorbygg neppe er farlig.[31] Han viser blant annet til kontorceller som har for dårlig luft i 50 timer av året. I 50 % av disse timene er det 10 minutters perioder eller mindre med for lav kapasitet, og over 90 % av de 50 timene har perioder kortere enn en halvtime. Med de luftmengdene vi har i Norge er det ingen som vil legge merke til disse periodene mener Halvarsson. Det er mange meninger om dette, men i oppgaven tas det forbehold om at man er sikker på at utbygning ikke vil forekomme og at det er langt innenfor å dimensjonere til en lavere luftmengde og dermed mindre ventilasjonssystem.

### **Byggematerialers innvirkning på luftmengden**

At materialer er lavt emitterende vil si at byggeprodukter og interiør ikke avgir vesentlige mengder kjemikalier eller partikler. Kjemikalene og partiklene kan føre til lukt og svært dårlig inneklime. Desto dårligere inneklime det er, desto større krav stilles det til tilstrekkelig tilførsel av frisk luft. Det kan altså være vesentlig forskjell i dimensjonering av luftmengder hvis et bygg har lav emitterende materialer.

I følge teknisk direktør ved GK Norge Bjørn Stuland Johansen (Februar 2014) prosjekteres likevel luftmengder høyere enn minimumskravet hvis en skal ha et kjøleanlegg som krever vesentlige høyere dimensjonering. Det er i beregningene derfor kun brukt de verdiene for normale verdier i tabellen ovenfor. Ved nye bygg i passivhus og lavenergi standard kan en forvente at lavemitterende materialer og lave U-verdier gjør at nettopp de dimensjonerende luftmengdene kun er omtrent halvparten av de verdiene ovenfor. I disse byggene vil det uansett mest sannsynlig ikke være noen spørsmål om det skal være behovsstyrt ventilasjon eller ikke, da krav til lavt energiforbruk fører til at installering av DCV-systemer er en selvfølge. GKs egen beregningsmodell for bruk av materialer viser at det er forsvarlig å redusere luftmengden med 30 % hvis det brukes dokumenterte lavemitterende materialer.[9]

### **7.3.2 Tilstedeværelsesfaktor og samtidighet**

Tilstedeværelsesfaktoren kan være med på å redusere luftmengden og dermed energibruken betraktelig. Denne faktoren er avhengig av hvem som bruker bygget, hvordan det brukes og hvordan fasong og størrelse til hvert enkelt rom er. I følge Johan Halvarsson er kombinasjonene av dette avgjørende for å bestemme hvilken tilstedeværelse det er i kontorbygget.[4] Luftmengdeberegningene gjennomført i denne oppgaven har ikke tatt hensyn til en samtidighetsfaktor, men brukt tilstedeværelsesfaktorer for hvert enkelt rom. Dette gjør det lettere å tilpasse det enkelte rommet og endre på egne tilstedeværelsesfaktorer etter brukers formening om hva som bør være verdien.

Tilstedeværelsen i et kontorrom mellom kl. 06 -18 har et spenn fra 0,2 til 0,6 der 1 er tilstedeværelse hele dagen. Gjennomsnittet ligger altså på 0,4. Et møterom har et spenn på ca. 0,1 til 0,7. Det er sjelden over 0,45 og gjennomsnittet ligger det på mellom 0,25 og 0,30.[4] Tabellen nedenfor tar utgangspunkt i de gjennomsnittlige verdiene i noen av Halvarsons anbefalinger. Foruten kontorer og møterom er oppholdsrom og åpent landskap anbefalt av Johan-Petter Olsen (april 2014) til å være henholdsvis 0,3 og 0,7.

Samtidighetsfaktoren med verdiene i tabell 7 er omtrent 0,6. Espen Aronsen i GK Norge (april 2014) mente at denne verdien var litt høy og at det i realiteten vil være noe lavere. På den andre siden er

det risikofylt å dimensjonere ventilasjonsanlegget mye lavere. Den totale tilstedeværelsesfaktoren har en minimumsverdi på 0,4, men Espen Aronsen mener at 0,6 er en mer realistisk løsning. Rommene foruten kontorer, møterom og oppholdsrom er irrelevant da disse er sett på som typiske CAV rom og har uansett konstant luftmengde uavhengig av tilstedeværelse. Disse rommene er derfor gitt en tilstedeværelses faktor på 1 fordi en bestemt luftmengde vil gå kontinuerlig(CAV).

Tabell 29 Tilstedeværelse pr rom for et behovsstyrt ventilasjonsanlegg

Type rom	Tilstedeværelsesfaktor
Kontorer [10 m <sup>2</sup> ]	0,5
Møterom	0,3
Oppholdsrom	0,3
Åpent landskap	0,7
Kopirom etc.	1
Lager	1
Kjøkken	1
Garderobe	1
WC	1
Teknisk rom	1
Korridorer	1

### 7.3.3 Driftstid

Norsk Standard NS 3031 sier at kontorbygg har en driftstid på 12 timer hver dag fra mandag til fredag, 52 uker i året.[29] Det tilsvarer 3120 timer i året. De resterende timene i året går ventilasjonsanlegget med veldig lave hastigheter av hensyn til byggets helse. Disse timene utgjør 5616 timer.

## 7.4 Energiberegninger

Energiberegningene er et av grunnlagene for hvordan lønnsomhetskalkylene er utført. Det vil i dette kapittelet presenteres hvordan energiberegningene er utført. Beregningene viser eksempel på hva som er gjort i nåverdisanalysen og Excel-modellen. Den detaljerte beskrivelsen av energiberegningene finnes i vedlegg B.

For å finne den totale energibruken til ventilasjonsaggregatet er det sett på behovet for luftmengde, varme og kjøling i rom for rom. De rommene som har null i areal er ikke med i beregningene, men det kan legges inn verdier om det skulle være ønskelig ved framtidig bruk av Excel-verktøyet. Anbefalte verdier for SFP-faktorene er som nevnt i kapittel 5.2, i tillegg har Espen Aronsen i GK Norge (april 2014) sagt at ved nyere bygg kan en anta at SFP faktoren vil reduseres omtrentlig fra 2 til 1,5 kW/m<sup>3</sup>/s ved installasjon av DCV og VAV-regulatorer. SFP-faktoren reduseres på grunn av lavere dimensjoner som fører til mindre anlegg og høyere effektivitet ved dellast. I tillegg er SFP faktoren utenfor driftstiden antatt å være like for både CAV og DCV anlegg. En slik reduksjon som Aronsen har anbefalt kan potensielt gi en energibesparelse på inntil 50 % i forhold til konvensjonelle systemer med vifter regulert av kanaltrykk. Tabellen 8 på neste side inneholder de energidata som brukes i energiberegningene. Driftstiden er som forklart i kapittel 7.3.3. For å beregne den totale vifteeffekten brukes disse verdiene:

Tabell 8 Energiberegningsdata

Driftstid pr år	3120 timer
Utenfor driftstid pr år	5616 timer
SFP CAV	2 kW/m <sup>3</sup> /s
SFP DCV	1,5 kW/m <sup>3</sup> /s
SFP utenfor driftstid	0,4 kW/m <sup>3</sup> /s

#### 7.4.1 Vifteeffekt CAV-anlegg

Viser er et eksempel på hvordan energiberegninger er gjort for kontorcellene, den total utregningen er å finne i vedlegg B. Luftmengde må bestemmes før en kan gå videre til energiberegninger. De 6 kontorcellene utgjør hver et areal på 10 m<sup>2</sup>, samlet areal blir dermed 60 m<sup>2</sup>. Dette gir en total nødvendig luftmengde på 720 m<sup>3</sup>/h, se utregninger under. Samlet luftmengde for hele kontorbygget og dermed luftmengden som ventilasjonsaggregatet må levere i driftstiden er på 2115 m<sup>3</sup>/h. Den totale vifteeffekten blir som følger 3996 kWh inkludert vifteeffekt utenfor driftstid.

$$\text{Luftmengde [m}^3/\text{h]} = \text{Areal [m}^2\text{]} \times \text{min. luftmengde [m}^3/\text{h pr m}^2\text{]}$$

$$\text{Luftmengde [m}^3/\text{h]} = 60 \text{ m}^2 \times 12 \text{ m}^3/\text{h pr m}^2 = 720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Vifteeffekt i driftstid} = 2115 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{1}{3600} \times 2 \text{ kW/m}^3/\text{s} \times 3120 \text{ h} = 3666 \text{ kWh}$$

$$\text{Vifteeffekt utenfor driftstid} = 527,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1}{3600} \times 0,4 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \times 5616 \text{ h} = 329,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Totalt energiforbruk vifte} = 3657,33 \text{ kWh} + 329,16 \text{ kWh} = 3995,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiforbruk pr kvadratmeter} = \frac{3995 \text{ kWh}}{200 \text{ m}^2} = 19,9 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

#### 7.4.2 Vifteeffekt DCV-anlegg

I beregningene for DCV er det enda viktigere å ta rom for rom. Forskjellige tilstedeværelsesfaktorer i rommene gir stor differanser i energibruken. Tilstedeværelsesfaktorene er hentet fra Tabell 7 i kapittel 7.3.2. Vifteeffekten utenfor driftstiden er den samme som for CAV- anlegget. Her er den største vesentlige forskjellen at tilstedeværelsesfaktoren i kontorceller på 0,5 spiller inn, i tillegg er SFP faktoren bare 1,5 kW/m<sup>3</sup>/s. Det totale energiforbruket til aggregatviften ble funnet til å være 1 935 kWh for kontorbygget med DCV-anlegget. Slik ble utregningene utført:

$$\text{Luftmengde [m}^3/\text{h]} = 60 \text{ m}^2 \times 12 \text{ m}^3/\text{h pr m}^2 = 720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Vifteeffekt kontorceller i driftstid} = 0,5 \times 720 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{1}{3600} \times 1,5 \frac{\text{kW}}{\text{m}^3} \times 3120 \text{ h} = 468 \text{ kWh}$$

$$\text{Total vifteeffekt kontorbygg i driftstid} = 468 \text{ kWh} + 156 \text{ kWh} + 78 \text{ kWh} + 65 \text{ kWh} + 156 \text{ kWh} + 260 \text{ kWh} + 295 \text{ kWh} + 130 \text{ kWh} = 1605 \text{ kWh}$$

$$\text{Vifteeffekt utenfor driftstid} = 329,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Totalt energiforbruk vifte} = 1605 \text{ kWh} + 329,16 \text{ kWh} = 1935 \text{ kWh}$$

$$\text{Energiforbruk pr kvadratmeter} = \frac{2470 \text{ kWh}}{200 \text{ m}^2} = 12,35 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

### 7.4.3 Varme- og kjølebehov

Det er gjort forutsetninger om at energien som utnyttes fra varme- og kjølebatteriene reduseres likt med reduserte luftmengder. Det vil si at hvis tilstedeværelsen er 50 % reduseres luftmengden med 50 %, og det samme gjør varme/kjøle behovet. TEK- verdiene kan korrigeres for Tromsø - området med en korreksjonsfaktor på 1,2.[30] Det vil si at det typiske ventilasjonsvarmeforbruket i Tromsø ikke er 12 kWh/m<sup>2</sup>, men 14,4 kWh/m<sup>2</sup>.

For eksempelets skyld er det valgt å bruke en verdi på 35 kWh/m<sup>2</sup> pr år. Denne energibruken er tatt ut i fra GK Norges eget beregningsprogram og er tilnærmet gjennomsnittlig energiforbruk varme pr kvadratmeter i Tromsø.[Vedlegg B] Verdien gjelder for et typisk CAV-anlegg. En kan tenke seg at ved behovsstyring blir energiforbruket omtrent halvert. For å nå TEK 10- verdier på bygg er DCV omtrent en nødvendighet. Ventilasjon tar en stor del av et byggs energibudsjett, hvertfall hvis varmetilførsel blir en stor del av ventilasjonsanleggets jobb. Når det gjelder ventilasjonskjøling er det knapt nok brukt i Tromsøområdet og er ekskludert i denne sammenheng. Hvis det er ønskelig å legge til ventilasjonskjøling inn i regnskapet summeres de sammen med ventilasjonsvarmen.

Ventilasjonsvarmeforbruk for et 200 kvadratmeter stort kontorbygg blir:

#### CAV- anlegg

$$\begin{aligned} \text{Energiforbruk varme pr år} &= \text{kWh/m}^2 \text{ ventilasjonsvarme pr år} \times \text{klimalisert bruksareal} \\ \text{Energiforbruk varme pr år [kWh]} &= 35 \text{ kWh/m}^2 \times 200 \text{ m}^2 = 7000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

#### DCV- anlegg

Fortsetter å bruke kontor som eksempel på utregning. Tabellen under gir ent total energiforbruk for alle rom til å være 3710 kWh pr år. Verdien kommer av summert energiforbruk varme i alle rom. Energiforbruk ventilasjonsvarme for kontorcellene med tilstedeværelsesfaktor på 0,5 blir beregnet slik:

$$\text{Energiforbruk varme i kontor pr år [kWh]} = 0,5 \times 35 \text{ kWh/m}^2 \times 60 \text{ m}^2 = 1050 \text{ kWh}$$

### 7.4.4 Oppsummering av energiberegningene

Det er en vesentlig forskjell i energibruk på mellom de to alternativene. Ved valg av behovsstyrt anlegg er det en besparelse på 26,8 kWh/m<sup>2</sup>, noe som tilsvarer over 50 % mindre energiforbruk. Energibruken fordeler seg slik mellom et CAV- anlegg og et DCV- anlegg:

Tabell 9 Oppsummering av energiberegninger i et 200 kvadratmeter stort kontorbygg

	CAV	DCV
Energibruk vifte	4 078 kWh	2 017 kWh
Energibruk varme	7 000 kWh	3 710 kWh
Totalt	11 078 kWh	5 727 kWh
<b>Totalt pr m<sup>2</sup></b>	<b>55,4 kWh</b>	<b>28,6 kWh</b>

## 7.5 Oppsummering

Som nevnt over det valgt et kontorbygg på 200 m<sup>2</sup>. Tanken er å bruke dette som utgangspunkt i beregningene og Excel-verktøyet hvor det lett lar seg gjøre å endre på størrelsen av bygget. Det ble vurdert som svært tidkrevende og vanskelig å skaffe data for bygg i andre størrelsesklasser. I tillegg er det vurdert dertil at kontorbygg mye under 200 m<sup>2</sup> er ulønnsomme med behovsstyrt ventilasjon, og motsatt for kontorer over 500 m<sup>2</sup>. Det har vært vanskelig å finne standard kostnader og priser i denne bransjen mye på grunn av endret teknologi, variasjoner fra bygg til bygg og fra leverandør til leverandør. Validering av prisene ble utført, og funnet at prisene på komponenter som kontorbygget i denne oppgaven er omtrent like for flere leverandører.

Inneklima- og energibetraktninger i kapittel 7.3 og 7.4 legger grunnlaget for beregninger videre i oppgaven. Energiberegningene viser at resultatet det samsvarer med bransjens oppfatning av hvor mye et behovsstyrt ventilasjonsanlegg sparer i energi.

## 8 Nåverdianalysen

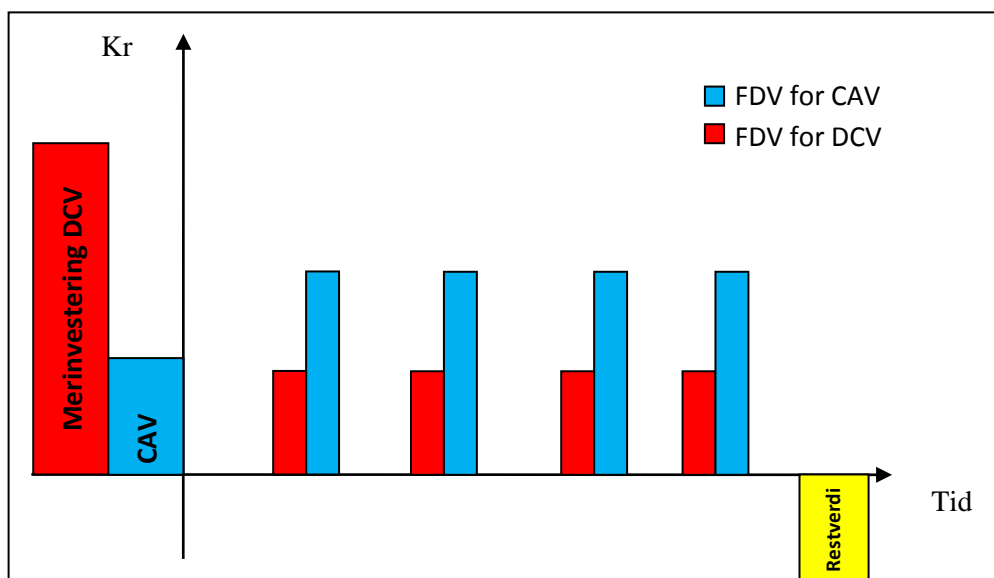
Nåverdianalysen er for denne oppgaven basert på LCC-analysen og veileder laget av Multiconsult for Byggemiljø. Ut i fra dette er det tilpasset en analyse for ventilasjonsanlegg. Nåverdianalysen er altså anvendt for å operasjonalisere levetidskostnadsanalyse for å skape et tilnærmet helhetsinntrykk av anleggenes livsløp. Grunnen til denne tilnærmingen er at det er gjort beregninger uten å ta hensyn til den totale ressursbruken fra “vugge til grav”, herunder miljøkostnadene og en del andre faktorer som avvik, utvikling etc.

Dette kapittelet skal forklare hvordan selve analysen er modellert og hvilke resultater den gir. Analysen følger samme eksempel som et standard kontorbygg forklart i kapittel 7 og bruker de innhentede data og beregninger derfra. Analysen er utarbeidet i Excel, brukt videre i sensitivitetsanalysen i kapittel 9, og ligger til grunn ved utformingen av beslutningsverktøyet. Selve analysen er gjort i to omganger:

1. Case 1: ser på forskjellen mellom et fullverdig CAV- anlegg kontra et fullverdig DCV- anlegg.
2. Case 2: ser på sammenhengen mellom antall DCV-installerte kontorceller og lønnsomhet.

### 8.1 Case 1- DCV-anlegg vs CAV-anlegg

Her er det gjort en analyse for hver av de to systemene separat for så å se på differansen i total livsløpskostnad. Analysen er i all hovedsak gjort for å vurdere forskjellen i kostnadsnivå og lønnsomhet i et livsløp. Figur 29 under viser hvordan analysen er planlagt. De røde og blå søylene illustrere kostnadene for henholdsvis DCV-anlegget og CAV-anlegget. FDV kostnadene for begge anleggene omfatter vedlikeholdskostnad og energikostnad. Restverdien gjelder også for begge og illustrerer hva anleggene er verdt ved endt levetid. De forskjellige kostnadene i analysen forklares i mer detaljerte former videre i kapittelet.



