



# IOE | BuildingDesign

Totaløkonomi som værktøj ved valg af ventilationsløsninger

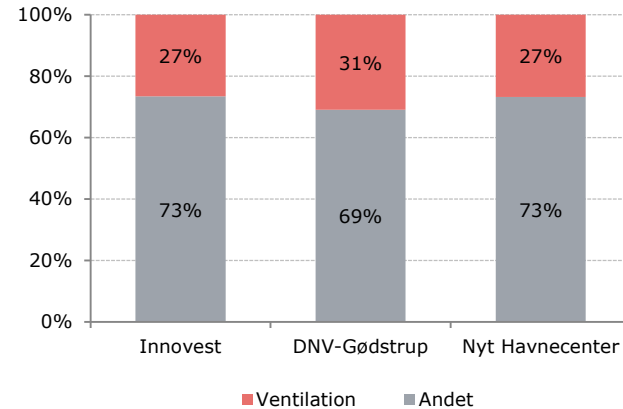
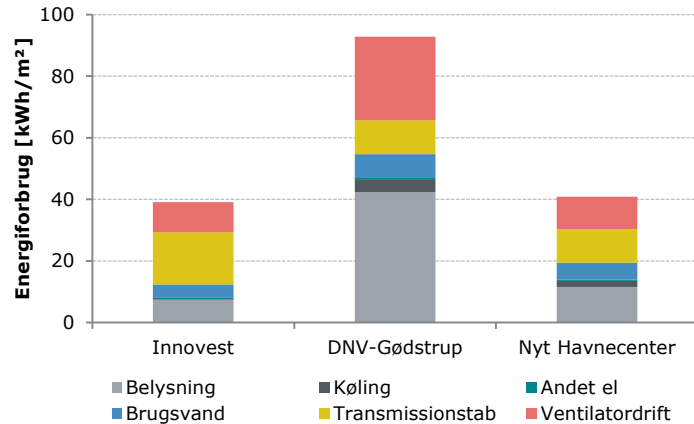
Mads H. Wagner

**Op mod 30 %**

af bygningers driftsenergi  
går til ventilatordrift

# Andel af energiforbrug til ventilation

- Eksempler på fordeling af energiforbrug baseret på energirammeberegninger (BE 10, Aktuelle forhold)



# Lovgrundlag og tendenser

Hvilke regler gælder?

# Lovgrundlag §

- Bekendtgørelse nr. 1179 af 4. oktober 2013 om kvalitet, OPP og totaløkonomi i offentligt byggeri styrker indsatsen for anvendelse af totaløkonomiske værktøjer som beslutningsgrundlag
  - *§ 4. Egentlige totaløkonomiske beregninger skal indgå i totaløkonomiske vurderinger, der foretages ved byggearbejder, således at der foretages beregning af nutidsværdien af de samlede udgifter til opførelse og drift i forhold til levetid. Der skal som minimum foretages beregninger for energiforbrug*
- Kravet gælder for statslige bygherrer hvor entreprisesummen er større end 5 mio. kr. og 20 mio. kr. for regioner og kommuner
- Der skal foretages relevante vurderinger med flest mulige beregninger i forbindelse med valg af løsninger, der har indflydelse på energiforbruget.
- Dokumentationskrav og metode kan afhænge af bygherre (privat, regioner, kommuner, bygningsstyrelsen, Almene boligselskaber mv.)

# Lovgrundlag §

- Jf. Almenboligloven skal der ifm. indberetning af skema B være udført totaløkonomiske vurderinger (siden 1998)
  - Beregninger udføres med *Totaløkonomi 4.0*

# Tendenser i branchen

- Certificeringsordninger som BREAM, LEED og DGNB fremmer brugen af totaløkonomiske beregninger i branchen
- FN's verdensmål
- Frivillig bæredygtighedsklasse (i støbeskeen)
- Fokus på Facility Management (FM) og Commissioning processer
- Kommunale og regionale indsatser for energibesparelse og reducere af CO2 (Ex. Aarhus kommune, Aa+)
- Let tilgængelige værktøjer for udførelse af totaløkonomiske beregninger (LCC byg, Totaløkonomi 4.0 (LBF), SystemairCAD LCC mv.)
- Europæisk udbudsdirektiv muliggør totaløkonomi som tildelingskriterium frem for laveste pris

# Barrierer

- Der er ikke krav om at totaløkonomien skal diktere valg af løsninger i en byggesag, hvilket kan give anledning til at der udføres beregninger for beregningernes skyld
- Anlægsbudgetter er ofte fastlagt inden der udføres totaløkonomiske vurderinger
- Anlægs- og driftsbudgetter håndteres adskilt
- For offentlige byggerier kan korte investeringshorisonter og mere konservative kalkulationsrenter som rammevilkår hæmme totaløkonomisk rentable investeringer som er mere langsigtede
- Det kræver indsigt i metode og forudsætninger for inputparametre (trash in → trash out)
- Kan være tidskrævende



# LCC Crash Course

## Introduktion til totaløkonomi

# Introduktion til Totaløkonomi

- Totaløkonomi (Life Cycle Costing)
- Valg af løsninger ud fra en helhedsbetragtning
  - Anlægsomkostninger
  - Forsyning og drift
  - Vedligehold og genopretning
  - *Renhold*
- Sammenligning af alternative løsninger efter nutidsværdien

## Løsning 1

Høje anskaffelsesomkostninger, lave driftsomkostninger.



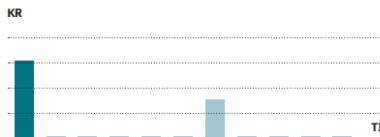
## Løsning 2

Lave anskaffelsesomkostninger, høje driftsomkostninger.



## Løsning 3

Middelstore anskaffelsesomkostninger, meget lave driftsomkostninger, men med udskiftning undervejs.