Figur 29 DCV vs CAV

#### 8.1.1 Merinvestering

Det er noe forskjell hva gjelder komponenter til de to alternativene avhengig av leverandør og type system. Men i hovedsak er grunninstallasjonene satt til å være de samme, og det er da merinvesteringen som skiller de to. Den totale investeringen for det behovsstyrte anlegget ligger på



181 681 kr mens den er 50 202 for CAV-anlegget, det vil si en differanse i investering på 131 479 kr. Figuren under viser et utklipp fra Excel-verktøyet som forklarer hvordan kostnaden er summert for CAV- og DCV-anlegget. Figuren under er et utklipp fra Excel-verktøyet og viser hvordan beregningen av investeringskostnadene er utført.

Type rom	Antall/Soner	Areal [m2]	m2 av total	Kostnad DCV	Kostnad CAV
Kontorer (10 m2)	6	10	60	60 kr	95 226 kr
Materom	1	20	20	20 kr	32 005 kr
Oppholdsrom/kantine	1	20	20	20 kr	29 305 kr
Åpent landskap	0	20	0	0 kr	-
kopirom etc	1	8	8	8 kr	6 679 kr
Lager	1	10	10	10 kr	1 012 kr
Kjøkken	0	20	0	0 kr	-
Garderobe	0	10	0	0 kr	-
WC	2	6	12	12 kr	2 024 kr
Teknisk rom	1	25	25	25 kr	6 877 kr
Korridorer	1	45	45	45 kr	8 553 kr
<b>TOTAL kostnad</b>				<b>181 681</b>	<b>50 202,15</b>

Figur 30 Excel- beregningen viser hvor mye 6 kontorer med DCV koster

### 8.1.2 Vedlikeholdskostnader

Som forklart i kapittel 7.2.5 vil ventilasjonskostnadene pr år i et 200 m<sup>2</sup> stort kontorbygg ligge på 600 kr og 1000 kr for henholdsvis CAV og DCV. Den netto nåverdi vedlikeholdskostnaden for de to anleggene med en slik utgift er følgende over en levetidsperiode på 15 år:

$$NNV_{\text{Vedlikehold DCV}} = \sum_{t=1}^n \frac{1000}{(1 + 0,05)^{15}} = 10\,379 \text{ kr}$$

$$NNV_{\text{Vedlikehold CAV}} = \sum_{t=1}^n \frac{600}{(1 + 0,05)^{15}} = 6\,227 \text{ kr}$$

### 8.1.3 Energikostnader

Det årlige energiforbruket er beregnet kapittel 7.4 og er i kostnad 6 727 Kr og 11 078 Kr for henholdsvis DCV og CAV- anlegg med energipris på 1 Kr/kWh. Nåverdien og de totale energikostnadene etter 15 år med en diskonteringsrate på 5 % for de to anleggene er vist i tabell 10.

Tabell 10 NNV energikostnad etter 15 år med energipris på 1 kr/kWh

	CAV	DCV
Totalt energiforbruk	11 078 kWh	5 727 kWh
NNV Total energikostnad	114 990 kr	59 454 kr

### 8.1.4 Restverdi og reduserte ventilasjonskostnader

Det er vanskelig å sette en verdi på ventilasjonsutstyret ved endt levetid, og det kommer an på hvilke belastning utstyret vil ha, og hvor bra vedlikeholdt det er. Det er også forskjell på komponentene i systemet. Noen komponenter kan ha null i restverdi, mens noen komponenter fremdeles kan ha mange leveår igjen. Antagelser er gjort om at 10 % av de investerte kostnadene vil være verdien av systemet ved endt levetid. Spesielt i nybygg med sterk miljøprofil vil restverdien være større fordi standardheving allerede tatt ut.[34] Selv om dette muligens ikke gjelder et behovsstyrt anlegg isolert sett, er helheten med på å øke den totale restverdien i bygget. På grunn av dette vil bankens risiko ved finansiering av miljøbygg vil være lavere enn ved andre bygg.

Når det gjelder den reduserte ventilasjonskostnaden vil den komme til gode ved installering av behovsstyrt ventilasjon. Som nevnt i kapittel 7.3.1 vil DCV-installasjoner redusere ventilasjonskostandene i et kontorbygg med 20 %.[28] Den totale kostanden for aggregat og kanaler er estimert til 250 000 kr. Ved installering av DCV- komponenter i stedet for et CAV-anlegg vil aggregat og kanalkostnadene reduseres med 50 000 kr, se tabell 11 under.

Tabell 11 Restverdi og redusert ventilasjonskostnad for CAV- og DCV-anlegg

	CAV [NOK]	DCV [NOK]
Kostnad aggregat og kanaler	250 000	250 000
Investering	50 202	181 681
<b>Nåverdi Restverdi (10 %)</b>	2 441	8 739
<b>Redusert ventilasjonskostnad (20 %)</b>	-	50 000

### 8.1.5 Oppsummering av levetidskostnaden

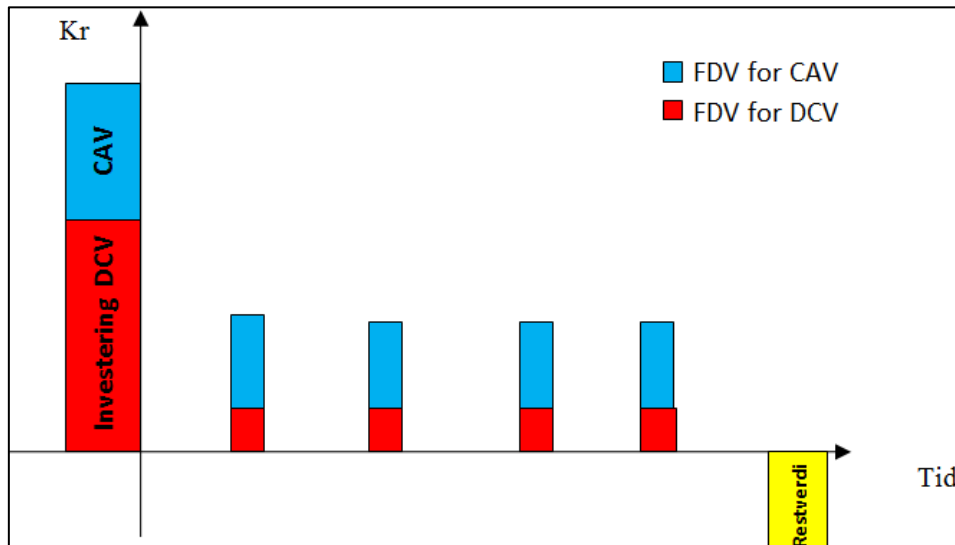
Den beregnede livsløpskostnaden for DCV- og CAV- anlegg under normale forutsetninger ligger på henholdsvis 192 775 kr og 169 005 kr. Det gir en differanse på 23 770 kr. Resultatet gir klare indikasjoner på at CAV er mer lønnsomt under de gitte parameterne for dette kontorbygget. Kapittel 9 sensitivitetsanalyse vil vurdere de forskjellige økonomiske scenarioene som spiller inn, og hva de gjør med lønnsomheten mellom de to alternativene.

Tabell 5 Levetidskostnad for DCV- og CAV-anlegget

	DCV	CAV
<b>Total Levetidskostnad</b>	kr -192 775,06	kr -169 005,40
<b>Differanse Levetidskostnad</b>		kr -23 769,66

## 8.2 Case 2- Levetidskostnadsanalyse med hensyn på kontorceller

Kontorcellen er det rommet med størst variasjon i tilstedeværelse, og er derfor et naturlig valg å utføre analyser på. Utførelsen er som for Case 1, forskjellen er at analysen ser bort i fra den totale kostnad ved anlegget og bare ser på kontorcellene alene. Det ble gjort forsøk på å sette opp for den totale kostanden med alle rommene inkludert, men konkludert med at det ble for likt i forhold til Case 1. I tillegg ble det vanskeligere å se sammenhengen mellom antall kontorer med behovsstyrt ventilasjon. Case 2 skal se på lønnsomheten til behovsstyrt ventilasjon mens andel kontoceller med DCV-installasjoner endrer seg. Vedlikeholds- og energikostnad blir beregnet som i Case 1, men slått sammen til en felles kostnad for anlegget. Fiuren 31 på neste side illustrerer dette og den viser også at investeringskostnaden for hver av de to anleggene blir slått sammen.



Figur 30 Levetidskostnad på et kombinert DCV- og CAV- anlegg

Det er gjort 6 stk. levetidskostnad-analyser for kontorbygg i spennet fra der 100 % av kontorcellene er CAV-styrt, og gradvis ned mot at alle kontorcellene er DCV-styrt. Fordelingen er som i tabell 14. Hvis kontorbygget har alle kontorceller med CAV- installasjoner er det naturlig nok 0 % kontorene DCV- installert. Og motsatt, 100 % av kontorene er DCV- installerte. Det er som nevnt utført levetidskostnads-analyser for alle disse scenarioene. Analysen vil gi indikasjoner på om det er lønnsomt, og hvor lønnsomt det er med flere DCV- installerte kontorer. Beregningene videre i dette delkapittelet tar kun for seg de to ytterpunktene, henholdsvis at alle kontorer er DCV-styrt eller at alle kontorene er CAV-styrt.

### 8.2.1 Investeringen

I motsetning til beregningen i kapittelet over blir det her laget et sammensatt anlegg av DCV og CAV. Investeringskostnadene blir som nevnt beregnet samlet for dette anlegget. Hvor stor investeringen er, avhenger av hvor mange kontorceller som har DCV- installasjoner. Desto flere DCV- installasjoner desto høyere blir investeringen. For å illustrere dette er investeringskostnadene for kun kontorer med 100 % DCV- installerte kontorer, og kun 100 % CAV- installerte kontorer tatt ut i fra Excel-verktøyet. Den totale investeringskostnaden ved 100 % behovsstyrte kontorer er 92 301 kr og 19 073 kr for alle kontorer med 100 % CAV- installasjoner.

### 8.2.2 Vedlikeholdskostnad

Resultatet av vedlikeholdskostnadene er gjort på bakgrunn av data funnet i kapittel 7.2 og beregnet på samme måte som i kapittel 8.1.2. Kostnadene er beregnet for eksempelet der alle kontorene er DCV-styrt og at ingen av kontorene er DCV-styrt. Naturlig nok krever de behovsstyre kontorene mer og vanskeligere vedlikehold med sine mer komplekse systemer. Ved 100 % behovsstyrte kontorceller kreves det en vedlikeholdskostnad på 3 113 kr over 15 år, og i motsatt ende med CAV-styring er kostnaden 1 868 kr.

### 8.2.3 Energikostnad

Energiberegningene er gjort på samme måte som i kapittel 7.4 og fortsetter å vise resultatene for de anleggene som har 100 % DCV- installerte kontorer og 0 % DCV- installerte kontorer. Her stemmer det med teorien at de behovsstyrte rommene har lavere energikostnad enn uten. Nåverdien og de

totale energikostnadene etter 15 år med en diskonteringsrate på 5 % blir for de to anleggene 18 994 kr og 35 916 kr. Det viser til en besparelse i energikostnader på 25 783 kr.

#### 8.2.4 Restverdi og Reduserte ventilasjonskostnader

Som nevnt i kapittel 8.1.4 er antagelser om at 10 % av de investerte kostnadene vil være verdien av systemet ved endt levetid gjort. Restverdiene kan leses av i tabell 14. Det er gjort resonering i prosentvis reduisering av kostnaden hvis kanaler og verdien av ventilasjonsaggregat er 250 000 kr, se tabell 14 under. Der ingen av kontorcellene har DCV- installasjoner er det naturlig nok ingen reduserte kostnader, mens i motsatt ende er det reduserte kostnader på 45 000 kr ved fullstendig bruk av DCV-komponenter i kontorcellene.

**Tabell 64 Reduserte kostnader etter hvor mange kontorer som har DCV-installasjoner**

Kontorer med DCV	Prosentvis reduisering	Reduserte kostnader
0 %	3 %	0 kr
20 %	6 %	15 000 kr
40 %	9 %	22 500 kr
60 %	12 %	30 000 kr
80 %	15 %	37 500 kr
100 %	18 %	45 000 kr

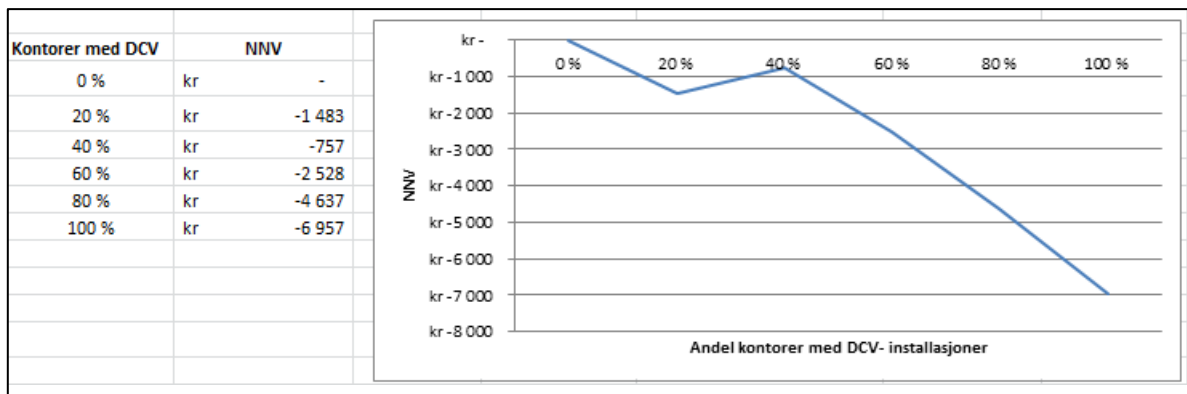
#### 8.2.5 Oppsummering av levetidskostnaden

Tabellen under oppsummerer de resultatene som er kommet fram tidligere i kapittelet. Trenden her er at investeringskostnadene er vesentlig lavere der kontorene ikke har DCV-installasjoner. Det som kommer til gevinst med DCV-installasjonene er en lavere energikostnad, i tillegg til høyere reduserte kostnader og restverdi. De to sistnevnt utgjør 49 429 kr til sammen, mens energikostnadsbesparelsen er 18 994 kr. Her ender eksemplet med 100 % DCV-installasjoner dårligst ut med en margin på omtrent 6 957 kr.

**Tabell 75 Total investering for de to alternativene**

	100 % av DCV- installasjoner	0 % DCV- installasjoner
Total investering	-92 301 kr	-19 073 kr
NNV Vedlikeholdskostnad	-3 113 kr	-1 868 kr
NNV Restverdi	4 429 kr	917 kr
Redusert ventilasjonskostnad	45 000 kr	-
NNV energikostnad	-16 922 kr	-35 916 kr
<b>Totalt levetidskostnad</b>	<b>-62 897 kr</b>	<b>-55 940 kr</b>

Figur 32 på neste siden viser endringen i netto nåverdien ved prosentvis endring i andel DCV- installasjoner. Den peker tydelig i negativ retning ved DCV-installasjoners lønnsomhet. Det er også interessant å se at ved 20 % andel DCV-kontorer er levetidskostnaden lavere enn ved 40 %. Noe av årsaken til det er dyre styresystemene. Styresystemene koster like mye for 1 kontor som det gjør for 6. Det er også her som i kapittel 8.2 interessant å se på hvordan grafen endrer seg med endring i eksterne faktorer. Sensitivitetsanalysen i kapittel 9 skal se nærmere på hvordan noen av de usikre parameterne vil endre på resultatet. Levetid og diskonteringsrente kan endre seg, det kan også energiprisen.



Figur 312 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner

## 9 Sensitivitetsanalyse

I dette kapittelet følges samme eksempel og framgangsmåte for beregninger som i kapittel 8, men her skal resultatene og usikkerhetsmomentene rundt disse under lupen. Utførelsen av analysene er også for sensitivitetsanalysen gjort i Excel, der kun de viktigste resultatene er lagt fram. Resterende grafer er å finne i vedlegg D og E. I tillegg til sensitivitetsanalysen er tilbakebetalingsmetoden brukt som supplement for å gi leseren forenklet informasjon. Analysene vil prøve å finne hvor muligheten ligger, under hvilke forutsetninger er det en optimal løsning, og hvor mye en parameter kan endres før den optimale løsningen endrer seg. Det er valgt å gjøre analyser for de fire mest utslagsgivende parameterne for å se hvordan de påvirker den lønnsomheten for behovsstyrt ventilasjon:

1. Levetid
2. Diskonteringsrente
3. Energifpris
4. Ventilasjonsvarmeforbruk

### 9.1 Case 1- DCV-anlegg vs CAV- anlegg

For å få en bredere oversikt over hvilket av de to alternativene som er mest lønnsomt er det praktisk å se på hvordan kostnadene endrer seg med endring i parameterne. Så langt tyder nåverdianalysene på gjennomgående negative utfall for det behovsstyre anlegget. Det er visse indikasjoner på at det er mulig å oppnå lønnsomhet under gitte forutsetninger.

#### 9.1.1 Sensitivitet med hensyn på levetid

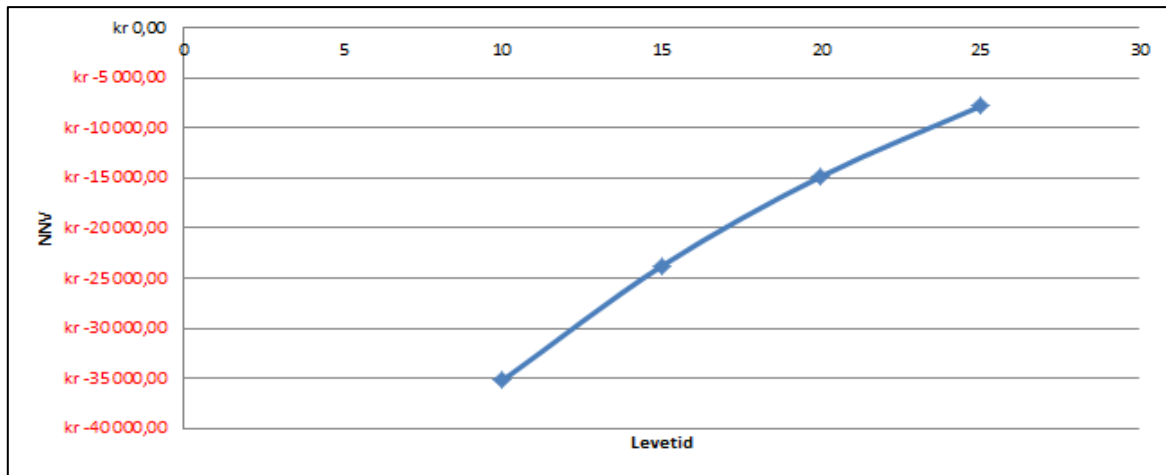
Som nevnt tidligere er levetiden til systemene tatt utgangspunkt i å være 15 år. Ved å endre på de overnevnte parameterne er det mulig å se hvordan lønnsomheten hypotetisk ser ut. Tabellen under viser hvordan lønnsomheten for det behovsstyrte anlegget ser ut for de utvalgte parameterne i sensitivitetsanalysen. Netto nåverdien er å betrakte som forskjellen i levetidskostnad mellom CAV- og DCV-anlegg. Trenden er at det vanskelig lar seg gjøre for de valgte forutsetningene om diskonteringsrente på 5 %, levetid på 15 år og energipris på 1 kr/kWh. Eksempelvis er netto nåverdien -12 662 kr ved 15 år med en økning i energipris på 1,2 kr/kWh. Det er dermed ikke lønnsomt etter 15 år, men etter 19,5 år. Ved endring på en av disse parameterne gir det lønnsomhet og tilbakebetaling etter tilbakebetalingsmetoden (se kapittel 9.1.5) på underkant av 20 år.

Tabell 86 Sensitivitetsanalyse med hensyn på levetid

Endring i parametere	NNV etter 15 år	Lønnsomt i år	Kommentar
Ingen	-23 769 kr	-	Ikke gjennomførbart
Energifpris 1,2 kr/kWh	-12 662 kr	19,5	Gjennomførbart
Diskonteringsrente 3 %	-13 940 kr	19,3	Gjennomførbart
Energibruk 50 kWh/m <sup>2</sup>	-9 134 kr	16,1	Gjennomførbart

#### Ingen endring i parametere

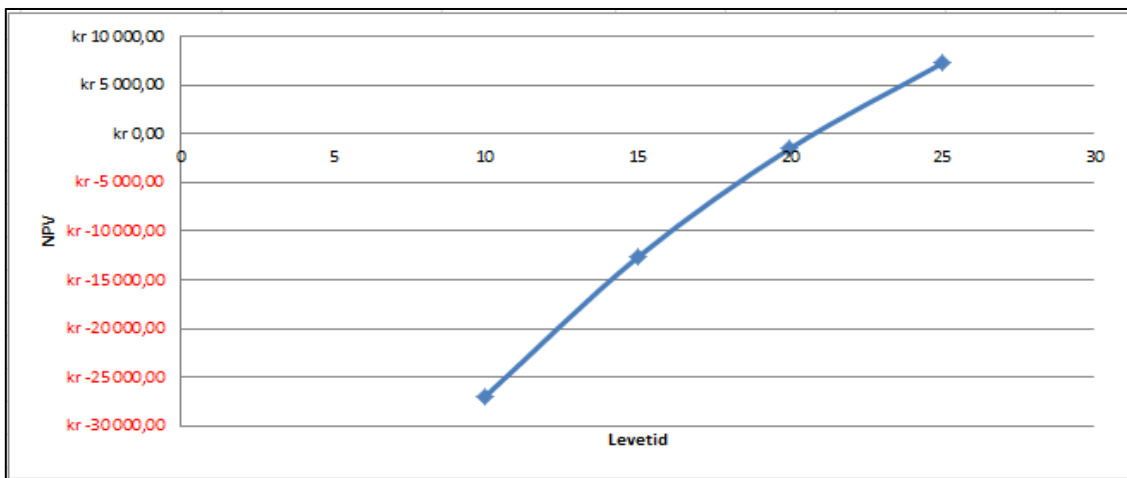
Figur 33 på neste side viser hvordan differansen i levetidskostnad mellom de to alternativene endrer seg med levetiden hvis det ikke er endring i parameterne. Den viser klart at nåverdien ikke strekker seg over på positiv side selv etter 25 år.



Figur 32 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn på levetiden med diskonteringsrente på 5 % og energipris på 1 kr/kWh

### Endring i Energipris

Figuren under viser at med en energipris på 1,2 kr/kWh er det behovsstyrte systemet etter 20 år lønnsomt. Selv om levetiden i utgangspunktet er satt til å være 15 år er det realistisk at store deler av systemet kan overleve i 20 år og oppover. Endres diskonteringsrente fra 5 til 3 % i stedet for å endre energiprisen blir resultatet omtrent det samme, altså lønnsomt ved år 20 etter investering.



Figur 33 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn på levetiden med diskonteringsrente på 5 % og Energipris på 1,2 kr/kWh

### Endring i Ventilasjonsvarmeforbruk

(Se graf i vedlegg D). Ved et så høyt varmebehov i ventilasjon som 50 kWh/m<sup>2</sup> er tilbakebetalingstiden 16,3 år og kortest av alle endringene i parametere. Det viser altså at energibesparelsen har mye å si for hvor lønnsomt et behovsstyrt system er og bygg med slikt forbruk bør investere i et DCV-anlegg.

### 9.1.2 Sensitivitet med hensyn på Diskonteringsrente

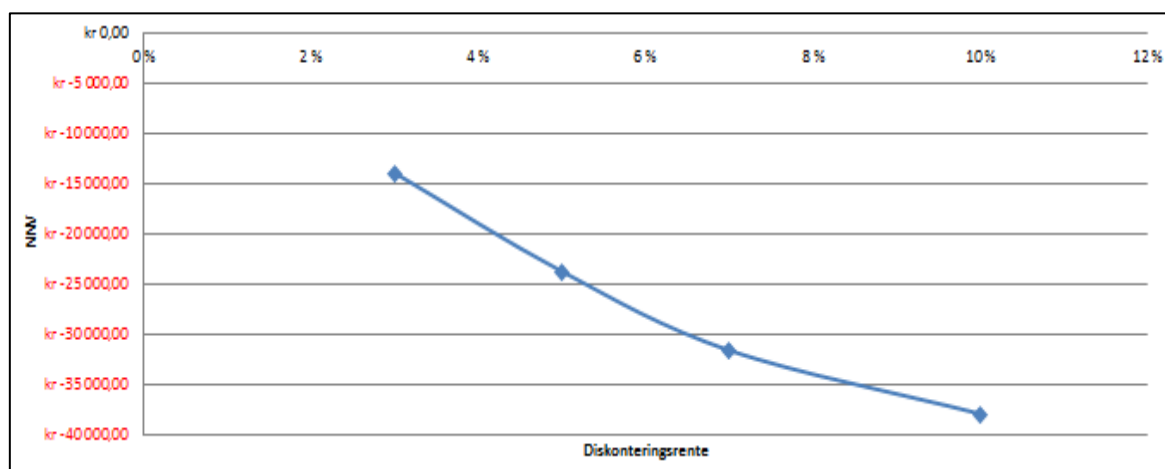
Tabell 17 under viser at ved en diskonteringsrente på 4 % er installering av behovsstyrt ventilasjon lønnsomt med en levetid på 25 %, og lønnsomt hvis energibruken når 50 kWh/m<sup>2</sup> eller mer. Desto lavere diskonteringsrente en velger å bruke desto mer øker risikoen for et negativt resultat. Fra 5 til 4 % kan sees på som en overkommelig risiko og under de gitte forutsetningene er bruk av behovsstyrt ventilasjon satt til å være gjennomførbart. Likevel er ikke lønnsomheten nevneverdig, en må derfor vurdere om risikoen er verdt å ta. Tabellen og grafene under viser sensitivitet ved endring av de forskjellige parameterne.

Tabell 9 Sensitivitetsanalyse med hensyn på diskonteringsrenten

Endring i parametere	NNV ved 5 %	Lønnsomhet ved rente på	Kommentar
Ingen	-23 769 kr	-	Ikke gjennomførbart
Energipris 1,2 kr/kWh	-12 662 kr	3 %	Tvilsomt
Levetid 25 år	-7 823 kr	4 %	Gjennomførbart
Energibruk 50 kWh/m <sup>2</sup>	-9 134 kr	4 %	Gjennomførbart

#### Ingen endring i parametere

Ut i fra de normale parametere blir som nevnt et behovsstyrt alternativ ikke lønnsomt. Grafen til diskonteringsrenten når heller aldri positiv NNV. Det er tidligere kommet fram til ulønnsomhet under de normale forutsetningene. Derfor blir det interessant å se på hvordan diskonteringsrenten også endrer seg ved andre forutsetninger.

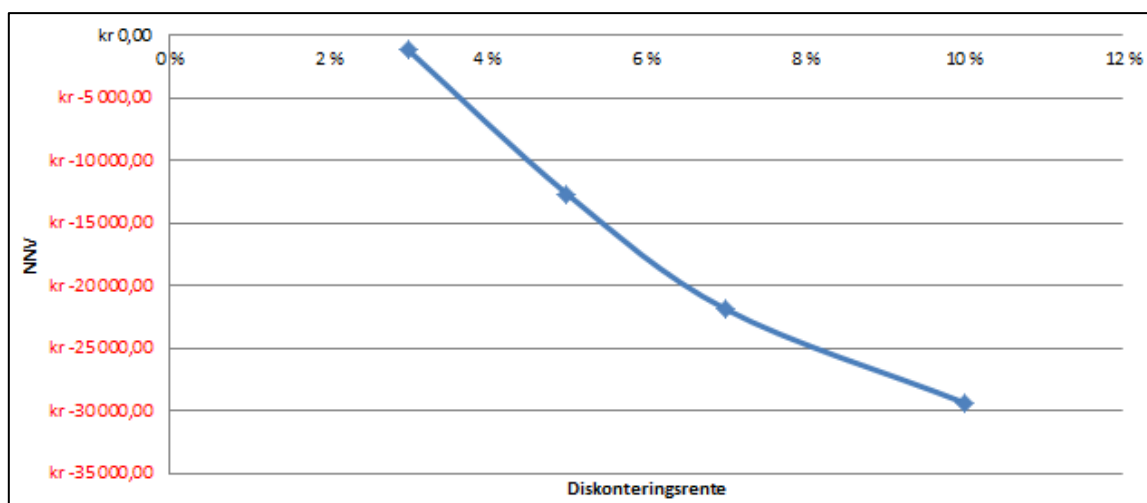


Figur 34 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn diskonteringsrente ved levetid på 15 år og Energipris på 1 kr/kWh

#### Endring i energipris

Ved å gå ned til 3 % på diskonteringsrenten oppnår DCV-alternativet positiv NNV. 3 % er i denne sammenheng på grensen til hva en kan akseptere av risiko. Selv om investering i slike sikre og energisparende tekniske anlegg ikke har de største risikoene med seg, er det med rente på 3 % antatt å være tvilsom gjennomføring.





Figur 35 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn på diskonteringsrenten ved energipris 1,2 kr/kWh

### Endring i levetid og Endring i energiforbruk bruk ventilasjonsvarme

(Se vedlegg D for grafer). Begge disse endringene gjør at investeringen oppnår en positiv NNV med en rente på 4 %. En rente på 5 % er ved investering av en risikoavers person, altså en person som overhode ikke tar risiko og går for sikrest mulig avkastning. Investering i behosstyrte system er derfor ikke sett på som en stor risiko å ta med en rente på 4 %, og er som kommentert i tabell 17, gjennomførbart.

#### 9.1.3 Sensitivitet med hensyn på Energipris

Det er vanskelig å gjøre framtidsspådommer for energiprisen. Det som er sikkert er at den i Norge har ligget på et relativt lavt nivå. Vi i Norge har vært heldige som har god tilgang på billig strøm, noe som kommer forbrukeren til gode. Informasjonssjef i Energi Norge Aslak Øverås sier Norge har den laveste strømprisen i Europa og at markedsutsikter tyder på at prisene vil holde seg lave i lang tid framover. Likevel er det vanskelig å forutsi hvordan eventuelle store endringer i Europa vil påvirke prisutviklingen. Store endringer kan for eksempel være akutt stopp i atomkraftproduksjon, naturkatastrofer, oljekrise eller finanskriser. Ofte henger mange av de nevnte grunnene sammen. Større etterspørsel i Europa kommer sannsynligvis til å øke Norges krafteksport, som igjen potensielt kan øke kraftprisen.[32]

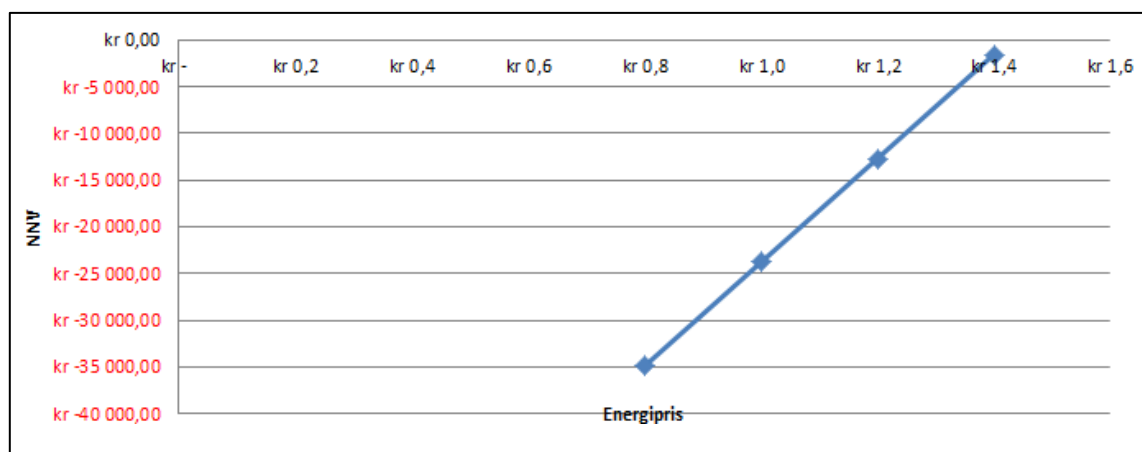
Den relativt lave energiprisen kan bli til hinder for energisparende investeringer. For byggeiere fører lave energipriser til at insentivene er lave for å redusere energibruken fordi den økonomiske besparelsen er begrenset.[1] I og med at det faktisk er energisparing som er mål på hvor lønnsomt tiltaket er, vil energiprisen være utslagsgivende for hvor mange kroner som kan spares. Det er klare formeningar om energiprisen kommer til å stige. Behovet i Europa øker samtidig som sokkelen skal elektrifiseres og fossile materialer fases ut. Tabellen 18 viser hva NNV er ved en energipris på 1 kr/kWh og til hvilken energipris hver av de endrede parameterne er ved tilbakebetalingstiden.

Tabell 10 Sensitivitetsanalyse med hensyn på energiprisen

Endring i parametere	NNV ved 1 kr/kWh	Lønnsomhet ved	Kommentar
Ingen	-23 769 kr	1,40 kr/kWh	Ikke gjennomførbart
Diskonteringsrente 3 %	-13 940 kr	1,40 kr/kWh	Tvilsomt
Levetid 25 år	-7 823 kr	1,10 kr/kWh	Gjennomførbart
Energibruk 50 kWh/m <sup>2</sup>	-9 134 kr	1,13 kr/kWh	Gjennomførbart

### Ingen endring i parametere

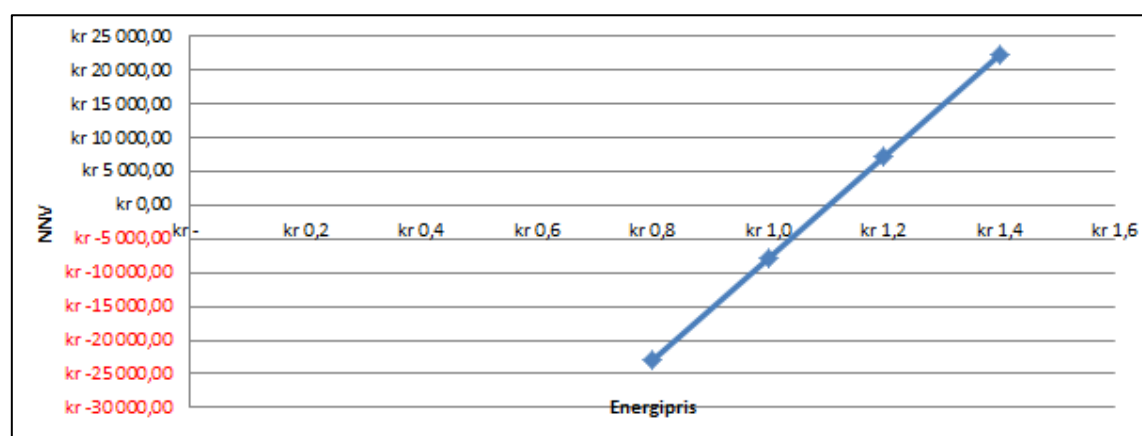
Her er ikke installering av behovsstyrt ventilasjon lønnsomt før energiprisen er nådd 1,4 kr/kWh. Det er svært urealistisk sånn som energimarkedet ser ut nå. Selv om en kan forvente en økning i energiprisene er en slik investering i 2014 ikke finansielt gjennomførbart.



Figur 36 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn på energipris ved diskonteringsrente på 5 % og levetid på 15 år

### Endring i levetid

Med en endring i levetid på 25 år, som er i oppgaven maks grensen for avskrivningen av det tekniske anlegget, viser grafen i figur 38 under at energiprisen kan være litt over 1 kr/kWh, ergo hvis en garanterer en levetid på 25 år vil prosjektet med dagens energipris på 1 kr/kWh vær gjennomførbart.



Figur 37 Differansen i levetidskostnad mellom CAV og DCV-anlegg med hensyn på energipris ved diskonteringsrente på 5 % og levetid på 25 år

### Endring i diskonteringsrente og energiforbruk ventilasjonsvarme

(Se vedlegg E for grafer). Endring i diskonteringsrente fra 5 til 3 % ser ikke ut til å hjelpe lønnsomhet i valget av behovsstyrt ventilasjon. Ved energipris på 1 kr/kWh er netto nåverdien på -13 940 kr og den oppnår ikke et positivt fortegn før energiprisen strekker seg til 1,4 kr/kWh.

#### 9.1.4 Sensitivitet med hensyn på Ventilasjonsvarmebruk

Tabellen under illustrerer hvordan energiforbruket av ventilasjonsvarme er når NNV er positiv. De tilhørende sensitivitetsgrafene ligger i vedlegg E. Som i de tre foregående analysene er det ikke lønnsomhet å vise ved de normale parameterne. Heller ikke ved en diskonteringsrente på 3 % kommer tallene særlig godt ut. Det må nesten 60 kWh/m<sup>2</sup> energiforbruk til før det er lønnsomt ved denne renten. Men med en energipris på 1,2 kr/kWh ser det lovende ut. Det samme gjelder hvis levetiden når 25 år. For å ta ventilasjonsvarmebruket, viser tabellen under en lønnsomhet ved 40,9 kWh/m<sup>2</sup>. Resultatet er ikke helt urealistisk i forhold til 35 kWh/m<sup>2</sup> som er bestemt i oppgaven til å være normalverdi for Tromsø.

Tabell 11 Sensitivitetsanalyse med hensyn på energiforbruket

Endring i parametere	NNV etter 15 år	Lønnsomt ved	Kommentar
Ingen	-23 769 kr	-	Ikke gjennomførbart
Energipris 1,2 kr/kWh	-12 662 kr	45,8 kWh/m <sup>2</sup>	Gjennomførbart
Diskonteringsrente 3 %	-13 940 kr	59,4 kWh/m <sup>2</sup>	Ikke gjennomførbart
Levetid 25 år	-9 134 kr	40,9 kWh/m <sup>2</sup>	Gjennomførbart

#### 9.1.5 Tilbakebetalingstid

Se vedlegg C for utregning. Tilbakebetalingstiden skal beregnes for den normale forutsetningen i tillegg til de tre parameterne som ikke avhenger av levetid. Det er sett på kontantstrømmen hvert år fram til år 25 som er anslått å være høyst mulige levetid for komponentene. Er ikke investeringen lønnsom før de nådde 25 år ser det svært mørkt ut for lønnsomheten. Denne modellen er laget for å se når en kan forvente å gå i null. Videre er det verdt å merke seg at det er årene som kommer etter tilbakebetalingstiden som sier noe om hvor lønnsomt det er med DCV anlegget. Kommer for eksempel tilbakebetalingstiden ut på 15 år og levetiden kan forventes til den tid, kommer prosjektet til å gå i null. Tabellen under viser tilbakebetalingstiden for de mest relevante parameterne.