## Procentuel fordeling af omkostninger på anlæg og drift

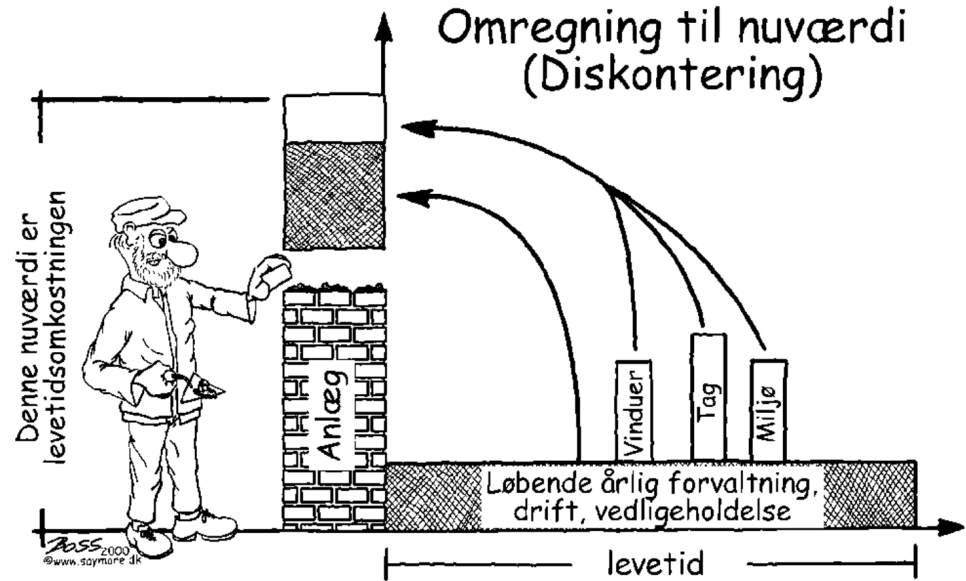
● Anlæg ● Drift



Kilde: Introduktion til LCC på bygninger, Energistyrelsen

# Introduktion til Totaløkonomi

- Nutidsværdi
  - Sammenligningsgrundlag
  - Tilbagediskontering af fremtidige pengestrømme
  - Fokus på omkostninger over tid

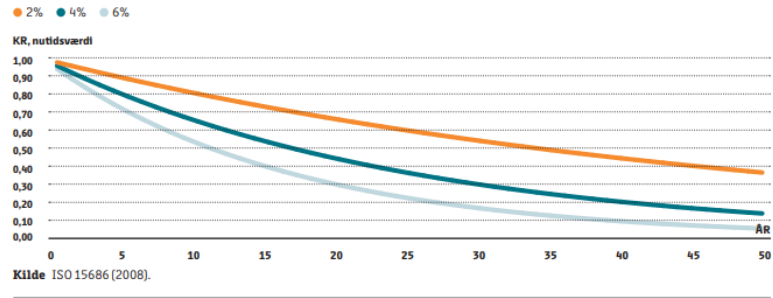


Kilde: Haugbølle Hansen et al. (2000)

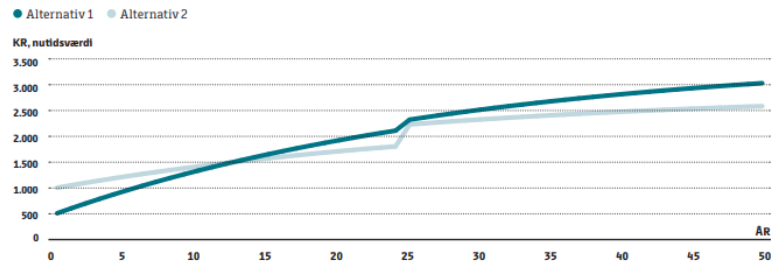
# Introduktion til Totaløkonomi

- Nutidsværdi
  - Tilbagediskontering af fremtidige pengestrømme
  - Fokus på omkostninger over tid
- Afgørende faktorer
  - Kalkulationsrente (varierer)

Nutidsværdien af en krone over tid, ved kalkulationsrente på 2, 4 eller 6%



Eksempel



Kilde: Introduktion til LCC på bygninger, Energistyrelsen

# Introduktion til Totaløkonomi

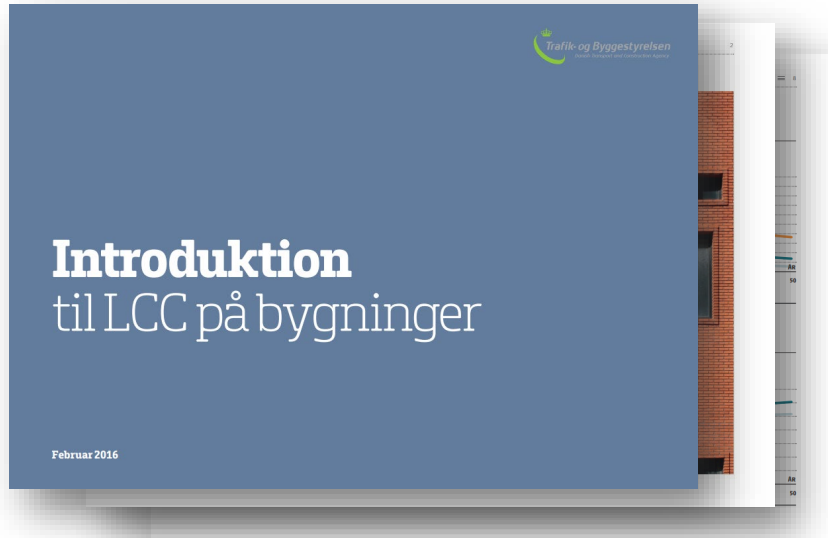
- Nutidsværdi
  - Tilbagediskontering af fremtidige pengestrømme
  - Fokus på omkostninger over tid
- Afgørende faktorer
  - Kalkulationsrente (varierer)
  - Prisudvikling og referencegrundlag

Begreb	Kategori	Anbefaling
Kalkulationsperiode		50 år
Prisudvikling	Generelt	2,0%
Prisudvikling – energi (real)	Fjernvarme	0,86%
	Gas	-0,89%
	Flydende brændsel	4,13%
	Fast brændsel	-0,34%
	El	1,59%
Prisudvikling – øvrige omkostninger (real)	Renovation	1,36%
	Vandforsyning	1,92%
	Vandafledningsafgift	5,24%
Prisudvikling – reparation og vedligeholdelse (real)	Reparation og vedligeholdelse	0,34%
Kalkulationsrente (real)	Offentlige bygherrer	År 1 – 35: 4,0% År 36 – 70: 3,0% Efter år 70: 2,0%
Kalkulationsrente (real)	Generelt	3,0%
Genopretningsprocent	Bygningsdele efter SFB-systemet	125%
Levetider	Bygningsdele efter SFB-systemet	SBI-rapport 2013: 30
Kontoplan	Hovedomkostningsgrupper	Anskaffelsesomkostninger Drift og vedligehold (af bygningsdele) Forvaltning Forsyning Renhold