Tabell 12 Tilbakebetalingstiden for de mest relevante parameterne

Endret parametere	Tilbakebetalingstid
Normal	#I/T
Energipris 1,2 kr/kWh	19,5
Diskonteringsrente 3 %	19,3
Ventilasjonsvarmebruk høyt over normalt	16,1

#### 9.1.6 Oppsummering

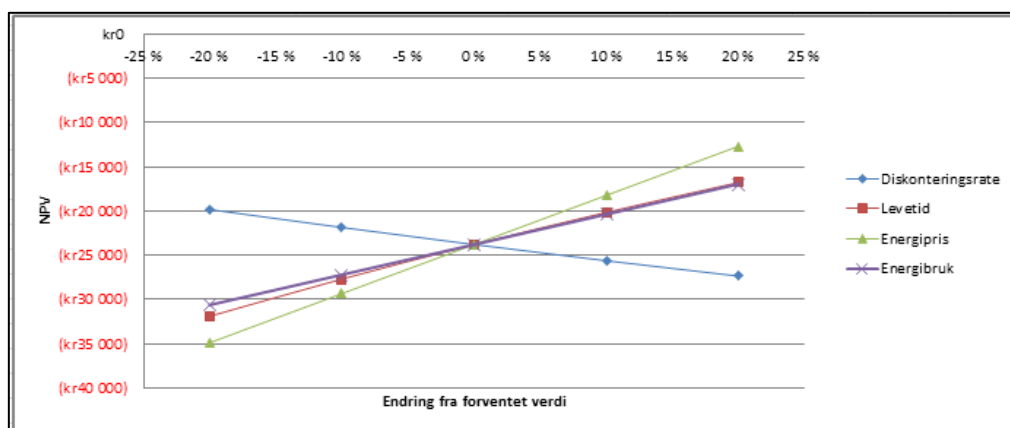
Etter å ha gjennomført sensitivitetsanalyser med hensyn på de 4 parameterne, er det kommet fram til noen gjennomgående resultater. Som konkludert i kapittel 8 om nåverdianalysen viser heller ingen av grafene med normale forutsetninger (15 års levetid, 5 % diskonteringsrente, 1 kr/kWh) tegn til lønnsomhet. Derimot ser det noe lysere ut hvor parameterne endrer seg til det positive. Det vil si diskonteringsrenten går fra 5 til 3 %, levetiden når 25 år, energiprisen går opp til 1,2 kr/kWh, og

ventilasjonsvarmeforbruket er satt til 50 kWh/m<sup>2</sup>. Analysen er gjort for alle de 4 parameterne, og viser hvordan lønnsomheten ser ut hvis en av disse endrer seg.

Hvis diskonteringsrenten flyttes fra 5 til 3 % er lønnsomheten gjennomgående liten. Faktisk ser det ikke bra ut for noen av de 3 mest vesentlige parameterne hvis renten antas å være 3 %, med unntak endring i levetid. Hvis anleggene får en levetid på 25 år ser det mye bedre ved investering i behovsstyrt ventilasjon. Alle grafene i sensitivitetsanalysen viser en positiv netto nåverdi ved 25 år. Det gjør det også for bygg med høyt ventilasjonsvarme forbruk. Med et forbruk på 50 kWh/m<sup>2</sup> antyder grafene en lønnsom investering.

### Stjernediagram:

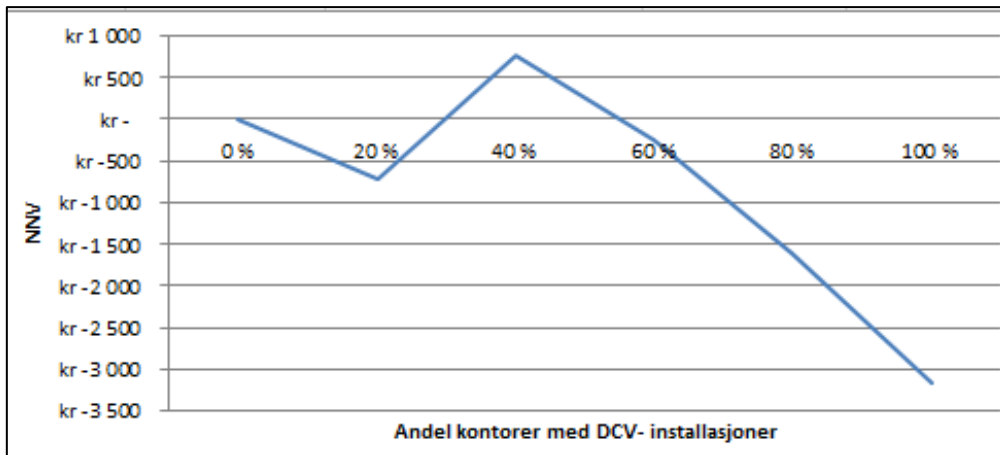
I diagrammet under er det spesielt to grafer som skiller seg ut: Diskonteringsrenten og energiprisen. I følge diagrammet går diskonteringsrenten sammenlignet med de andre grafene i den motsatte retningen. Der diskonteringsrenten blir redusert gir det positivt utslag på nåverdien. Det ser tilsynelatende ut at diskonteringsgrafene går noenlunde symmetrisk med levetidsgrafene og energibruksgrafene. Den andre grafen som skiller seg ut er energiprisen. Grafen er noe brattere enn de andre, som gir indikasjoner på det er energiprisen som har størst innvirkning på lønnsomheten til investeringen.



Figur 38 Stjernediagram med de fire mest vesentlige parameterne

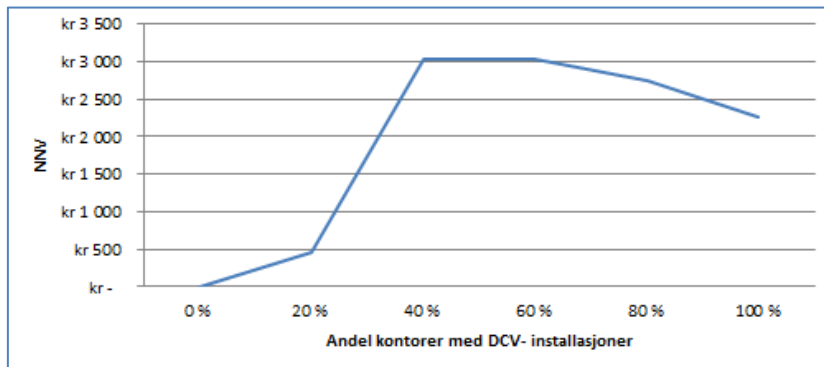
## 9.2 Case 2- Med hensyn på kontorceller

Resultatet i kapittel 8.2 viser hvordan sammenhengen mellom kontorceller og antall DCV-installasjoner er. Grafen fra kapittel 8.2.5 er kun basert på de normale forutsetningene, derfor blir det interessant å se hvor sensitiv grafen er for endring av dem. Det er gjort forsøk ved å endre på de 4 parameterne nevnt i kapittel 9.1: Levetid, Energipris, ventilasjonsvarmeforbruk og diskonteringsrenten. Det ble ikke nevneverdig forskjellig i de 4 grafene bortsett fra en noe økende lønnsomhet. Grafen i figur 40 på neste side viser samme trend som i kapittel 8.2 og gir en negativ utvikling fram til 20 % før det går noe til 40 % og så i negativ retning igjen herfra.



Figur 39 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner hvis energiprisen er 1,2 kr/kWh

For grafen i figur 44 øker forutsetningene ytterligere i positiv retning. Her er diskonteringsrenten antatt å være 3 % mens ventilasjonsvarmeforbruket tenkte til å være 50 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er gode forutsetninger og over det en kan forvente ved investering, i hvertfall hva en kan forvente av diskonteringsrenten. Grafen viser en relativt bratt kurve i positiv retning fra 20 til 40 % før den flater ut og går i svakt negativ. Under de prøvde forutsetningene gir et antall behovsstyrte kontorer på 40 % høyest avkastning, og ellers relativt positiv avkastning fra 40 til 100 % med behovsstyring.



Figur 40 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner hvis Ventilasjonsvarmeforbruk er 50 kWh/m<sup>2</sup> og diskonteringsrente er på 3 %

## 10 Beslutningsgrunnlaget

Beslutningsgrunnlaget skal presentere de viktigste momentene i ved valg av type ventilasjon. Lønnsomhetskalkylen i kapittel 8 og 9 har sett på det økonomiske aspektet og SWOT-analysene har vurdert det kvalitative grunnlaget for de to ventilasjonsanleggene i et større perspektiv. SWOT-analysen er en måte å avgjøre sterke og svake sider ved en beslutning. (se SWOT-analysen nærmere forklart og utført i vedlegg F) Disse to vurderingene legger hovedgrunnlaget for de tre delkapitlene under, og da selve beslutningen. Det er en rekke faktorer som bør avveies ved valg av ventilasjonssystem. Denne oppgaven har vurdert prinsippet om behovsstyring mot prinsippet av konstant luftmengde. Beslutningskriteriene kan også brukes ved valg av systemer innenfor de to prinsippene, men lønnsomhetskalkylene blir noe mer komplekse. For valg av ventilasjonssystem er det satt opp følgende kriterier som de viktigste:

- Hvor solid skal systemet være?
- Inneklima, hvilket krav som gjelder?
- Brukerfleksibilitet
- Energibehov
- Villighet til å investere
- Miljøprofil

### 10.1 Økonomisk kriterier

Installering av behovsstyrte systemer bør sterkt vurderes der en del vesentlige forutsetningene er tilstede ut i fra SWOT-analysen. For det første må det være en variasjon i tilstedeværelse som ligger til grunn for behovsstyring. Dernest er byggverk hvor det forventes høye luftmengderater og stor forskjell i maksimum og minimum luftmengde. Her er det potensial for mye energisparing og effektivisering av anlegget. Videre er bygg med lange driftstimer svært aktuelle for behovsstyring på grunn av høyt energiforbruk, det samme gjelder også hvor klimaet er relativt kaldt. Kaldt klima fører til høyt ventilasjonsvarmeforbruk og et DCV-anlegg vil redusere kostnaden betraktelig. Til sist er spørsmålet hvorvidt forutsetningen om høy energipris er til stedet. Høy energipris vil automatisk belønne energisparing svært godt.

Noen av de mest vesentlige forutsetningene for valg av behovsstyrt anlegg er nevnt over, men hva er forutsetningene og negative faktorer i som drar beslutningen over i valg av et konstant luftmengde-anlegg.? For å nevne en av de viktigste faktorene først; lav energipris. En lav energipris vil definitivt komme et CAV- anlegg med høyt energiforbruk til gode. I tillegg er en høy rente på kapital negativt for et behovsstyrt anlegg som krever høy investering. Det at et CAV-anlegget har såpass lav investeringskostnad gjør alle økonomiske-faktorer som tilser svak kapital-lønnsomhet er til en fordel for dette anlegget.

### 10.2 Tekniske kriterier

En av de tekniske fordelene med å velge behovsstyrt ventilasjon er at det i mye større grad styres automatisk. Et typisk CAV-anlegg har flere manuelle funksjoner som er tungvinte. Til gjengjeld krever det komplekse utstyret i DCV-anlegg større kunnskap for å drifte, mer krevende å installere samt innregulere. En kan også forvente større slitasje på aggregatkomponenter i et CAV-anlegg der det sjelden er driftsstopp.

### 10.3 Øvrige kriterier

Det kan veies opp og ned med økonomi og hvor høy avkastning det er på investeringen, men ikke alle kriterier kan vurderes med konkrete tall. Et av de kriteriene er inn klima og miljø. Komfort og arbeidsmiljø er viktig både for effektivitet og ikke minst helse. Et DCV-anlegg har fordeler med tanke på støy, trekk og tilpasset lufttilførsel. Ulempen er at det er risiko for underdimensjonert tilluft og perioder hvor det er mange flere mennesker enn det rommet er dimensjonert for. Anlegg med konstant luftmengde gir en sikrere tilførsel av tilstrekkelig luft. Et annet kriterie er hvilket miljøprofil bygget og eventuelt bedriften ønsker å ha. Det kan være bra å markedsføre bedriften med en miljøvennlig og energibesparende profil. Energimerke og BREEAM-sertifisering er noe av fordelene som byggene kan bruke for å profilere seg selv. I tillegg sikrer man seg mot framtidige myndighetskrav i byggene ved behovsstyrt energisparing.

## 11 Diskusjon

### Lønnsomhetskalkylene

Det framkommer av nåverdianalysen høye investeringskostnader for det behovsstyrte anlegget. Kostnaden på selve komponentene viser seg å være 3-4 ganger høyere enn for et CAV-anlegg. Dette gjenspeiler ansatte i GK Norges tvil om lønnsomheten til behovsstyrt ventilasjon. Forskjellen i investeringskostnad gjør at DCV-anlegget må ta igjen mye på energisparing og kostnadsreduering. Er det virkelig slik at en så stor ekstra kostnad lar seg nedbetale så fort? Byggeieres ukritiske beslutninger og leverandørers overbevisning har gjort at dette spørsmålet sjelden blir stilt.

Det er ingen tvil om at energiforbruket blir betraktelig redusert. Energiberegningene viser en reduksjon på over 50 % av forbruket. Dette er betydelig, men riktignok ikke så betydelig at det godtgjør investeringene fullstendig i de mindre kontorbyggene som oppgaven har tatt for seg. Nåverdianalysen viser nemlig at det ikke er DCV-anlegget, men CAV-anlegget som har lavest levetidskostnad. En av forklaringene er at energiredueringen i mindre kontorbygg ikke betyr like mye som i større kontorbygg. Noen av kostnadene ligger på samme nivå, mens energibesparingen er mye høyere i større kontorbygg. Nåverdianalysens resultater har også en del usikkerheter som må tas høyde for. Analysens levetidskostnad er kun et estimat og kan avvike fra de reelle kostandene, avhengig av anlegg, bruk, økonomi og klimatiske problemer. Det er heller ikke nødvendigvis et mål i seg selv å ha lavest levetidskostnad. Å synliggjøre hvilke konsekvenser som følger ved de alternative valgmuligheter kan gi større gevinst.

Det behovsstyrte ventilasjonsanleggets negative resultat i nåverdianalysen er under forutsetninger om at man ikke tar høyde for noe ekstra. Det vil si en eventuell lengre levetid, lavere diskonteringsrente, annet energiforbruk eller høyere energipris. Energiprisen kan med sikkerhet sies å være omtrent 1 kr/kWh pr dags dato mens det er noe større usikkerhet rundt diskonteringsrenten på 5 % og levetiden på 15 år. En god del ny teknologi i behovsstyrt ventilasjon gjør at noe er uprøvd og udokumentert. For å være risikonøytral er det bedre med et realistisk utgangspunkt for så å se på mulighetene som kan foreligge ved endrede forutsetninger.

Sensitivitetsanalysen ga indikasjoner på at lønnsomheten var innen rekkevidde dersom forutsetningene endret seg til det positive. Stjernediagrammet illustrerte at størst påvirkning av alle forutsetningene var energiprisen. Å gå fra 1 kr/kWh til 1,2 kr/kWh gir store utslag for energikostnadene og dermed for den totale levetidskostnaden. Høyere energipriser er ikke et utenkelig scenario. Endringer i CO<sub>2</sub>-kvoteprisen, utbygging av kjerne kraft og økt overføringskapasitet kan føre til at det europeiske kraftmarkedet drive prisen opp.[32] Det er også viktig å nevne at sensitivitetsanalysen ikke sier noe om sannsynlighetene for at hver av de enkelte forutsetningen vil endre seg. Det kan tenkes at sannsynligheten er høyere for lengre levetid til anleggene enn for at energiprisen går opp. Disse usikkerhetene har oppgaven ikke vurdert.

Nåverdianalysen for Case 2 med hensyn på kontorcellene gir også et negativt resultat for behovsstyrt ventilasjon. Selv om forskjellen ikke er stor fra CAV-kontorcellene, kommer heller ikke her DCV-installasjoner best ut. Resultatet viser tydelig at behovsstyrt ventilasjon kommer spesielt dårlig ut der 20 % av kontorcellene har DCV-installasjoner, før det ser noe bedre ut til 40 %. Dette har nok mye med de dyre styresystemene å gjøre. Styresystemet koster omtrent like mye for 1 kontor som det gjør for 8, kostnadene blir derfor jevnet ut desto flere kontorceller det er. En annen sannsynlig forklaring på dårlig resultat ved 20 % er den reduserte ventilasjonskostnaden. Denne er lav fra 0-20 %



-andel DCV-kontorer og reduserer derfor ikke levetidskostnaden nevneverdig. Den reduserte ventilasjonskostnaden er en av de største usikkerhetene i kontorcelleanalysen. Det er grunn til å tro at fullverdige DCV-anlegg reduserer aggregat- og kanalkostnadene med 20 %, men hvor mye som reduseres ved kombinasjoner av CAV og DCV er relativt usikkert. Det kan derfor tenkes at vurdering utført i kontorcelleanalysen avviker noe fra virkeligheten.

Fra andelen på 40 % DCV-kontorceller og opp till 100 % viser nåverdianalysen negativ utvikling. DCV-installasjoner er ulønnsomt her som for mange av de samme grunnene i Case 1-analysene. Høye investeringskostnader og inntjening som ikke gir en rimelig tilbakebetaling. Det samme resultatet viser sensitivitetsanalysen for Case 2. Den fortsetter også å antyde den negative utviklingen fra 40 % og oppover. Trenden snur ikke før forutsetningene er vesentlig forbedret. Det vil for eksempel si lengre levetid samtidig som energiprisen går opp. Den mulige forklaringen er at energibesparingen utgjør såpass lite i kontorcellesammenheng at det neppe rettferdiggjør investeringskostnadene. En annen mulig forklaring er at det å se på kontorceller separat fra resten av kontorbygget gjør at behovsstyrt ventilasjon kommer dårligere ut. Kontorcellene er et av de dyrere rommene i bygget med tanke DCV-komponenter, og andre rom kan gi like mye i kostnads- og energireduering til en billigere pris.

### **Datagrunnlaget**

Kapittel 7 har lagt grunnlaget for oppbyggingen og resultatene i denne oppgaven. Målet for kapittelet var å finne gode tall for å gi behovsstyrt ventilasjon en legitim lønnsomhetsvurdering, samt identifisere tilnærmet standardverdier på all informasjon brukt slik at de kan anvendes i et universelt Excel-verktøy. Det har vært noe vanskelig i en ventilasjonsbransje med dårlig samlet oversikt og dokumentasjon. Mange av de generelle kostnadene er erfaringsbaserte estimater fra ansatte i GK Norge, i tillegg har veldig mange underleverandører forskjellige komponenter og priser. En av grunnene til at det er få standardiserte kostnader i bransjen er at de varierer mye fra bygg til bygg og fra leverandør til leverandør. Det har heller ikke vært gode nok insentiver fra verken kunde eller leverandør til å revidere kostnader og effektivitet til det gjeldende anlegget. Kunden tar det for gitt at et nytt anlegg som attpåtil er behovsstyrt er et sikkert lønnsomt prosjekt fordi energisparing ikke har vært noe å bry seg om til nå.

Datagrunnlaget og egne valg kom altså fram til et kontorbygg med romstørrelser, tilstedeværelse, energibruk, komponenter og kostnader etc. Data som i denne oppgaven er ansett til å være standardisert. Det vil være sannsynlig med avvik på de fleste data, de kan for eksempel være riktige for et kontorbygg, men ikke for et annet. Spesielt ved bruk av Excel-verktøyet er det viktig å ha dette i betraktning. En av de dataene som varierer mest er priser på komponenter. Det er gjort en validering for å sammenligne forskjellige leverandører, men likevel vil det variere på grunn av kvalitet, størrelse og funksjon.

Prøvelsen av Excel-verktøyet viser at sensitivitetsanalysene ikke ville sett annerledes ut om byggets areal og kostnader for aggregat og kanaler endrer seg. Hovedmomentet blir at kostnadene reduseres betraktelig med anlegg større enn 5000 m<sup>2</sup>/h og areal større enn 500 m<sup>2</sup>. Dermed blir kvadratmeterprisen mye billigere for disse anleggene enn for det anlegget som denne oppgaven ser på. Excel-verktøyet er derfor ansett som lite hensiktsmessig å anvende på kontorbygg mye større enn 200 m<sup>2</sup>, og mye mindre enn 200 m<sup>2</sup>. Er byggene mye mindre forventes kostnaden pr kvadratmeter til

å være enda høyere. Derfor er kontorbygg i størrelsesorden rundt 200 m<sup>2</sup> et kritisk punkt for lønnsomheten, noe ansatte i GK Norge avdeling Tromsø også har bedyret.

### **Beslutningskriterier**

Dårlige forutsetninger og mangel på lønnsomhet gjør at norske eiendomsbesittere ikke investerer i energieffektivisering. Interessen for energieffektivisering i Norge er på bunnivå i Europa.[1] Behovsstyrt ventilasjon er heller ikke lønnsomt ved flere tilfeller, så hvorfor investere i det da? Og hva er grunnen til at byggeierne ofte velger kun alternativer med lavest levetidskostnad? Jeg mener det er manglende insentiver og liten vilje til å tenke framtidsrettet. Et av insentivene er å få statlig støtte til energieffektivisering i form av midler fra Enova. Mens Enova mener det er for få som benytter seg av støtten, mener mange i bransjen at støtten er for liten for å veie opp mot den lave energiprisen. Det er i denne oppgavens analyser sett bort fra støtteordninger fra Enova. Det er vanskelig å definere hvor mye støtte man får, og hvor mye av det som eventuelt kan bli brukt til å installere behovsstyrt ventilasjon.

Sensitivitetsanalysen viser til lønnsomhet hvis energiprisen skulle stige med 20 %. I dag viser ikke energiprisen tegn til endring,[32] derav de kortsiktige beslutningene om å legge bort energibesparende tiltak. Oppgaven har for øvrig ikke vurdert hvorvidt behovsstyrt ventilasjon er å foretrekke foran andre energisparende tiltak. Før en velger å legge bort de energibesparende tiltakene mener jeg en må belyse hva som betyr mest for byggeier og hvilke kriterier som ligger til grunn for beslutningen. På bakgrunn av SWOT-analysen og avveininger i kapittel 10 ble det vurdert flere kriterier der lønnsomhet og miljøprofil er sett på som en av de mest vesentlige. Miljøprofilen er et kriterium som ofte blir undervurdert. Konsernsjef i DNB, Rune Bjerke tror at besittelse av bygg med høy miljøprofil kommer til å bli et konkurransefortrinn.[34] Selv om han snakker om store næringsbygg, mener jeg prinsippet kommer til å gjelde det samme for mindre kontorbygg. Et miljøbygg blir også billigere for leietakere hvis kontorbygget skal brukes til utleie. Selv om byggherren sitter på investeringskostnaden, er det lettere å leie ut et bygg med lavere driftskostnader i tillegg til en høyere pris. Det er bedre kontantstrøm for eierne, lavere risiko for banken og bedre renter for kunden sier Bjerke. I tillegg sier han at den økte restverdien på miljøbygg vil gjøre de mer attraktive på eiendomsmarkedet.

Rune Bjerkes tro på miljøbygg er interessant og kan settes sammenheng med behovsstyrt ventilasjon og dets betydning for miljøprofilen og inn klimaet. Lavere energiforbruk er en gevinst. Bedre inn klima, herunder komfort, motivasjon og helse er en annen gevinst. En skal heller ikke undervurdere ny og uprøvd teknologisk markedsutvikling. Med suksess og fungerende utstyr vil høyere etterspørsel og effektiviserte komponenter presse prisene ned, noe som gjør investering enda mer interessant.

## 12 Konklusjon

I oppgaven ble det etter hvert besluttet å fokusere på mindre kontorbygg for å avgrense oppgaven. Det er også her usikkerhet er størst vedrørende lønnsomhet. Det er valgt et 200 m<sup>2</sup> stort kontorbygg som brukes i oppgavens analyser og i det utviklede Excel-verktøyet. For eksempel vil kostnadene reduseres betraktelig med anlegg større enn 5000 m<sup>3</sup>/h og areal større enn 500 m<sup>2</sup>. Dermed blir kvadratmeterprisen mye billigere for disse anleggene enn for det anlegget som denne oppgaven ser på. Er byggene mye mindre enn 200 m<sup>2</sup> forventes kostnaden pr kvadratmeter til å være enda høyere. Derfor er kontorbygg i størrelses orden rundt 200 m<sup>2</sup> et kritisk punkt for lønnsomheten.

Nåverdianalysen viser høye investeringskostnader for det behovsstyrte anlegget. Så mye som 3-4 ganger høyere enn for et CAV-anlegg. Noe som illustrer problemstillingens tvil til lønnsomhet for behovsstyrt ventilasjon. Hovedargumentet for å velge DCV-anlegg er energisparing. Energiberegninger utført i oppgaven viser en forskjell fra 55,4 kWh/m<sup>2</sup> til 28,6 kWh/m<sup>2</sup> for det 200 kvadratmeter store kontorbygget. Altså litt over 50 % i reduserte energikostnader. Den store energibesparingen til tross, nåverdianalysen viser at levetidskostnadene ikke er lavere enn for et CAV-anlegg. Det er likevel en del forutsetninger som kan gjøre den høye investeringen verdt å ta. Sensitivitetsanalysen viste at størst påvirkning av alle forutsetningene var energiprisen. Å gå fra 1 kr/kWh til 1,2 kr/kWh gir store utslag for energikostnaden og dermed for den totale levetidskostnaden. Videre viser analysen at varme/kjøle-forbruket betyr mye. Bygg med stort behov for oppvarming eller nedkjøling kan få redusert sitt energiforbruk i mye større grad enn de som ikke har dette behovet.

Analysen for kontorcellene alene gir også et negativt resultat med mange av de samme årsakene som analysen for hele kontorbygget. Selv om forskjellen ikke er stor fra CAV-kontorcellene, kommer heller ikke her DCV-installasjoner best ut. Resultatet viser tydelig at behovsstyrt ventilasjon kommer spesielt dårlig ut der 20 % av kontorcellene har DCV-installasjoner, før det ser noe bedre ut til 40 %. Hovedårsaken er nok at flere av kostandene er de samme om det er 1 eller 8 kontorrom. Sensitivitetsanalysen for kontorcellen viser fortsatt antydninger til negativ utvikling for behovsstyrte installasjoner over 40 %. Pilen peker ikke oppover før forutsetningene er vesentlig forbedret. Det vil for eksempel si lengre levetid samtidig som energiprisen må gå noe opp.

Lønnsomhetskalkylen ser bort i fra en del andre viktige faktorer i beslutningsfasen. Miljøprofil og inneklime er en av dem. Miljøbygg med lavt energiforbruk blir i større grad etterspurt og er blitt et konkurransefortrinn. Miljøprofilen til bygget ser bra ut for bedriften og er lettere å selge. I tillegg er behovsstyrt ventilasjon med på å bedre inneklime til de som jobber der, med potensielt bedre helse, arbeidsforhold, motivasjon og effektivitet. Alt dette, i tillegg til lønnsomhetskalkyler i Excel-verktøyet bør legges til grunn ved beslutningen. Beslutningsgrunnlaget og Excel-verktøyet gir ikke fasit på noen ting, men vil forhåpentligvis hjelpe kunder og leverandører i valget de tar. Excel-verktøyet har enda mange usikkerheter rundt kostnader og priser som brukes. Videre arbeid blir å teste ut verktøyet på et reelt prosjekt, og justere parameterne slik at det stemmer bedre med virkeligheten.

## 13 Referanser

1. Å. Langved og J. Løvås, "Mener Norge sløser bort energi", *Dagens Næringsliv*, s. 18, 2014.06.07
2. Liv Thoring. (2007). *Strømforbruk og strømpriser i Europa*. Tilgjengelig: <http://www.framtiden.no/search/newest-first.html?searchphrase=all&searchword=str%C3%B8mpriser%20i%20europa>
3. SINTEF Byggforsk, 552.335 *Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg*, 2000.
4. Johan Halvarsson, "Occupancy pattern in office buildings" *Concequences for HVAC system design and operation*. Trondheim: NTNU, Fakultetet for ingeniørvitenskap og teknologi, 2012.
5. GK Ventilasjon. *Behovsstyrt ventilasjon sparer energi*. Tilgjengelig: [http://www.gk.no/no/tjenester/entreprise/ventilasjon/behovsstyrt\\_ventilasjon/](http://www.gk.no/no/tjenester/entreprise/ventilasjon/behovsstyrt_ventilasjon/)
6. Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggeteknisk forskrift), 2010
7. Mads Mysen. (2013). *reDuCeVentilation: Reduced energy use in Educational buildings with robust Demand Controlled Ventilation*. Tilgjengelig: <http://www.sintef.no/project/reDuCeVentilation/Presentasjoner/Pres131010MadsMysen.pdf>
8. Astma og allergiforbund, (2012). *Universell utforming av bygg for personer med astma, allergi og annen følsomhet*. Tilgjengelig: [http://www.naaf.no/Documents/ByggogHelse/Universell\\_utforming.pdf](http://www.naaf.no/Documents/ByggogHelse/Universell_utforming.pdf)
9. GK. *GK beregningsprogram*. Tilgjengelig: <http://calc.gk.no/ventilation/airflow/>
10. M. Mysen og P. Schild, *Behovsstyrt ventilasjon: DCV- krav og overlevering*, SINTEF, 2013.
11. M. Mysen og P. Schild. *Behovsstyrt ventilasjon, DCV- forutsetninger og utforming*, SINTEF, 2014.
12. Av Redaksjonen Gemini. (2012). *Usynlig fiende*. Tilgjengelig: [http://gemini.no/2011/12/usynlig-fiende/rep\\_usynlig\\_vent\\_stor/](http://gemini.no/2011/12/usynlig-fiende/rep_usynlig_vent_stor/)
13. Helge Davidsen. (2010). *Behovsstyring av ventilasjon i praksis*. Tilgjengelig: [www.vvs-foreningen.no/portal/pls/portal/docs/1/690039.PDF](http://www.vvs-foreningen.no/portal/pls/portal/docs/1/690039.PDF)
14. H. Nylund, *Inneklima: Fant fem (typiske) feil*. Oslo, GK konsern AS, 2014.
15. Lindab. (2014). *Forenklet VAV- løsning med fullt potensial*. Tilgjengelig: <http://www.lindab.com/no/Documents/Ventilasjon%20Norge/Pascal%20Brosjyre.pdf>
16. Trox Auranor. (2014). *TROX Auranor produkter – for et godt innemiljø*. Tilgjengelig: <http://www.trox.no/no/products/index.html>
17. Belimo. (2008). *VAV/CAV system-løsning for energi-optimal vifteregulering for romventilasjon*. Tilgjengelig: [http://www.belimo.no/storage/webshop\\_products\\_files/Produktdatablad\\_norsk.pdf](http://www.belimo.no/storage/webshop_products_files/Produktdatablad_norsk.pdf)
18. Kari Thunshelle. (2013). *Innregulering av ventilasjon – Utforming med VAV- og CAV i samme anlegg (Behovsstyrt ventilasjon)*. Tilgjengelig: [http://www.slideshare.net/VVS-Foreningen/3-kari-thunshelle-sintef?qid=3b35581b-e525-4068-90b0-b00d2e9084eb&v=default&b=&from\\_search=1](http://www.slideshare.net/VVS-Foreningen/3-kari-thunshelle-sintef?qid=3b35581b-e525-4068-90b0-b00d2e9084eb&v=default&b=&from_search=1)
19. Magne Våge, *Varme-, Kjøle- og Ventilasjonsanlegg (Kompendium del 2)*. Grimstad: Universitet i Agder, 2010
20. M. Mysen, *Energieffektiv viftedrift*, Byggforskning sinstituttet, 2000.
21. Investopedia. (2014). *Investment Analysis*. Tilgjengelig: <http://www.investopedia.com/terms/i/investment-analysis.asp>

22. Multiconsult, *Praktisk bruk av LCC*, Veileder fra Byggemiljø, 2006.
23. Kjell Folkesson og William Lawrance. *Calculation ventilation Life Cycle Cost and count on saving*. Tilgjengelig: <http://www.flaktwoods.no/2e9b4b63-9dcf-4e09-a7a7-3257474e6da7>
24. Micro-Matic. (2013). *Energistyring i yrkesbygg*. Tilgjengelig: <http://www.vvs-foreningen.no/portal/pls/portal/docs/1/554045.PDF>
25. S. Ross et al. *Core principles and applications of corporate finance*. New York: McGraw-Hill companies, 2011.
26. Skarland Press, *VVS- bransjens håndbok i ventilasjon*, Skarland Press, 2000.
27. Bøhren og Gjærum. (2012). *Prosjektanalyse (Oppsummering kapittel 6)*. Tilgjengelig: <http://ffprosjekt.portfolio.no/read/8517adf4-760c-485c-9108-0d5b2102db74>
28. Trond Thorgeir Harsem. (2012). *LCC – Som verktøy ved valg av konsept for ventilasjon*. Tilgjengelig: [http://www.nbef.no/fileadmin/Kursprogrammer/2012/1250108\\_LCC-Forum/Torgeir\\_Harsem\\_ventilasjonskonsept\\_LCC\\_Forum\\_mai\\_2012.pdf](http://www.nbef.no/fileadmin/Kursprogrammer/2012/1250108_LCC-Forum/Torgeir_Harsem_ventilasjonskonsept_LCC_Forum_mai_2012.pdf)
29. Beregning av bygningers energiytelse, NS 3031, 2007
30. Olje og energidepartementet. (1998). *Energi- og kraftbalansen mot 2020 (21 Vannbåren varme)*. Tilgjengelig: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/22.html?id=349163>
31. H. Nylund, *Inneklima: Neppe farlig å underdimensjonere*. Oslo: GK konsern AS, 2014
32. Å. Langved, "Venter ikke høyere strømpriser i Norge", *Dagens Næringsliv*, s. 15, 2014.06.04
33. Olje og Energidepartementet. (1998). *Energi- og kraftbalansen mot 2020 (Energibruk bygninger)*. Tilgjengelig: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/1998/NOU-1998-11/22/2.html?id=349165>
34. H. Nylund, *Inneklima: Konkurransefortrinn med miljøbygg*. Oslo: GK konsern AS, 2014
35. Riksantikvaren. (2010). *Sosioøkonomisk analyse*. Tilgjengelig: <http://www.riksantikvaren.no/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=2680>
36. Norsk Teknologi, *Energibruk i bygg- rammer, krav og muligheter*. Oslo: Majorstuen, 2012.

## 14 Vedlegg

Vedlegg A- Datainnsamling

Vedlegg B- Energiberegninger

Vedlegg C- Nåverdianalyse DCV vs CAV

Vedlegg D- Levetidskostandsanalyse med hensyn på kontorceller

Vedlegg E- Sensitivitetsanalyse

Vedlegg F- SWOT-analyse

Vedlegg G- Forklaring på beregningsverktøy i Excel

# Vedlegg A- Datainnsamling kontorbygg

## Priser fra Auranor

TROX <sup>®</sup> TECHNIK		Tlf: 61 31 36 00		E-post: ttnugood@auranor.no	
Auranor				Dato: _____	
Vedr.: VAV v2 CAV (CAV-Anlegg)				Signatur: _____	
<b>Rom nr</b>					
<b>①</b>					
2 x	Ostør-Led 250	€	1189	=	2378,-
2 x	Lupa 200-250	€	7080	=	2160,-
1 x	Ostør-MV-T 200	€	1291	=	1291,-
1 x	DRS 200	€	255	=	255,-
1 x	LAR 200-900	€	720	=	720,-
<b>②-①</b>					
6 x	Ostør-Led 160	€	960,-	=	5760,-
6 x	Lupa 125-160	€	774,-	=	4644,-
6 x	M30 125	€	282,-	=	1692,-
6 x	LAR 125-600	€	527,-	=	3162,-
<b>③</b>					
2 x	Ostør-Led 250	€	1189	=	2378,-
2 x	Lupa 200-250	€	7080	=	2160,-
1 x	Ostør-MV-T 200	€	1291	=	1291,-
1 x	DRS 200	€	255	=	255,-
1 x	LAR 200-900	€	720	=	720,-
<b>④</b>					
1 x	Ostør-Led 160	€	960,-	=	960,-
1 x	Lupa 125-160	€	774,-	=	774,-
1 x	M30 125	€	282,-	=	282,-
1 x	LAR 125-600	€	527,-	=	527,-
<b>⑤-④</b>					
3 x	M30 125	€	282,-	=	846,-
3 x	LAR 125-600	€	527,-	=	1581,-
<b>Tot</b>					<b>33836,-</b>

Figur 41 Priser for komponenter i et CAV-anlegg

Rom nr. 3			
①	2 x LEO 200	2 4334	= 8668,-
	2 x LEO-77-L	2 7068	= 2136,-
	2 x Orion LEO 200	2 7787	= 2362,-
	2 x Luna 200-200	2 7080	= 2160,-
	1 x Orion HV-200	2 7291	= 7291,-
	1 x CO/Temp	2 9435	= 9435,-
②	12 x LEO 125	2 4149	= 49788,-
	1 x LEO-77-L	2 897	= 10764,-
	6 x Orion LEO 125	2 922	= 5730,-
	6 x H2O 125	2 282	= 7692,-
	6 x Bevegelsenssensor	2 2035	= 12210,-
③	2 x LEO 200	2 4334	= 8668,-
	2 x LEO-77-L-200	2 7068	= 2136,-
	2 x Orion LEO 200	2 7787	= 2362,-
	2 x Luna 200-200	2 7080	= 2160,-
	1 x Orion HV-200	2 7291	= 7291,-
	1 x CO/Temp	2 9435	= 9435,-
④	2 x VFC 125	2 7866	= 3732,-
	2 x LAR 125-900	2 527	= 7054,-
	1 x Orion LEO 125	2 922	= 955,-
	1 x H2O 125	2 282	= 282,-
⑤	1 x VFC 160	2 7866	= 7866,-
	1 x LAR 160-900	2 662	= 662,-
	3 x H2O 160	2 282	= 846,-
⑥	2 x VFC 125	2 7866	= 3732,-
	2 x LAR 125-900	2 620	= 7270,-
	2 x Orion LEO 125	2 922	= 7970,-
Tot			= 146407,-

Figur 42 Priser for komponenter i et DCV-anlegg

### Validering av priser

Det lar seg ikke gjøre å sammenligne komponentene direkte fordi det er ingen av leverandører som har akkurat det samme systemet. For eksempel har noen leverandører kombinert flere komponenter i et. Det er i hvertfall gjort et forsøk med DCV-utstyrt til kontorer. Summen for alle de tre er omtrent ganske like som er i og for seg ganske betryggende i forhold til riktighet av priser brukt i oppgaven.