Kilde: Introduktion til LCC på bygninger, Energistyrelsen

# Introduktion til Totaløkonomi

- Læs mere på [www.trafikstyrelsen.dk](http://www.trafikstyrelsen.dk)



# Et teknisk indblik

## Energiforbrug ved reduceret luftmængde

# Energiforbrug ved reduceret luftmængder

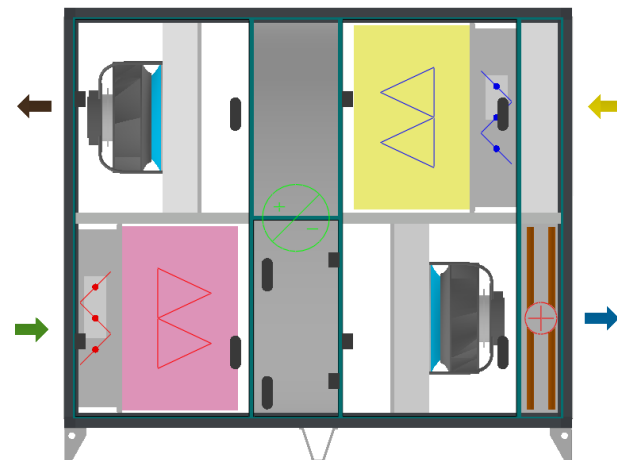
## Alternative arbejds punkter

	Airflow		Heat exchanger, efficiency		SFPv value	SFPe value	Operation
	Supply, m <sup>3</sup> /h	Extract, m <sup>3</sup> /h	Temperature	Humidity	Including frequen...	Including frequen...	% of annual opera...
2: Geniox 18							
Dimensioning working point	9000.00	9000.00	82.7	73.0	1.66	1.82	3
Working point 2	8100.00	8100.00	83.6	74.1	1.49	1.65	5
Working point 3	7200.00	7200.00	84.4	75.2	1.35	1.50	12
Working point 4	6300.00	6300.00	84.9	76.3	1.22	1.38	10
Working point 5	5400.00	5400.00	85.5	77.4	1.12	1.28	15
Working point 6	4500.00	4500.00	86.0	78.5	1.04	1.20	5
Working point 7	3600.00	3600.00	85.5	79.7	0.98	1.15	20
Working point 8	2790.00	2790.00	85.0	80.7	0.96	1.16	30

## Gennemsnits værdier

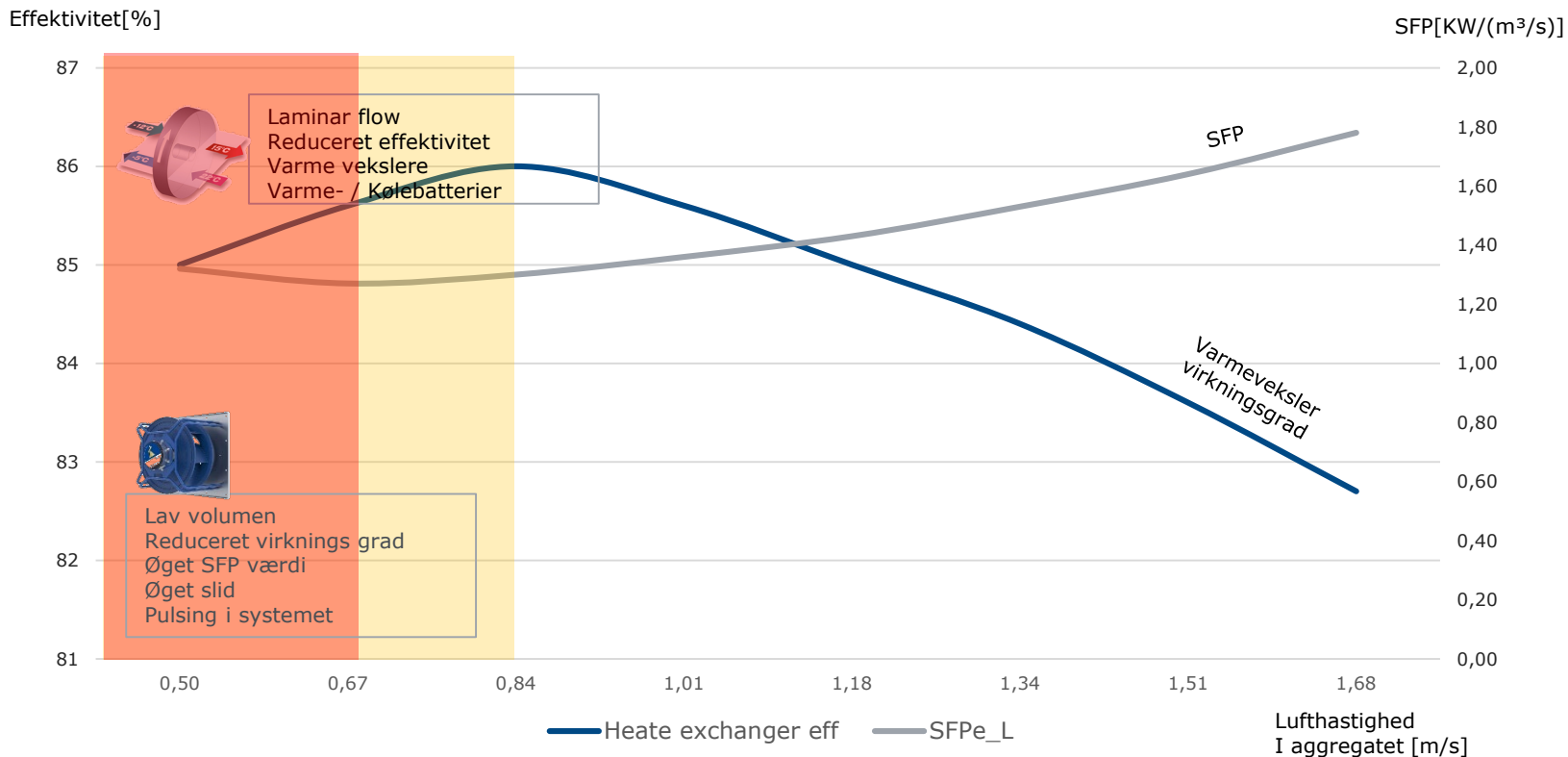
### Energy calculation

Average heat recovery:	85	%
Average SFPv (Clean filters):	1.11	kW/(m <sup>3</sup> /s)
Average SFPe (By dimensioning filter pressure):	1.29	kW/(m <sup>3</sup> /s)
Energy class	A+	





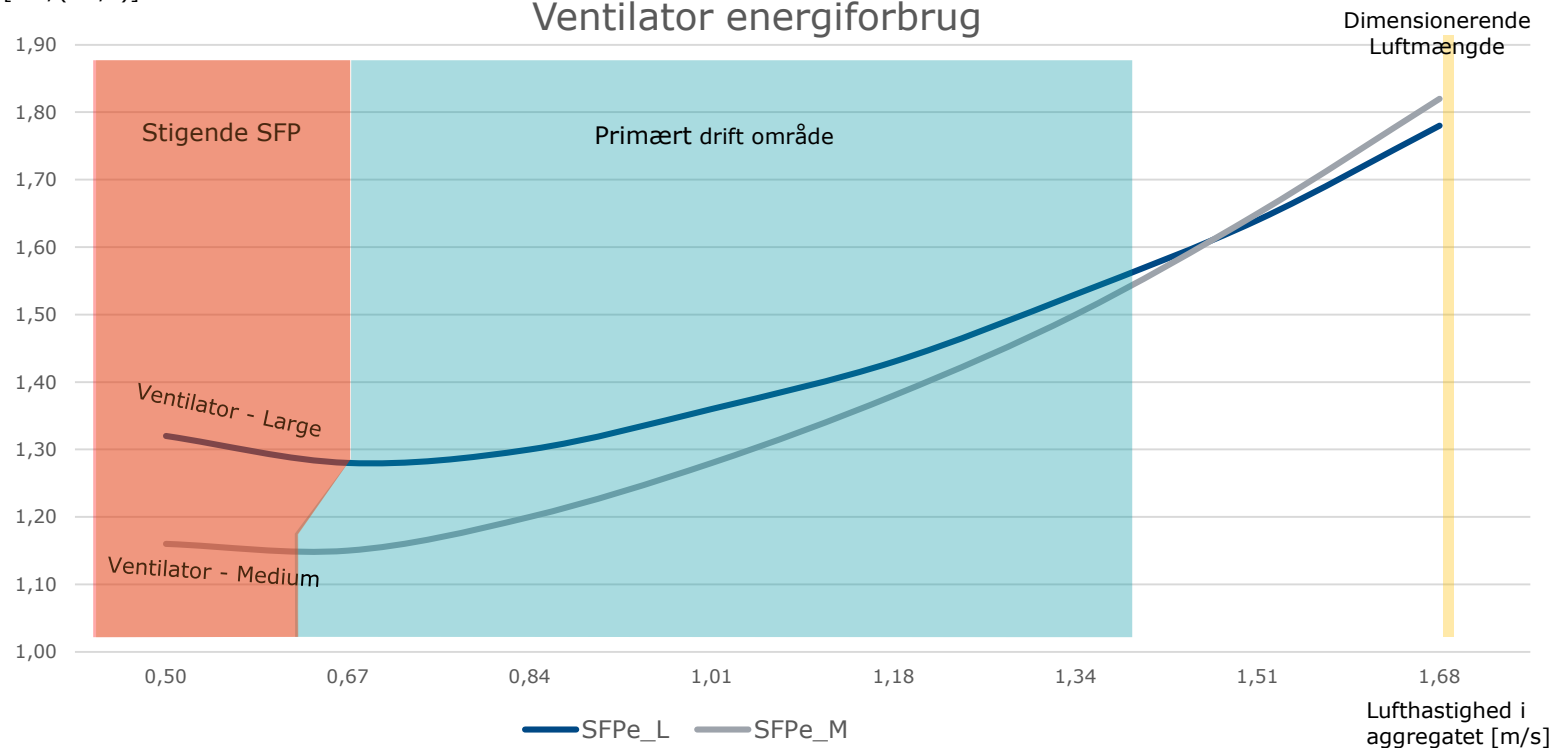
# Energiforbrug ved reduceret luftmængder



# Energiforbrug ved reduceret luftmængder

SFP[KW/(m<sup>3</sup>/s)]

## Ventilator energiforbrug



# SystemairCAD LCC

Udvikling af dynamisk værktøj

# Indledende overvejelser

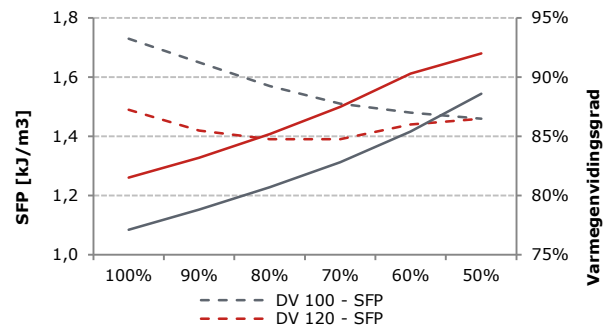
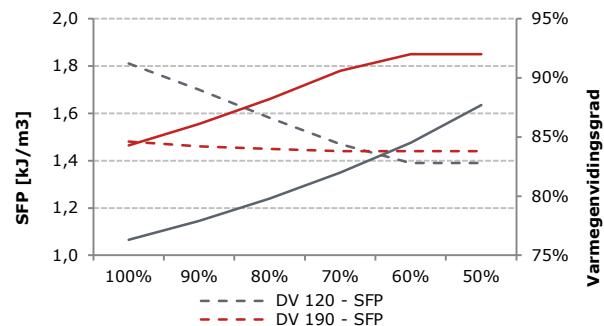
- Inputparametre til mekanisk ventilation i BE18 beregningen baseres på gennemsnitlige værdier
- Tidligere har der været en større tendens til altid at anvende den maksimalt beregnet værdi i BE18 – giver ikke et retvisende billede af ventilationens energiforbrug
- Der er således brug for mere reelle værdier til vores energiberegninger, da stramninger i bygningsreglementet generelt har betydet at alle parametre skal optimeres.
- Synergi effekt i at det beregnes i SystemairCAD, da det allerede bruges til design af aggregater.
- Mulighed for at se på forskellige designs af aggregat og sammenligning af varierende scenarier gennem en log baseret på totaløkonomiske beregninger