Tabell 13 Sammenligning av priser på DCV-komponenter i kontorceller mellom tre forskjellige leverandører

Komponenter	Pris Auranor	Lindab	Swegon
Ventiler	1 200	2000	1 200
Plenumskammer	6 827,5	6460	1 450
Romregulator	2 313,8	2 313	8 000
Systemregulator- (1 pr 8 rom)	1 207,3	1 207	-
VAV- Spjeld	6 767,5	6 606	2500
Lyddemper	1 000	-	1 800
Bevegelsessensor	2 000	-	-
Sum (inkl. mva)	19 149	18 587	18 687

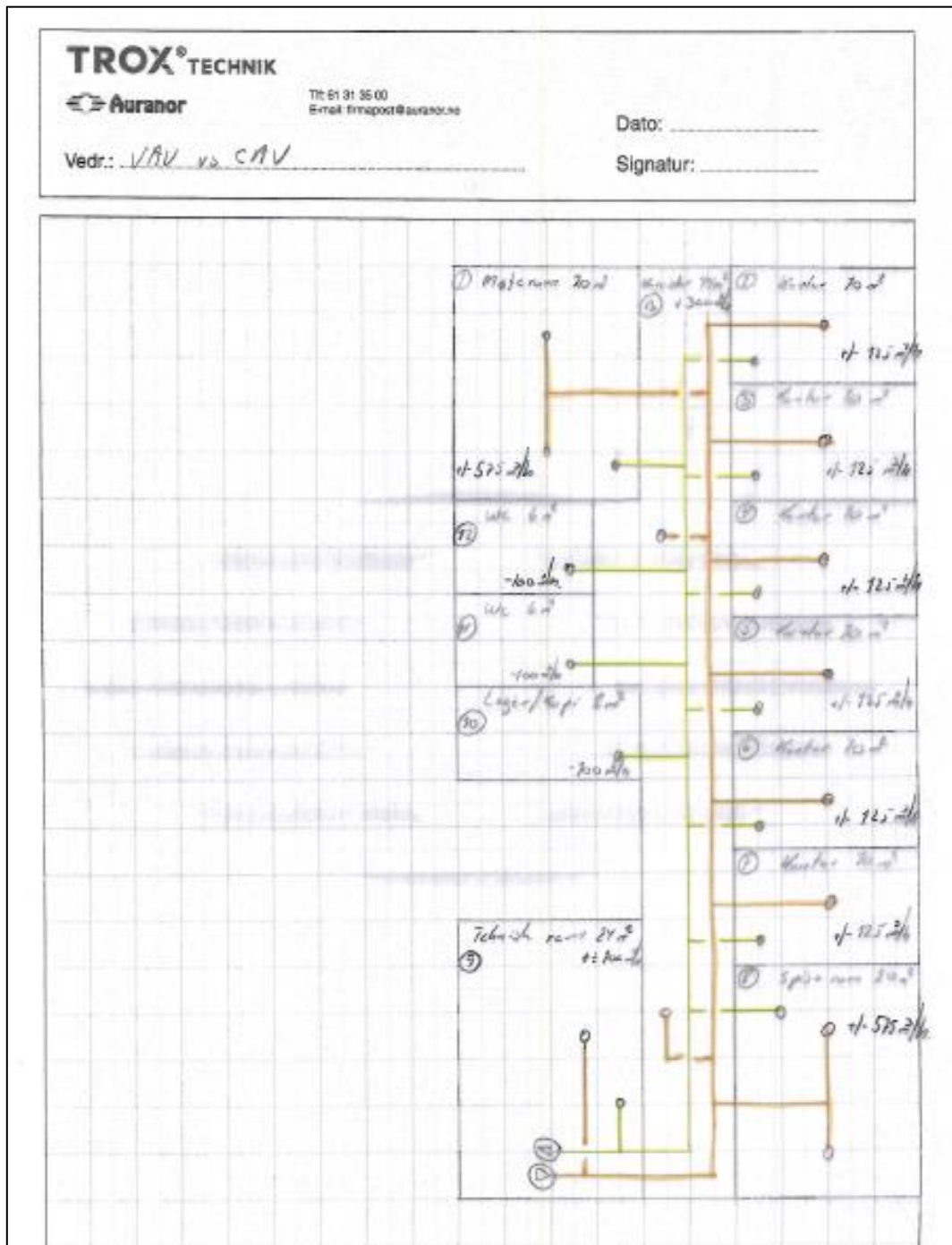


### Kravspesifikasjoner: Luftmengder i kontorbygg

Denne tabellen kommer fra Universitetet i Oslo og er brukt i oppgavens beregninger av luftmengde i kontorbyggets ulike rom.

ROMTYPE	Operativ temperatur					Lufthastighet		Luftfukt. Min. % RF	Frisklufts.- mengde min. pr. m <sup>2</sup> eller pr. person/enh. 2) m <sup>3</sup> /h	Lydtrykk nivå i etterklangs feltet  Maks. NR.
	Sommer		Vinter			20°C maks. m/s	25°C maks. m/s			
	Min. °C	Maks. °C	Natt min. °C	Min. °C	Maks. °C					
Kontor	-	15	20	24	0,15	-	-	10 pr. m <sup>2</sup>	30	
Kontorlandskap/arkiv	-	15	20	24	0,15	-	-	12 pr. m <sup>2</sup>	30	
Møterom	-	15	20	24	0,15	-	-	20 pr. m <sup>2</sup>	30	
Arkiv/rekvisita	-	15	20	24	0,15	-	-	8 pr. m <sup>2</sup>	35	
Kopi/printer/fax	-	15	20	24	0,15	-	-	15 pr. m <sup>2</sup>	35	
Foajer	-	15	20	24	0,15	-	-	12 pr. m <sup>2</sup>	30	
Korridor	-	15	20	24	0,15	-	-	5 pr. m <sup>2</sup>	30	
Kantine	-	15	20	24	0,15	-	-	15 pr. m <sup>2</sup> /40 pr.pers.	30	
Kjøkken	-	15	20	24	0,20	-	-	35 pr. m <sup>2</sup> 15 pr. m <sup>2</sup>	35	
Forrom WC	-	15	22	-	0,20	-	-	100 pr. enh.	30	
WC-rom	-	15	22	-	0,20	-	-	100 pr. enh.	35	
HC-WC-rom	-	15	22	-	0,20	-	-	75 pr. enh. 5 pr. m <sup>2</sup>	35	
Bøttekott	-	15	20	-	0,20	-	-	15 pr. m <sup>2</sup>	35	
Lager/disp.	-	15	20	20	0,20	-	-	40 pr. pers.	30	
Resepsjon	-	15	20	24	0,15	-	-	40 pr. pers.	30	
Auditorium	-	15	20	24	0,15	-	-	50 pr. pers.	30	
Sal 1	-	15	20	24	0,15	-	-	50 pr. pers.	30	
Sal 2	-	15	20	24	0,15	-	-	12 pr. m <sup>2</sup>	30	
Sal 3	-	15	20	24	0,15	-	-	15 pr. m <sup>2</sup> /80 pr.pers	30	
Garderober	-	15	20	24	0,15	-	-	-	30	
Trimrom	-	15	20	24	0,20	-	-	-	-	
Heismaskinrom	-	15	15	35	-	-	-	-	-	
Hovedtavle	-	15	15	28	-	-	-	-	-	
Tavlekott	-	15	15	28	-	-	-	-	-	
Teletekn. kold.rom	-	15	15	27	-	-	-	3 pr. m <sup>2</sup>	-	
VVS-tekn.rom	-	15	15	-	-	-	-	-	-	

Eksempel på typisk kontorbygg fra Trox Auranor



## Vedlegg B- Energiberegninger

Energiberegningene er utført i Excel-verktøyet og er forklart under ved bruk av utklipp derfra og formler brukt i oppgaven. Resultat er oppgitt i oppgaven, men er de detaljerte utregningene presentert.

### Energiberegninger CAV

#### Vifteeffekt

Det er beregnet luftmengde for hvert kontor og summert den totale luftmengden til å være 2115 m<sup>3</sup>/h.

Tabell 14 Luftmengdeberegninger for CAV- anlegg

CAV	Kontor	Møterom	Kantine	Åpent landskap	Lager	Kopi rom	Kjøkken	Garderobe	WC	Korridor	Tekn. rom
Areal	60	20	20	0	10	8	0	0	2	45	1
m <sup>3</sup> /h pr m <sup>2</sup>	12	20	15	12	5	15	35	12	100	5	100
m <sup>3</sup> /h	720	400	300	0	50	120	0	0	200	225	100

$$\text{Vifteeffekt i driftstid} = 2115 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1}{3600} \cdot 2 \text{ kW/m}^3/\text{s} \cdot 3120 \text{ h} = 3666,00 \text{ kWh}$$

$$\text{Vifteeffekt utenfor driftstid} = 527,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1}{3600} \cdot 0,4 \text{ kW/m}^3/\text{s} \cdot 5616 \text{ h} = 329,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Totalt energiforbruk vifte} = 3657,33 \text{ kWh} + 329,16 \text{ kWh} = 3995,94 \text{ kWh}$$

Tabell 15 Energiberegninger for vifteeffekt og varmebehov i et CAV-anlegg

Sum	2115
SFP driftstid	2
<b>Vifte effekt Driftstid kWh pr år</b>	<b>3666,00</b>
SFP utenfor driftstid	0,4
Luftmengde utenfor driftstid 25 %	528,75
<b>Vifteeffekt utenfor driftstid kWh pr år</b>	<b>329,94</b>
<b>Total energiforbruk vifte [kWh pr år]</b>	<b>3995,94</b>
Årlig energiforbruk varme [kWh]	9000,0
Årlig energiforbruk kjøling [kWh]	0,0
<b>Sum kWh pr år</b>	<b>12995,9</b>
Energipris	kr 1
<b>Årlig energikostnad</b>	<b>kr 12 996</b>

#### Ventilasjonsvarme

$$\text{Energiforbruk varme pr år} = \text{kWh/m}^2 \text{ ventilasjonsvarme pr år} \cdot \text{Klimatisert bruksareal}$$

$$\text{Energiforbruk varme pr år [kWh]} = 35 \text{ kWh/m}^2 \cdot 200 \text{ m}^2 = 7000 \text{ kWh}$$

Tabell 16 Energiberegninger for DCV- anlegg

DCV	Kontor	Møterom	Kantine	Åpent landskap	Lager	Kopi rom	Kjøkken en	Garderobe	WC	Korridor	Tekn. rom
Areal	60	20	20	0	10	8	0	0	2	44	1
m <sup>3</sup> /h pr m <sup>2</sup>	12	20	15	12	5	15	35	12	100	5	100
Tilstede-Værelse	0,5	0,3	0,2	0,7	1	1	1	1	1	1	1
m <sup>3</sup> /h	720	400	300	0	50	120	0	0	200	220	100
kWh pr år	624	208,00	104,00	0,00	86,7	208,0	0,00	0,00	346	390,0	173,3

$$\text{Luftmengde [m}^3/\text{h]} = 60 \text{ m}^2 \cdot 12 \text{ m}^3/\text{h pr m}^2 = 720 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Vifteeffekt kontor i driftstid} = 0,5 \cdot 720 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{1}{3600} \cdot 1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s} \cdot 3120 \text{ h} = 468 \text{ kWh}$$

$$\begin{aligned} \text{Vifteeffekt i driftstid total} &= 468 \text{ kWh} + 156 \text{ kWh} + 78 \text{ kWh} + 65 \text{ kWh} \\ &+ 156 \text{ kWh} + 260 \text{ kWh} + 295 \text{ kWh} + 130 \text{ kWh} = 1605 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\text{Vifteeffekt utenfor driftstid} = 329,94 \text{ kWh}$$

$$\text{Totalt energiforbruk vifte} = 1605 \text{ kWh} + 329,16 \text{ kWh} = 1935 \text{ kWh}$$

	Kontor	Møterom	Kantine	Åpent lan	Lager	Kopiroom	Kjøkken	Garderob	WC	Korridor	Tekn. rom
Areal/stk	60	20	20	0	10	8	0	0	2	45	1
Tilstedeværelse %	0,5	0,3	0,2	0,7	1	1	1	1	1	1	1
Personbelastning m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup>	12	20	15	12	5	15	35	12	100	5	100
Nødvendig luftmengde	720	400	300	0	50	120	0	0	200	225	100
SFP	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Effekt kW	0,30	0,17	0,13	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,08	0,09	0,04
Årlig driftstimer	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120	3120
Årlig energibehov vifte kWh	468	156,00	78,00	0,00	65,00	156,00	0,00	0,00	260,00	292,50	130,00
Vifte effekt Driftstid kWh pr år	1605,50										
Vifteeffekt utenfor driftstid kWh pr år	329,94										
<b>Totalt energiforbruk vifte [kWh pr år]</b>	<b>1935,44</b>										
Årlig energibruk varme [kWh/m <sup>2</sup> ]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Årlig energiforbruk varme [kWh]	1350	270	180	0	450	360	0	0	90	2025	45
Totalt årlig energibruk varme kWh	4770,00										
Årlig energiforbruk kjøling [kWh]	0,00										
<b>Sum kWh pr år</b>	<b>6705,44</b>										
Energipris	kr	1									
Årlig energikostnad	kr	6 705									

Figur 43 Utklippet viser hvordan luftmengde og energiberegningene er gjort i Excel

## Ventilasjonsvarme og kjøling

Figuren under viser utklipp fra GK Norges eget beregningsprogram og hvordan ventilasjonsvarmeforbruket ble definert i oppgaven. 7000 kWh/år delt på 200 kvadratmeter som kontorbygget i oppgaven har, gir 35 kWh/m<sup>2</sup>. Denne verdien har oppgaven brukt videre i beregningene.

Figur 44 Beregning av energibehov oppvarming for Tromsø-område i GK Norges beregningsprogram

Tabellen under viser videre hvordan ventilasjonsvarmeforbruket beregnet over på 35 kWh/m<sup>2</sup> brukes i energiberegningene for et DCV-anlegg. Legg spesielt merke til at tilstedeværelsen har mye å si for det totale forbruket og at rom med behovsstyrt ventilasjon fører til stor energibesparing.

Tabell 17 Beregninger for energiforbruk ventilasjonsvarme

DCV	Kontor	Møterom	Kantine	Åpent landskap	Lager	Kopi rom	Kjøkken	Garderobe	WC	Korridor	Tekn. rom
Areal	60	20	20	0	10	8	0	0	2	45	1
Tilstedeværelse	0,5	0,3	0,2	0,7	1	1	0	1	1	1	1
Varme [kWh]	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Totalt [kWh]	1050	210	140	0	350	280	0	0	70	1575	35

## Vedlegg C- Tilbakebetalingsmetoden

Viser her hvordan tilbakebetalingstiden er beregnet for endring i de tre mest vesentlige parameterne. I modellen er det satt opp som forklart i teoridelen med investeringskostnaden, kontantstrømmen og den kumulative kontantstrømmen. Formel for tilbakebetalingstiden i Excel bruker "SLÅOPP-funksjonen" med verdi satt til å være 0. Altså der tilbakebetalingen er nedskrevet.

$$=SLÅOPP(0;N201:N226;(L201:L226)-(N201:N226/M202:M226))$$

De tre mest vesentlige parameterne er:

1. Energipris
2. Diskonteringsrente
3. Ventilasjonsvarmeforbruk

Tilbakebetalings Periode DCV-anlegg				Energipris 1,2 kr/kWh			
Normal				Energipris 1,2 kr/kWh			
Periode	Kontant strøm	Kumulativ kontantstrøm		Periode	Kontant strøm	Kumulativ kontantstrøm	
0 kr	-79 306 kr	-79 306		0 kr	-79 306 kr	-79 306	
1 kr	5 351 kr	-73 955		1 kr	6 421 kr	-72 884	
2 kr	4 853 kr	-69 099		2 kr	5 824 kr	-67 059	
3 kr	4 622 kr	-64 474		3 kr	5 546 kr	-61 509	
4 kr	4 402 kr	-60 069		4 kr	5 282 kr	-56 223	
5 kr	4 192 kr	-55 871		5 kr	5 031 kr	-51 187	
6 kr	3 993 kr	-51 873		6 kr	4 791 kr	-46 390	
7 kr	3 803 kr	-48 063		7 kr	4 563 kr	-41 820	
8 kr	3 621 kr	-44 434		8 kr	4 346 kr	-37 467	
9 kr	3 449 kr	-40 976		9 kr	4 139 kr	-33 319	
10 kr	3 285 kr	-37 681		10 kr	3 942 kr	-29 367	
11 kr	3 128 kr	-34 542		11 kr	3 754 kr	-25 602	
12 kr	2 979 kr	-31 550		12 kr	3 575 kr	-22 015	
13 kr	2 837 kr	-28 700		13 kr	3 405 kr	-18 597	
14 kr	2 702 kr	-25 984		14 kr	3 243 kr	-15 340	
15 kr	2 574 kr	-23 395		15 kr	3 088 kr	-12 237	
16 kr	2 451 kr	-20 928		16 kr	2 941 kr	-9 279	
17 kr	2 334 kr	-18 576		17 kr	2 801 kr	-6 461	
18 kr	2 223 kr	-16 335		18 kr	2 668 kr	-3 775	
19 kr	2 117 kr	-14 199		19 kr	2 541 kr	-1 215	
20 kr	2 017 kr	-12 162		20 kr	2 420 kr	1 225	
21 kr	1 921 kr	-10 221		21 kr	2 305 kr	3 550	
22 kr	1 829 kr	-8 370		22 kr	2 195 kr	5 767	
23 kr	1 742 kr	-6 605		23 kr	2 090 kr	7 880	
24 kr	1 653 kr	-4 922		24 kr	1 991 kr	9 895	
25 kr	1 580 kr	-3 317		25 kr	1 896 kr	11 816	
<b>Periode [År]</b>		<b>#!T</b>		<b>Periode [År]</b>		<b>19,5</b>	

Figur 45 Tilbakebetalingstid ved Normale forutsetninger (til venstre) og energipris 1,2 kr/kWh (til høyre)