# Indledende overvejelser

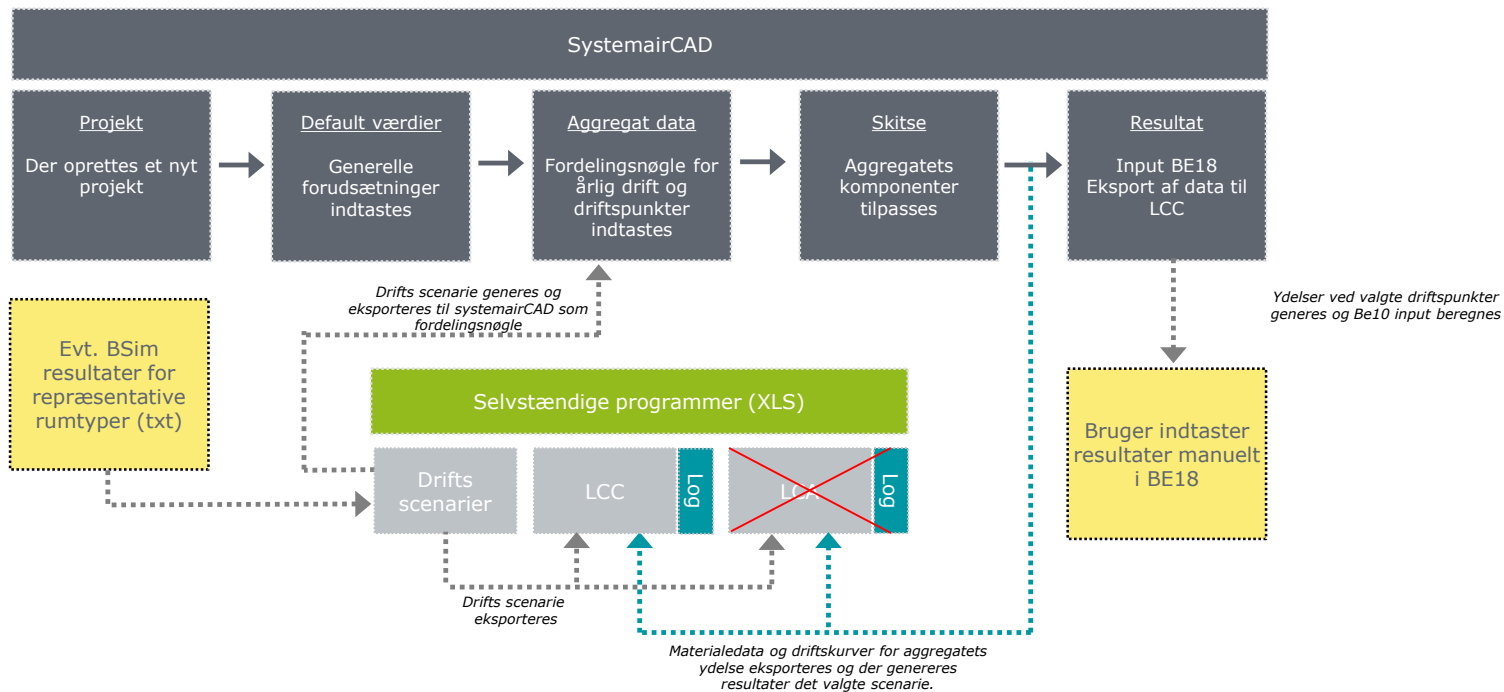
- Behov for kvalificering af totaløkonomiske betragtninger og mere detaljerede evalueringer af anlæggets performance
  - Skærpede komponentkrav gennem den frivillig Bygningsklasse 2020
  - Lånebevillinger til kvalitetsfondsstøttede sygehusbyggerier ved opkvalificering til Bygningsklasse 2020.
  - Eksisterende metoder gør det vanskeligt at sammenlignede konkrete løsninger og variationer direkte
  - Sammenkobling af dimensioneringsværktøj, driftsprofiler og totaløkonomiske evalueringer

# Indledende analyser – betydende faktorer

- Driftskurver for SEL og VGV er ikke retlinede
  - Stor betydning for korrekt beregning af gennemsnitligt årsværdier
- Udetemperaturens indvirkning på varmegenvindingsgraden og ikke mindst køle- og varmebehovet
- Driftsscenarioet for ventilationsaggregatet har stor betydning for totaløkonomien



# Procesdiagram / arbejdsflow



# SystemairCAD LCC

1: Danvent D

Projekt

Default værdi

Aggregatdata

**Skitse**

Resultat

Energi

Pris

Udskrift og Vi

Alternativt arbejdspunkt

Alternativt arbejdspunkt

Dimensionerende a

Arbejdspunkt 2

Arbejdspunkt 3

Arbejdspunkt 4

Arbejdspunkt 5

Arbejdspunkt 6

Arbejdspunkt 7

Arbejdspunkt 8

Min. Luft ydelse

Drifttimer for året

Beregning til g

Driftscenario:

Forklaring:

Trin 1: Lav LCC s

Trin 2: Importér de

Trin 3: Beregn dil

OK

	LCC Calc 01	LCC Calc 02	LCC Calc 03	LCC Calc 04
<b>Overview LCC</b>				
<b>Investments, Present values</b>				
Purchase	kr 325.000	kr 406.000	kr 423.000	kr 412.000
Operational costs	kr 2.286.590	kr 2.046.789	kr 2.124.735	kr 1.977.207
Maintenance	kr -	kr -	kr -	kr -
<b>Total</b>	<b>kr 2.611.590</b>	<b>kr 2.452.789</b>	<b>kr 2.547.735</b>	<b>kr 2.389.207</b>
<b>Operational costs, year one</b>				
Fan power	kr 93.291	kr 83.293	kr 86.740	kr 79.559
Cooling Coil	kr 4.163	kr 4.120	kr 4.120	kr 4.120
Heating Coil, district heating	kr 759	kr 500	kr 401	kr 1.245
Heating Coil, electrical	kr -	kr -	kr -	kr -
Integrated Cooling	kr -	kr -	kr -	kr -
Humidifier	kr -	kr -	kr -	kr -
Sum of other component	kr -	kr -	kr -	kr -
<b>Total</b>	<b>kr 98.212</b>	<b>kr 87.913</b>	<b>kr 91.260</b>	<b>kr 84.924</b>
<b>Maintenance, year one</b>				
	kr -	kr -	kr -	kr -
<b>Life expectancy and operation</b>				
Life expectancy (Average)	Years 0	Years 0	Years -	Years -
Annual operation	Hours 8760	Hours 8760	Hours 8.760	Hours 8.760
<b>Main expense categories</b>				

**Coil night ventilation**

Yes

No

Bløt	Est set
0,00	0,00
0,50	0,50
1,00	1,00
1,50	1,50
2,00	2,00
2,50	2,50
3,00	3,00

SEL = Specifikt EL for

TLV = Tilluft ventilator

FLV = Fraluft ventilator

systemair

www.systemair.com

Projektnavn: Tibudsnummer: Ordrenummer:

Systemair A/S - Produktvalgsprogram - SystemairCAD 2.0

<https://www.youtube.com/watch?v=m-FxuvpVIZg&feature=youtu.be>





# SystemairCAD LCC

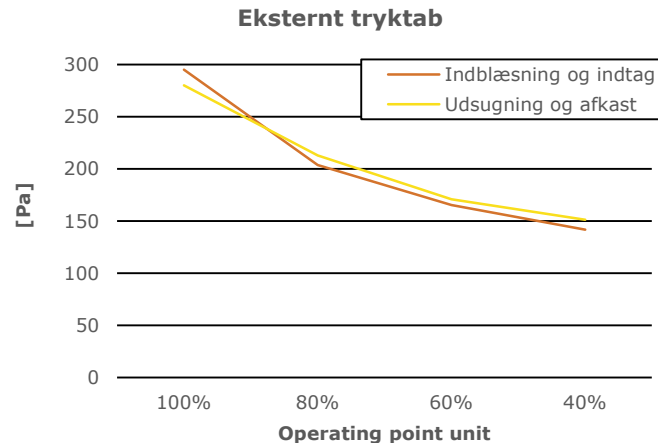
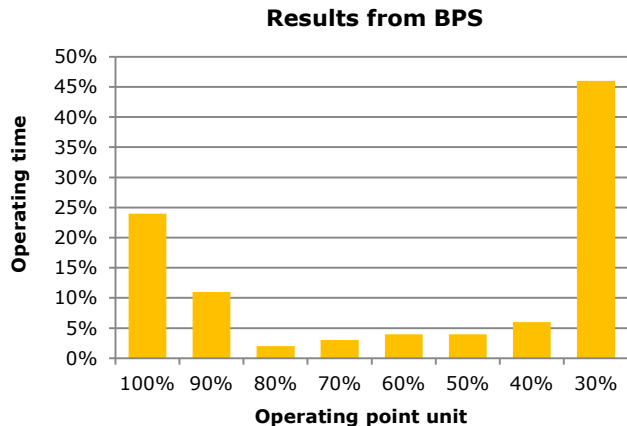
- Vigtige funktioner
  - Totaløkonomiske vurdering efter kendte metoder (Nutidsværdi)
    - Investering, forsyning og drift og genopretning
    - Variable forudsætninger (Prisudvikling, kalkulationsrente, geninvestering mv.)
  - Mulighed for sammenligning af op til 4 forskellige scenarier
    - Giver et langt bedre grundlag for valg af løsning/strategi
    - Dokumentationsgrundlag for certificeringsordning mv.
  - Simple opsætning af driftsscenarioer
    - Manuel indtastning eller på baggrund af repræsentative indeklimasimuleringer
  - Dokumentation for vurderinger af årsmiddel værdier for VGV og SEL
    - → Mere retvisende input til energirammeberegninger (BE18)
  - Energioptimeringer under hensynstagen til anlægs- og driftsøkonomi

Anvendelse i praksis  
Eksempel på beregning

# Anvendelse i praksis

## Hospital, sengeafsnit (Bygningsklasse 2020 efter BR10)

- SEL værdi  $\leq 1,5$  kJ/m<sup>3</sup> (dim. forhold) alternativt  $\leq 1,8$  kJ/m<sup>3</sup> (dim. forhold) hvis årsmiddel  $\leq 1,2$  kJ/m<sup>3</sup>
- Fuld driftstid på 8760 timer
- BPS baseret på repræsentative beregninger for afsnittet
- Eksternt trykfald beregnet ved 40, 60, 80 & 100 % luftmængde i MagiCAD
- Totaløkonomisk vurdering af optimeret energiforbrug



# Anvendelse i praksis

Hospital, sengeafsnit

- Reduceret SEL-værdi ved større aggregat
- Optimering af SEL-værdi ved optimering af komponenter i flere steps

Optimering af aggregatet

Maksimal SFPv værdi 1.5 kW/(m³/s). Minimum varme genvinding 80%.