Diskonteringsrente 3 %			Energibruk varme 55 kWh/m2		
Periode	Kontant strøm	Kumulativ kontantstrøm	Periode	Kontant strøm	Kumulativ kontantstrøm
0 kr	-77 815 kr	-77 815	0 kr	-79 306 kr	-79 306
1 kr	5 351 kr	-72 463	1 kr	7 231 kr	-72 075
2 kr	5 043 kr	-67 418	2 kr	6 558 kr	-65 514
3 kr	4 836 kr	-62 518	3 kr	6 246 kr	-59 265
4 kr	4 754 kr	-57 760	4 kr	5 949 kr	-53 313
5 kr	4 615 kr	-53 140	5 kr	5 665 kr	-47 642
6 kr	4 481 kr	-48 653	6 kr	5 396 kr	-42 241
7 kr	4 350 kr	-44 296	7 kr	5 139 kr	-37 093
8 kr	4 224 kr	-40 064	8 kr	4 894 kr	-32 193
9 kr	4 101 kr	-35 954	9 kr	4 661 kr	-27 524
10 kr	3 981 kr	-31 963	10 kr	4 439 kr	-23 075
11 kr	3 865 kr	-28 087	11 kr	4 228 kr	-18 836
12 kr	3 753 kr	-24 322	12 kr	4 026 kr	-14 798
13 kr	3 643 kr	-20 665	13 kr	3 834 kr	-10 950
14 kr	3 537 kr	-17 114	14 kr	3 652 kr	-7 285
15 kr	3 434 kr	-13 665	15 kr	3 478 kr	-3 792
16 kr	3 334 kr	-10 315	16 kr	3 312 kr	-463
17 kr	3 237 kr	-7 060	17 kr	3 155 kr	2 708
18 kr	3 143 kr	-3 900	18 kr	3 004 kr	5 731
19 kr	3 051 kr	-829	19 kr	2 861 kr	8 611
20 kr	2 962 kr	2 153	20 kr	2 725 kr	11 356
21 kr	2 876 kr	5 050	21 kr	2 595 kr	13 973
22 kr	2 792 kr	7 865	22 kr	2 472 kr	16 466
23 kr	2 711 kr	10 599	23 kr	2 354 kr	18 843
24 kr	2 632 kr	13 255	24 kr	2 242 kr	21 109
25 kr	2 555 kr	15 835	25 kr	2 135 kr	23 270
<b>Periode [År]</b>		<b>19,3</b>	<b>Periode [År]</b>		<b>16,1</b>

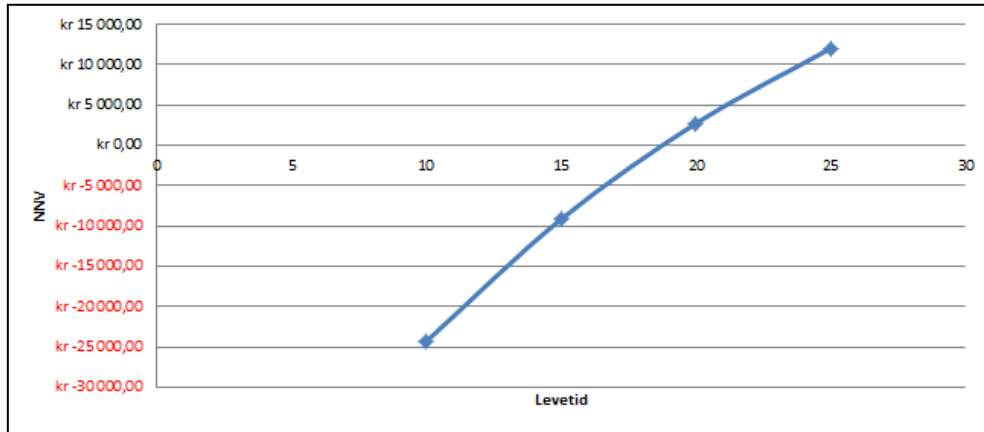
Figur 46 Tilbakebetalingstid ved diskonteringsrente 3 % (til venstre) og energibruk varme 50 kWh/m2 (til høyre)

## Vedlegg D- Sensitivitetsanalyse CAV-anlegg vs DCV-anlegg

Dette vedlegget viser de grafene som ikke ble vist i oppgaven.

### Analyse med hensyn på Levetid

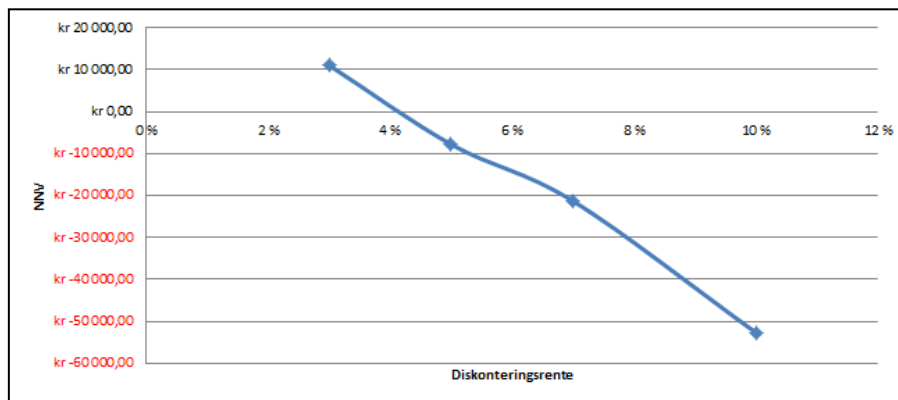
Energibruk ventilasjonsvarme 50 kWh/m<sup>2</sup>



Figur 47 NNV med hensyn på levetid ved Energibruk ventilasjonvarme på 50 kWh/m<sup>2</sup>

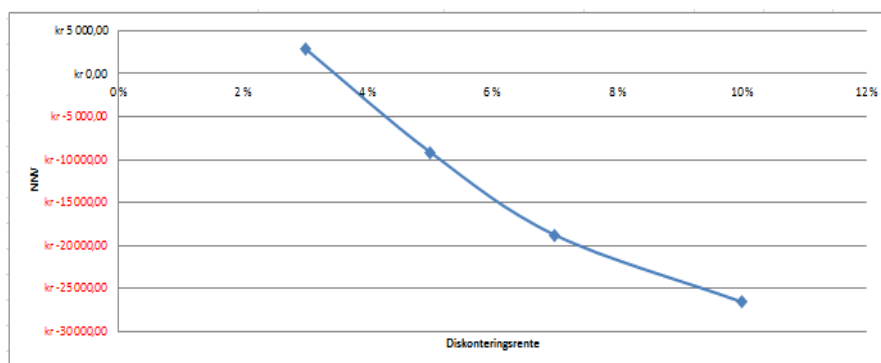
### Analyse med hensyn på diskonteringsrente

Endring i levetid

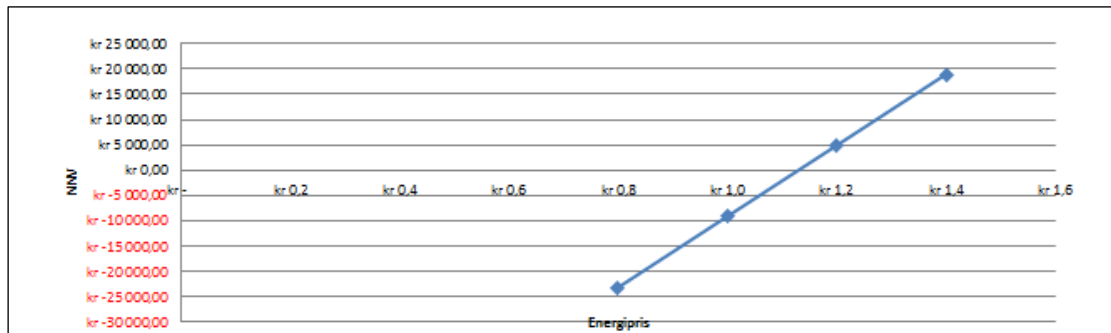


Figur 48 NNV med hensyn på Diskonteringsrenten ved levetid 25 år

Endring i energibruk

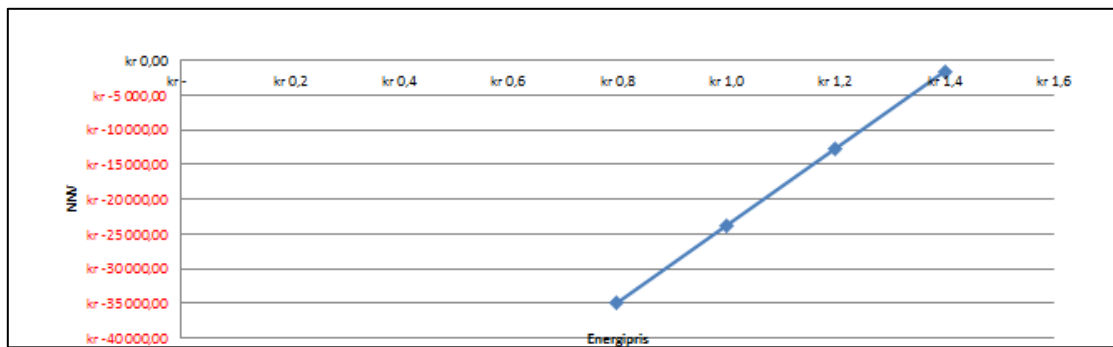


**Analyse med hensyn på Energipris**  
**energiforbruk ventilasjonsvarme**



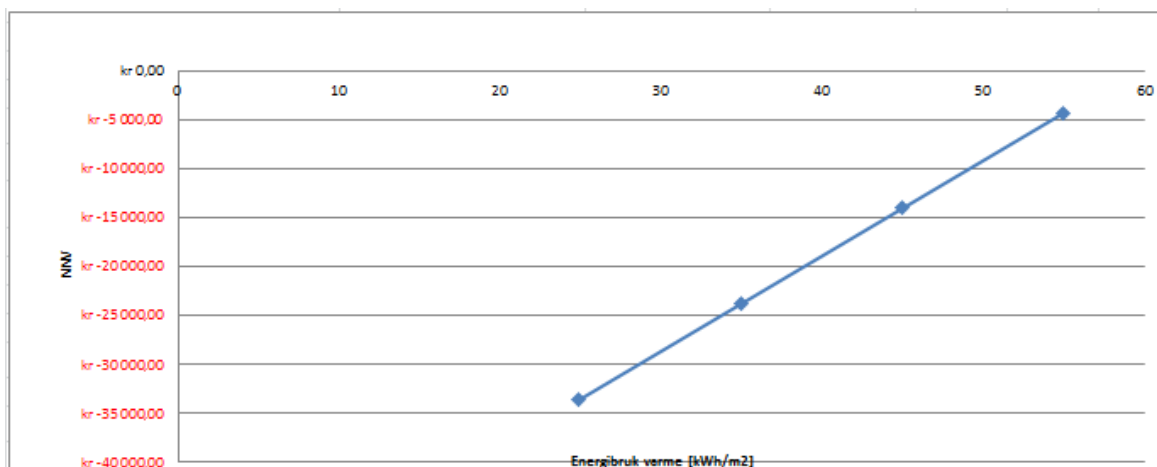
Figur 49 NNV med hensyn på energipris ved diskonteringsrente på 5 % og energiforbruk ventilasjonsvarme på 50 kWh/m<sup>2</sup>

**Endring i diskonteringsrenten**



Figur 50 NNV med hensyn på energipris ved diskonteringsrente på 3 % og levetid på 15 år

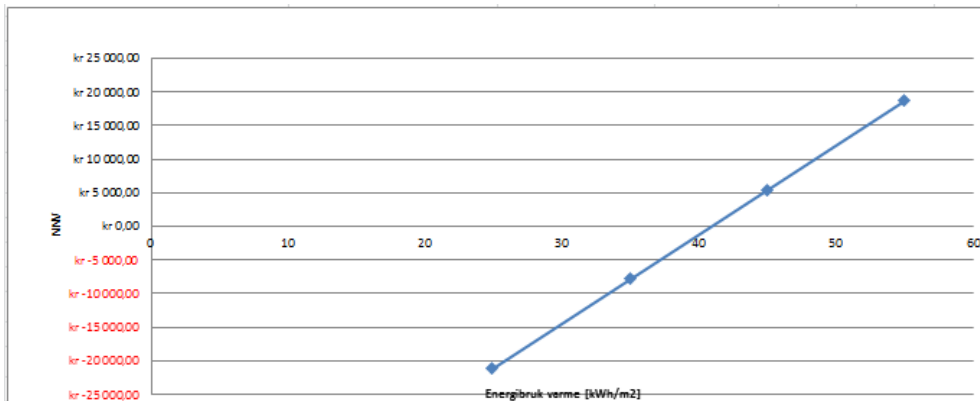
**Analyse med hensyn på Energibruk varme**  
**Ingen endring i parametere**



Figur 51 NNV med hensyn på energiforbruk ventilasjonsvarme ved diskonteringsrente på 5 % og levetid på 15 år

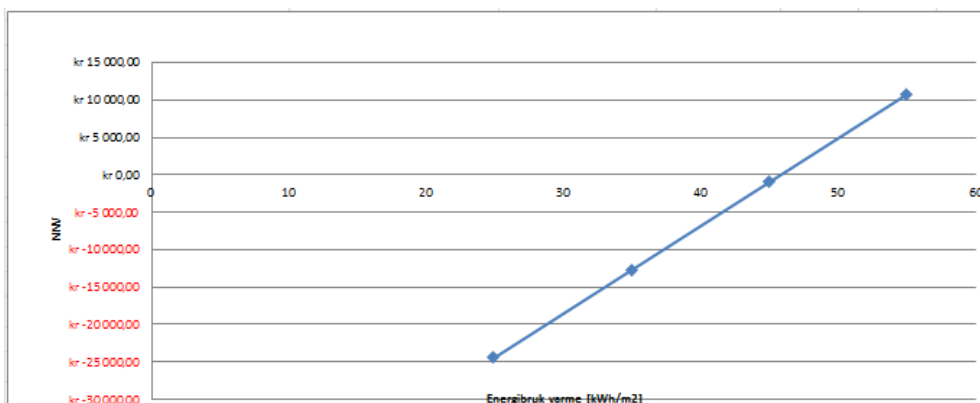


## Endring i levetid



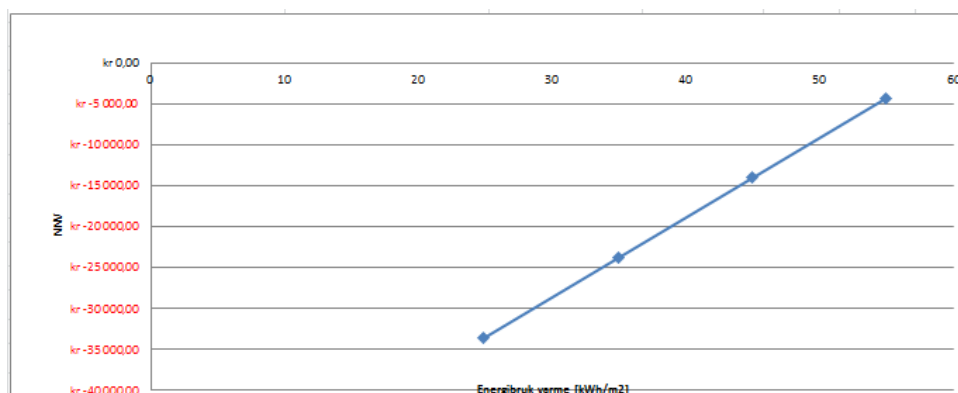
Figur 52 NNV med hensyn på energiforbruk ventilasjonsvarme ved diskonteringsrente på 5 % og levetid på 25 år

## Endring i energipris



Figur 53 NNV med hensyn på energiforbruk ventilasjonsvarme ved energipris på 1,2 kr/kWh og levetid på 25 år

## Endring på diskonteringsrente

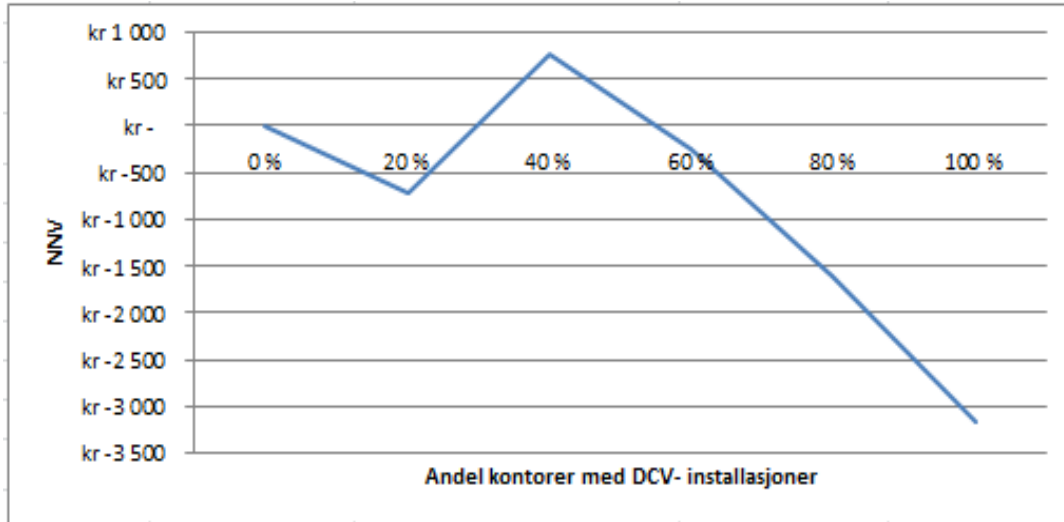


Figur 54 NNV med hensyn på energiforbruk ventilasjonsvarme ved diskonteringsrente på 3 % og levetid på 15 år

## Vedlegg E- Sensitivitetsanalyse med hensyn på kontorceller

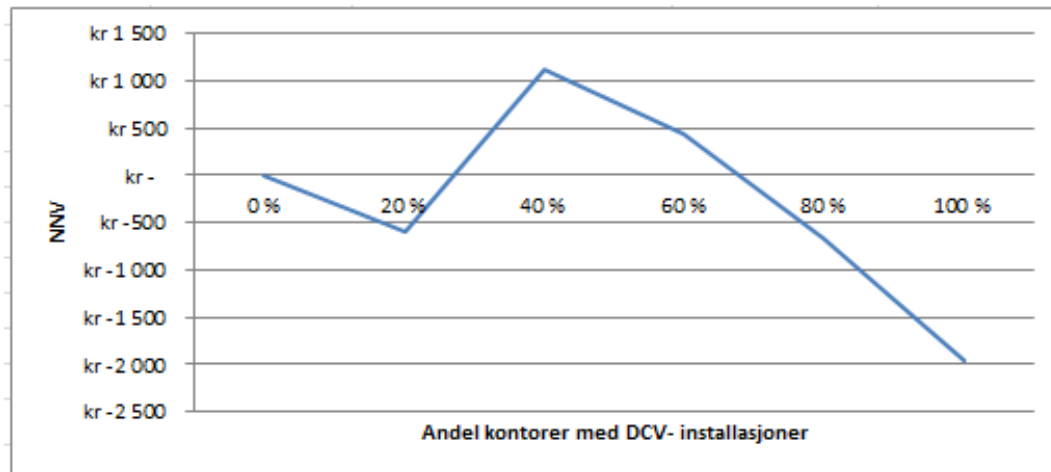
Vedlegg E viser de grafene som ikke ble vist i oppgaven. Grafene illustrerer hvordan lønnsomheten til behovsstyrt ventilasjon ser ut ved endring i parametere.

### Endring i energipris til 1,2 kr/kWh



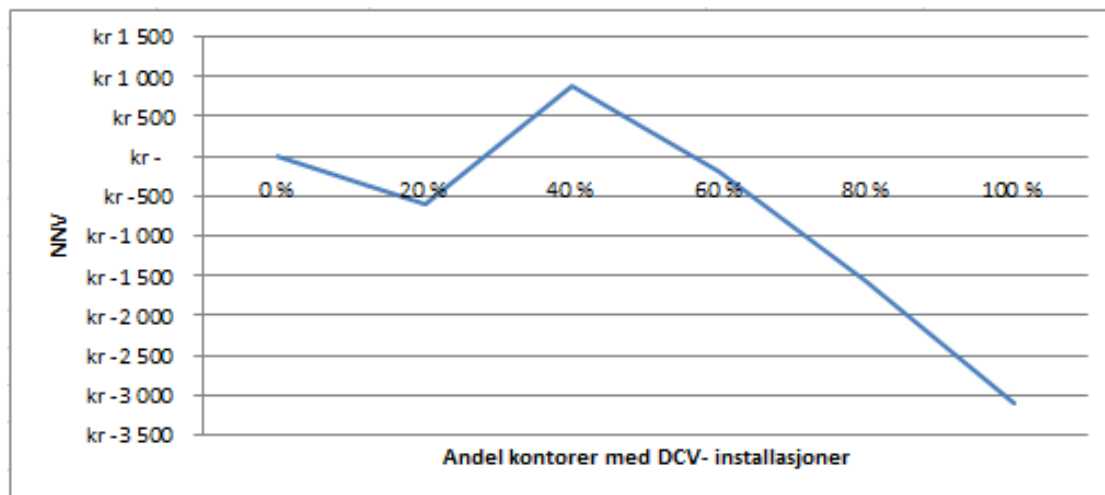
Figur 55 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner

### Endring i levetid til 25 år



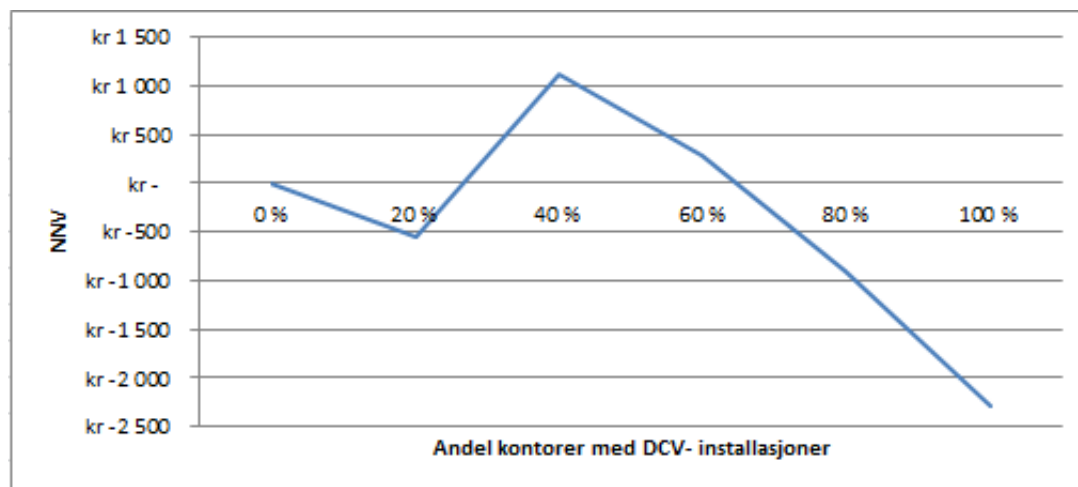
Figur 56 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner

### Endring i diskonteringsrente til 3 %



Figur 57 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner

### Endring i ventilasjonsvarmeforbruk til 50 kWh/kr



Figur 58 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner

## Vedlegg F- SWOT-analyse

Dette vedlegget skal presentere SWOT-analysen gjort i denne oppgave. Først skal det sies kort noe om hva en SWOT-analyse er før selve analysen blir presentert for både DCV-anlegget og CAV-anlegget.

### *Hva er en SWOT-analyse*

En SWOT-analyse er et rammeverk for å kunne analysere styrker, svakheter, muligheter og trusler. Denne analysen kan anvendes i flere områder. Mest vanlig er det i bedrifts og organisasjons sammenheng, men kan også brukes for å analysere produkter, tjenester, distribusjon osv. SWOT-analysen gir gjennom visualisering muligheter for å kunne se eget potensialet i forhold til eksterne rammebetingelser som grunnlag for beslutninger. [43]

Det ble laget en SWOT- analyse for det behovsstyrte anlegget og for konstant luftmengde-anlegget(se vedlegg F for selve analysen).

### *SWOT-analyse for DCV-anlegg*

<b>Interne styrker</b>	<b>Interne svakheter</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lavt endring i energiforbruk</li><li>• Lavere varme og kjøle forbruk</li><li>• God kontroll over termisk inneklime</li><li>• Sannsynligvis økt komfort</li><li>• Mindre materialbruk</li><li>• Mindre anlegg og høyere virkningsgrad på anlegg</li><li>• Høyere</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Høy investeringskostnad</li><li>• Må planlegges og prosjekteres nøye for optimal drift</li><li>• Risiko for høyt energiforbruk pga. høy tilstedeværelse</li><li>• Risiko for dårlig tilførsel av frisk luft</li><li>• Komplekse installasjoner</li><li>• Krever større driftskunnskap</li></ul>
<b>Eksterne muligheter</b>	<b>Eksterne trusler</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kan på lang sikt gi god lønnsomhet</li><li>• Redusert investeringskostnad på aggregat og kanaler</li><li>• Der hvor klimaet er kaldt og det kreves mye ventilasjonsvarme i store deler av året.</li><li>• Gjør at bygg kan klare framtidige myndighetskrav</li><li>• Areal besparing</li><li>• Alternativ bruk av det sparte arealet</li><li>• Bedre helse til ansatte</li><li>• Motiverte og fornøyde ansatte</li><li>• Miljø og klima forbedrende</li><li>• Bedre miljøprofil gir folk utenfra positive tanker om bygget og evt. bedriften</li><li>• Enova støtte</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lave energipriser kan føre til tap</li><li>• Ved mindre bygg under normale forutsetninger er tilbakebetalingstiden relativt lang</li><li>• Høye renter på investering</li></ul>

### SWOT-analyse for DCV-anelgg

<b>Interne styrker</b>	<b>Interne svakheter</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Lav investeringskostnad</li><li>• Lav vedlikeholdskostnad</li><li>• God kontroll over termisk innelima</li><li>• Nok tilførsel av friskluft</li><li>• Konstant energiforbruk</li><li>• Kan monteres på eksisterende bygg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Jevnt høyt energiforbruk</li><li>• Liten mulighet for intern kontroll</li><li>• Større slitasje på system</li><li>• Kan føre til for høy tilførsel av friskluft. Altså økt risiko for ubehagelig tørr luft</li><li>• Økt risiko for støy</li><li>• Økt risiko for trekk</li><li>• Plass problemer</li></ul>
<b>Eksterne muligheter</b>	<b>Eksterne trusler</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Investeringsbesparelsen gir muligheter til å satse på andre energieffektiviseringstiltak</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Svært dårlig økonomi ved høye energipriser</li><li>• Framtidige myndighetskrav kan gi problemer for bygg med CAV</li></ul>

## Vedlegg G- Forklaring på beregningsverktøy i Excel

Dette vedlegget skal først og fremst presentere hvordan verktøyet kan anvendes, hvordan den er bygd opp, og hvilke resultater som kommer ut av det. Herunder å forklare Inn/Utdata- arket og de viktigste Excel-funksjonene.

### Inndata

I det første arket i Excel-filen ligger inndata- og utdata informasjonen. Her kan brukeren legge inn data etter hvilke informasjon han/hun sitter på om bygget, og deretter få se grafisk og numerisk hvordan lønnsomhetskalkylene utarter seg. Ut i fra hvilket rom og hvor mange rom som er planlagt kan brukeren endre på data etter ønske. Feltene som spesielt er lagt opp til å kunne endres er markert i gult, se figur 19 under. Det enkelteste alternativet med å bruke dette verktøyet er kun å endre de gule feltene. Er det andre priser på komponenter eller annet ønske om luftmengde eller tilstedeværelse er det selvsagt mulig.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	<b>INNDATA</b>								
2									
3									
4		<b>Type rom</b>	<b>Antall/Sone</b>	<b>Areal [m2]</b>	<b>Totalt are:</b>	<b>Personbelastning m3/h m:</b>	<b>Tilstedeværelse</b>	<b>CAV</b>	<b>DCV</b>
5		Kontorer [10 m2]	6	10	60	12	0,5	1	0
6		Møterom	1	20	20	20	0,3	0	1
7		Oppholdsrom/kantine	1	20	20	15	0,2	0	1
8		Åpent landskap		20	0	12	0,7	0	1
9		kopirom etc	1	8	8	15	1	1	0
10		Lager	1	10	10	5	1	1	0
11		Kjøkken		20	0	35	1	1	0
12		Garderobe		10	0	12	1	1	0
13		WC	2	6	12	100	1	1	0
14		Teknisk rom	1	25	25	100	1	1	0
15		Korridorer	1	45	45	5	1	1	0
16									
17		<b>Sum</b>			<b>200</b>				
18									
19									
20		<b>Kostnader</b>							
21									
22		<b>Type kostnad</b>		<b>Totalt</b>		<b>Årlig energiforbruk Varme [kWh]</b>	<b>35</b>		
23		Aggregat og kanaler		kr 250 000		Energipris	kr 1,00		
24		Vedlikeholdskostnad pr år CAV [Kr/m2]	kr 3	kr 600		Diskonteringsrente	5%		
25		Vedlikeholdskostnad pr år DCV [Kr/m2]	kr 5	kr 1000		Levetid	15		
26									
27									
28		<b>Felleskostnad CAV og DCV</b>							
29		Plenumsammer	kr 1350						
30		tilluftsventil	kr 1375						
31		Frontpanel	kr 1614						
32		Avtrekk CAV	kr 352						
33									
34		<b>Kostnader DCV-utstyr</b>	Pris (inkl mva)						
35		VAV-regulator	kr 5250						
36		CO2/Temperatur sensor	kr 11798						
37		Bevegelses sensor	kr 1000						
38									

Figur 59 Inndataarket i Excel-verktøyet

Under feltene vedrørende rom og romtyper ligger variabler merket i gult. Disse er forholdsvis låste i skrivende stund, men kan endres hvis brukeren har andre meninger om dem. Spesielt det årlige ventilasjonsvarmeforbruket kan variere stort fra bygg til bygg. Foruten det, kan også brukeren ha andre formeninger om levetid til utstyret. Alt i alt, kan brukeren endre bare for å se hypotetisk hvordan resultatet endrer seg.

Under kostnader i inndataarket ligger den total aggregat og kanalkostnaden, priser på komponenter, og vedlikeholdskostnadene. Den total aggregat og kanalkostnaden kan legges inn etter ønske, dette feltet variere såpass mye at det ikke har vært tid til å utarbeide et verktøy for å beregne denne kostnaden. Videre er vedlikeholdskostnadene beregnet ut i fra kr pr kvadratmeter for de to alternativene, og er avhengig av det totale arealet for anlegget. Til slutt ligger prisene for hver enkel

komponent. De fleste prisene er basert på prislister til leverandører, mens noen er blitt tilpasset for å kunne anvende de i denne beregningsmodellen.

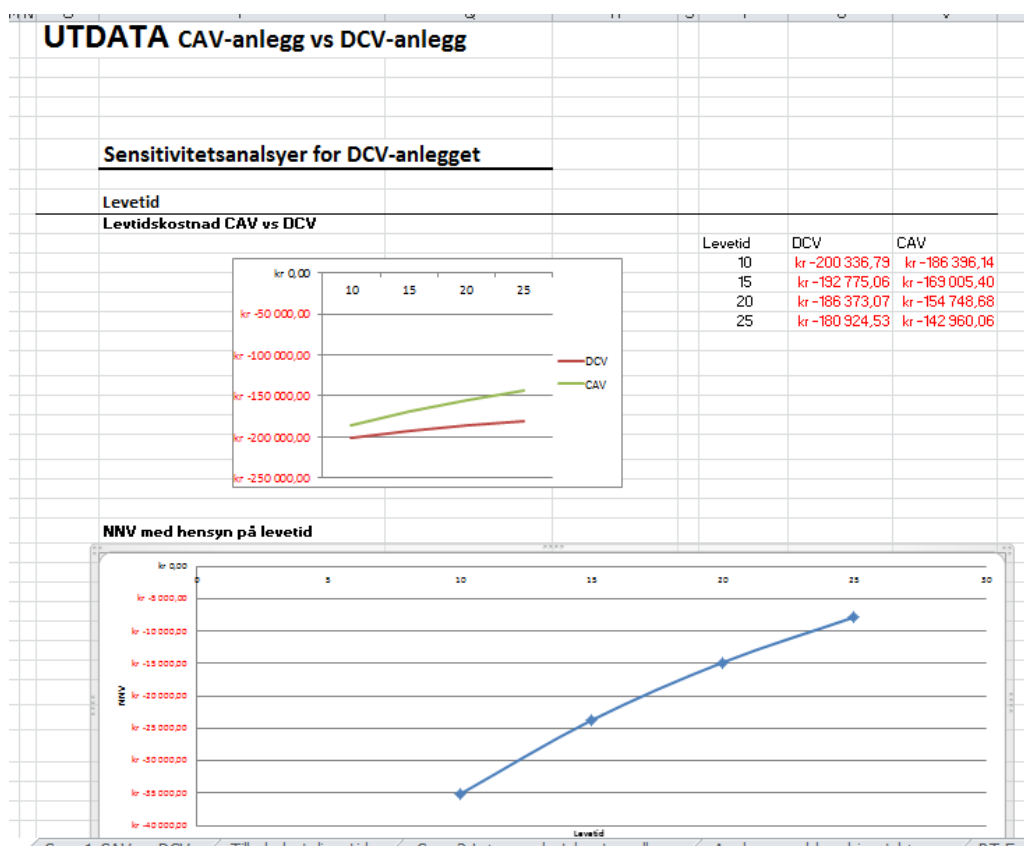
### Utdata

I feltene til høyre for inndata informasjonene ligger 3 Utdata, felt etter hverandre mot høyre. Følger samme rekkefølge som i rapporten: Først CAV-anlegg vs DCV-anlegg, og så analyse med hensyn på kontorceller.

#### Case1: CAV-anlegg vs DCV-anlegg

Inndata som blir lagt inn går direkte til i dette Excel-arket og gir beregner så investeringskostnadene for CAV-anlegget og for DCV-anlegget. Investeringssummen avhenger av antall rom og hvilket rom som befinner seg i bygget. Priskalkulasjonene er laget slik at hver romtype er gitt hvert sitt nødvendige utstyr for de to ventilasjonsalternativene. Noen komponenter trengs det for eksempel to av. Summen av alle rom og deres kostnader går direkte inn i levetidkostnadsanalysen.

Utdata til sensitivitetsanalysen illustreres i figur 20. Her vises hvordan resultatet og sensitiviteten ser ut for hver av de parameterne som påvirker lønnsomheten. Øverst kommer resultatet med hensyn på levetid. For hver av de fire parameterne (levetid, ventilasjonsvarmeforbruk, diskonteringsrente og energipris) er det en graf som viser direkte forskjellen mellom CAV og DCV og en graf som viser sensitiveten for netto nåverdien til DCV-anlegget. Til sist ligger det et stjernerdiagram og tilbakebetalingstidsdata. Stjernerdiagrammet skal gi informasjon om sensitiviteten til de ulike parameterne mens tilbakebetalingstidsdataen skal fortelle når den behovsstyrte investeringen går i null for de nevnte parameterne. Figur 21 viser tilbakebetalingsdataen.



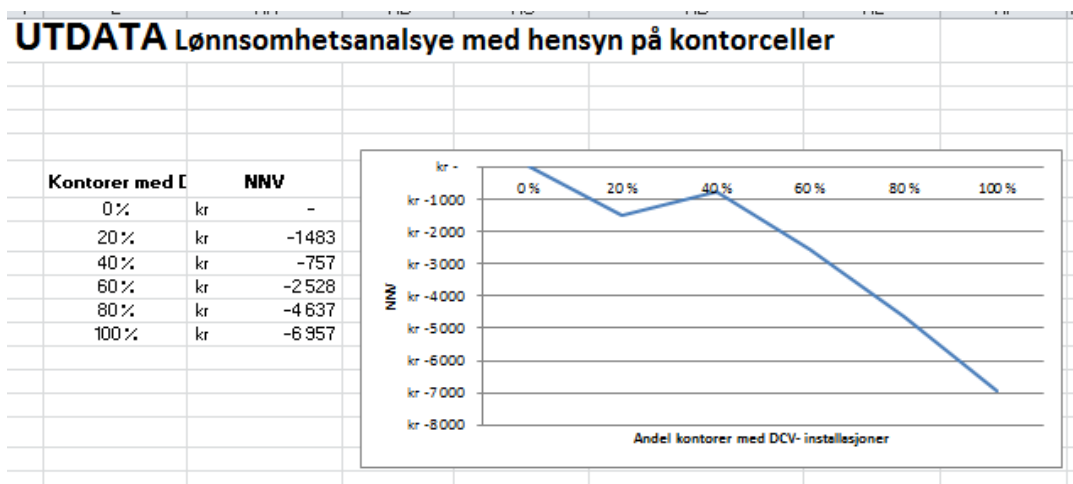
Figur 60 Utdata for CAV-anlegg vs DCV-anlegg

Tilbakebetalingstid	
<b>Endret parametere</b>	<b>Tilbakebetalingstid</b>
Normal	# /T
Energipris 1,2 kr/kWh	19,5
Diskonteringsrente 3%	19,3
Ventilasjonsvarmeforbruk høyt over normalt	16,1

Figur 61 Tilbakebetalingstid

### Case 2: Lønnsomhetsanalyse med hensyn på kontorceller

Beregnet på samme prinsipper som i Case 1, men her er det kun priser på kontorcellene som anvendes. Andel kontor med DCV-installasjoner en viktig faktor. For hver av de andelen DCV-kontorer gitt er det beregnet ut i fra det. Figur 22 vises analysen kun basert på kontorcellene lagt inn i inndata feltet. Tallene til venstre viser prosentvis andel kontorer med DCV-installasjoner og tilhørende NNV.



Figur 62 Endring i netto nåverdi/levetidskostnad ved endring i antall DCV-installasjoner