Aggregatbeskrivelse	SFPv værdi [kW/...]	Varme vekslr, effe...	Energi klasse	Ventilatorhjulsdiam...	Motortype
Danvent DV120	1.84	78.50	A	S-RH80C	IE3, AC motor
Danvent DV120	1.78	78.50	A	L-2xRH71C	IE3, AC motor
Danvent DV120	1.77	78.50	A	M-RH90C	IE3, AC motor
Danvent DV120	1.73	78.50	A	S-RH80C	IE4, PM-Motor
Danvent DV120	1.70	78.50	A	M-2xGR63C	EC motor
Danvent DV120	1.66	78.50	A+	S-2xGR56C	EC motor
Danvent DV120	1.65	78.50	A+	L-2xRH71C	IE4, PM-Motor
Danvent DV120	1.64	78.50	A+	M-RH90C	IE4, PM-Motor
Danvent DV120	1.60	78.50	A+	L-3xGR56C	EC motor

OK Annuller

Systemair  
www.systemair.com  
c:\users\inhr\dropbox\systemaircad\danvak\danvak.dagen 2019\dv100\_sceneane 01.dwf  
Projektnavn: Tilbudsnummer: Ordrenummer:  
Systemair A/S - Produktvalgsprogram - SystemairCAD 2.0

# Anvendelse i praksis

Overview LCC		LCC Calc 01	LCC Calc 02	LCC Calc 03	LCC Calc 04
<b>Investments, Present values</b>					
Purchase	kr	325.000	406.000	423.000	412.000
Operational costs	kr	2.286.590	2.046.789	2.124.735	1.977.207
Maintenance	kr	-	-	-	-
<b>Total</b>	kr	<b>2.611.590</b>	<b>2.452.789</b>	<b>2.547.735</b>	<b>2.389.207</b>
<b>Operational costs, year one</b>					
Fan power	kr	93.291	83.293	86.740	79.559
Cooling Coil	kr	4.163	4.120	4.120	4.120
Heating Coil, district heating	kr	759	500	401	1.245
Heating Coil, electrical	kr	-	-	-	-
Integrated Cooling	kr	-	-	-	-
Humidifyer	kr	-	-	-	-
Sum of other component	kr	-	-	-	-
<b>Total</b>	kr	<b>98.212</b>	<b>87.913</b>	<b>91.260</b>	<b>84.924</b>
<b>Maintenance, year one</b>	kr	-	-	-	-
<b>Life expectancy and operation</b>					
Life expectancy (Average)	Years	0	0	-	-
Annual operation	Hours	8760	8760	8.760	8.760
<b>Main expense categories</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Maintenance kr</li> <li>■ Operational costs kr</li> <li>□ Purchase kr</li> </ul>					
		1	2	3	4

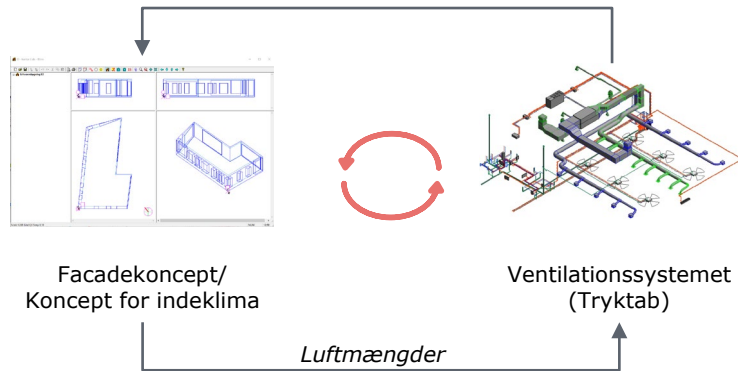
# Anvendelse i praksis

Operational scenario					
<b>General information</b>					
Total airflow pr. unit	<i>m<sup>3</sup>/h</i>	21600	21600	21600	21600
Cooling recovery	-	No	No	No	No
CI Coil night ventilation	-	No	No	No	No
Difference inlet/extract	%	0%	0%	0%	0%
<b>Daytime vent, average</b>					
Summer	%	91%	91%	91%	91%
Winter	%	43%	43%	43%	43%
Spring/Autumn	%	71%	71%	71%	71%
<b>Night vent, average</b>					
Summer	%	76%	76%	76%	76%
Winter	%	0%	-	-	-
Spring/Autumn	%	51%	51%	51%	51%
<b>Operating time</b>					
Operating hours pr. year	<i>Hours</i>	8760	8760	8760	8760
Weekdays	-	-	-	-	-
Weeks of holiday closed	-	-	-	-	-
<b>Yearly distribution in relation to the working point</b>					
100%		24%	24%	24%	24%
90%		11%	11%	11%	11%
80%		2%	2%	2%	2%
70%		3%	3%	3%	3%
60%		4%	4%	4%	4%
50%		4%	4%	4%	4%
40%		6%	6%	6%	6%
30%		46%	46%	46%	46%

Operative conditions					
<b>Indoor air temperature</b>					
Winter	°C	22,0	22,0	22,0	22,0
Summer	°C	22,0	22,0	22,0	22,0
Spring/Autumn	°C	22,0	22,0	22,0	22,0
<b>Supply air temperature</b>					
Winter	°C	22,0	22,0	22,0	22,0
Summer	°C	18,0	18,0	18,0	18,0
Spring/Autumn	°C	21,0	21,0	21,0	21,0
<b>External pressure drop</b>					
<i>Working point</i>					
100%	Pa	315 / 315	315 / 315	315 / 315	315 / 315
90%	Pa	324 / 324	324 / 324	324 / 324	324 / 324
80%	Pa	256 / 256	256 / 256	256 / 256	256 / 256
70%	Pa	196 / 196	196 / 196	196 / 196	196 / 196
60%	Pa	144 / 144	144 / 144	144 / 144	144 / 144
50%	Pa	100 / 100	100 / 100	110 / 110	110 / 110
40%	Pa	85 / 85	85 / 85	85 / 85	85 / 85
30%	Pa	80 / 80	80 / 80	80 / 80	80 / 80
<b>SFP values</b>					
Average SFP value	kJ/m <sup>3</sup>	1,78	1,61	1,25	1,15
<i>Working point</i>					
100%	kJ/m <sup>3</sup>	2,19	1,93	1,78	1,64
90%	kJ/m <sup>3</sup>	2,08	1,87	1,77	1,63
80%	kJ/m <sup>3</sup>	1,80	1,59	1,50	1,37
70%	kJ/m <sup>3</sup>	1,54	1,39	1,27	1,15
60%	kJ/m <sup>3</sup>	1,29	1,18	1,06	0,96
50%	kJ/m <sup>3</sup>	1,03	0,98	0,93	0,85
40%	kJ/m <sup>3</sup>	0,88	0,95	0,85	0,78
30%	kJ/m <sup>3</sup>	0,82	1,06	0,88	0,81
<b>Heat recovery</b>					
Average heat recovery	%	81%	82%	83%	80%
<i>Working point</i>					
100%	%	75%	79%	81%	75%
90%	%	75%	79%	81%	75%
80%	%	78%	81%	82%	77%
70%	%	79%	82%	84%	79%
60%	%	81%	83%	85%	81%
50%	%	83%	85%	85%	83%
40%	%	85%	85%	85%	83%
30%	%	85%	85%	85%	83%

# Anvendelse i praksis

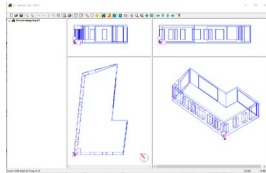
## Optimeringsproces (Optimum)



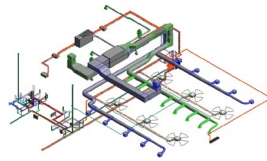


# Anvendelse i praksis

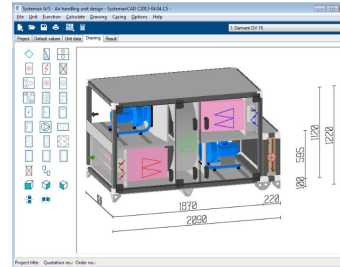
## Optimeringsproces (Optimum)



Facadekoncept/  
Koncept for indeklima



Ventilationssystemet  
(Tryktab)

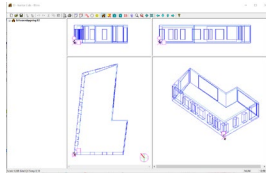


SystemairCAD

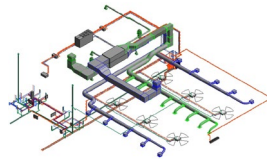


# Anvendelse i praksis

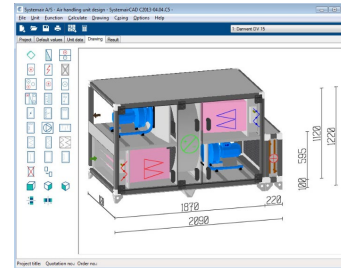
## Optimeringsproces (Optimum)



Facadekoncept/  
Koncept for indeklima



Ventilationssystemet  
(Tryktab)



SystemairCAD

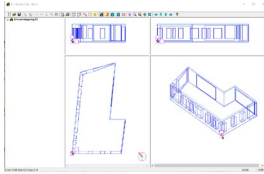


Resultater  
LCC\_01... 02.. 03..04

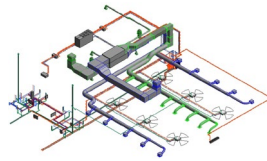
*BPS data*

# Anvendelse i praksis

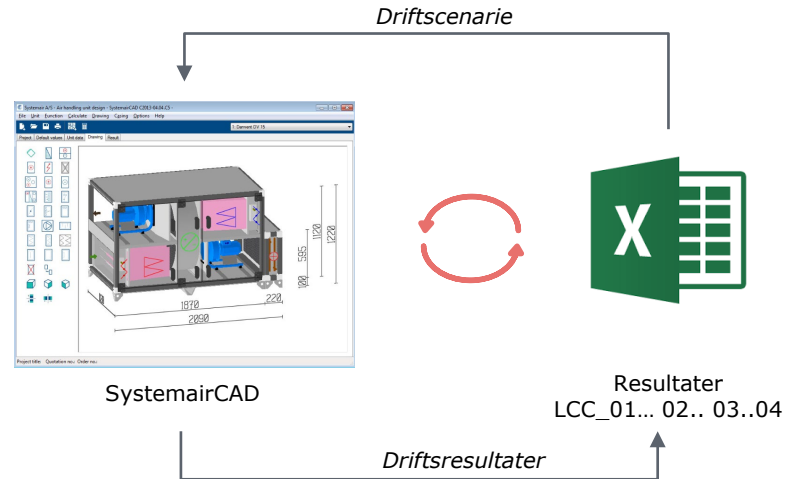
## Optimeringsproces (Optimum)



Facadekoncept/  
Koncept for indeklima



Ventilationssystemet  
(Tryktab)



# Opsummering

## Udfordringer

- Beslutninger på baggrund af totaløkonomiske beregninger bør udføres tidligt i processen hvor detaljeringsgraden er lave
- Outputtet er ikke mere valid end inputtet!

## Fordele og udvikling

- Optimeringer gennem totaløkonomiske beregninger kan skabe synergi mellem anlægs- og driftsøkonomi
- Øget udbredelse i branchen giver større viden omkring anvendelsen i praksis
- Lettilgængelige værktøjer for energioptimering og totaløkonomiske vurderinger

# Nyttig information

## Introduktion til LCC på bygninger

[http://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/09%20Byggeri/Baredygtigt%20byggeri/TBST-2016-02-Introduktion\\_LCC.pdf](http://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/09%20Byggeri/Baredygtigt%20byggeri/TBST-2016-02-Introduktion_LCC.pdf)

## Totaløkonomi i støttet byggeri

<http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Bolig/Bolig/Almene-boliger/Etablering-renovering-og-nedrivning-af-almene-boliger/Etablering-af-almene-boliger/Totalokonomi-i-stottet-byggeri.aspx>

## Vejledning for Bygningsstyrelsens arbejde med totaløkonomi i statsbyggesager

<https://www.bygst.dk/media/501810/Vejledning-arbejde-med-totaloekonomi-i-statsbyg.pdf>

## SystemairCAD LCC

<https://www.systemair.com/dk/Danmark/Download/SystemairCAD/>



# MØE | BuildingDesign

[buildingdesign.moe.dk](http://buildingdesign.moe.dk)

**Mads H. Wagner**

Gruppenleder | Specialkompetence

Civilingeniør, M.Sc.

Mobil: 25 40 02 78

Mail: [mhw@moe.dk](mailto:mhw@moe.dk)

<https://www.linkedin.com/in/mads-wagner-36746344>