



IOE | BuildingDesign

Totaløkonomi som værktøj ved valg af ventilationsløsninger

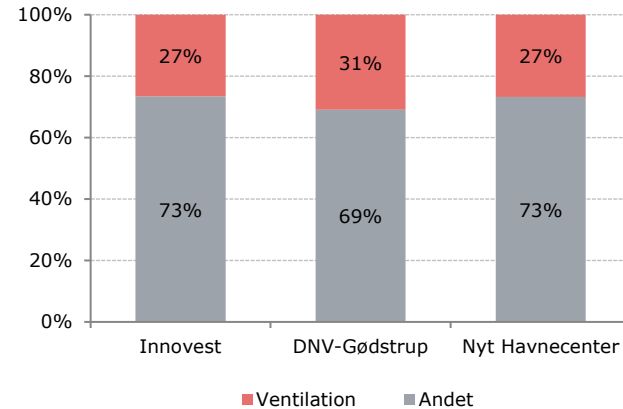
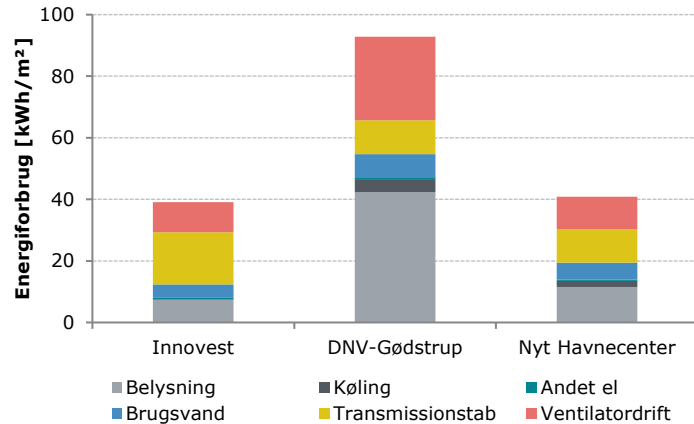
Mads H. Wagner

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.



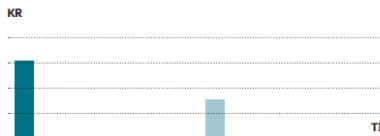
Løsning 2

Lave anskaffelsesomkostninger, høje driftsomkostninger.



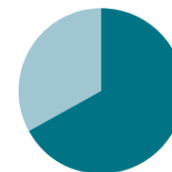
Løsning 3

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



Procentuel fordeling af omkostninger på anlæg og drift

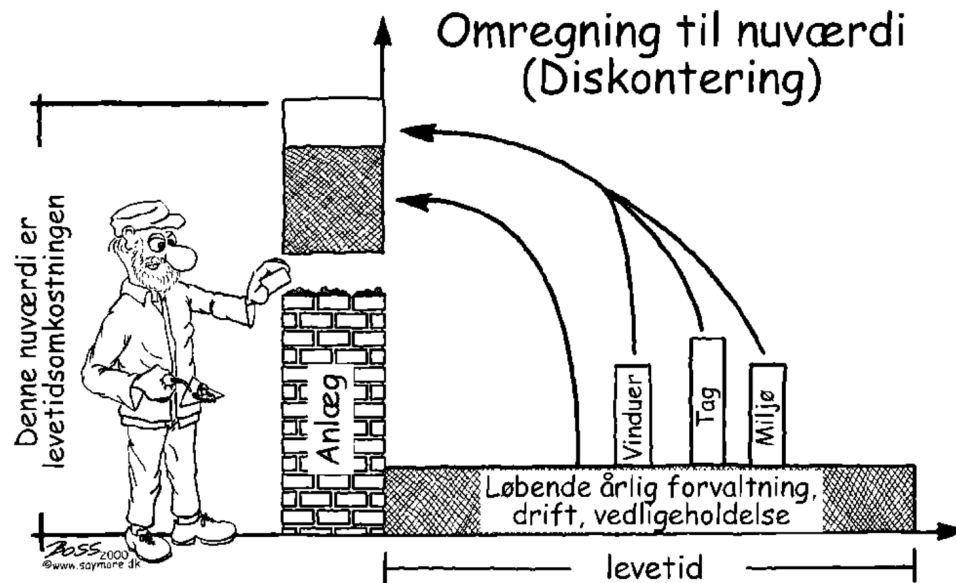
● Anlæg ● Drift



Kilde: Introduktion til LCC på bygninger, Energistyrelsen

Introduktion til Totaløkonomi

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

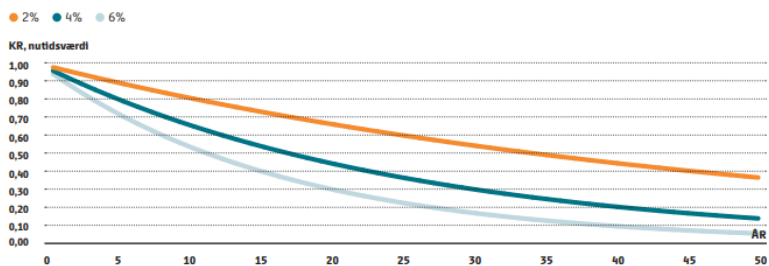


Kilde: Haugbølle Hansen et al. (2000)

Introduktion til Totaløkonomi

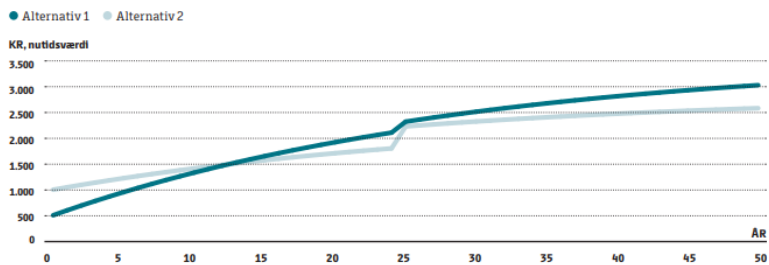
- Nutidsværdi
 - Tilbagediskontering af fremtidige pengestrømme
 - Fokus på omkostninger over tid
- Afgørende faktorer
 - Kalkulationsrente (varierer)

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



Kilde ISO 15686 (2008).

Eksempel



Kilde: Introduktion til LCC på bygninger, Energistyrelsen

Introduktion til Totaløkonomi

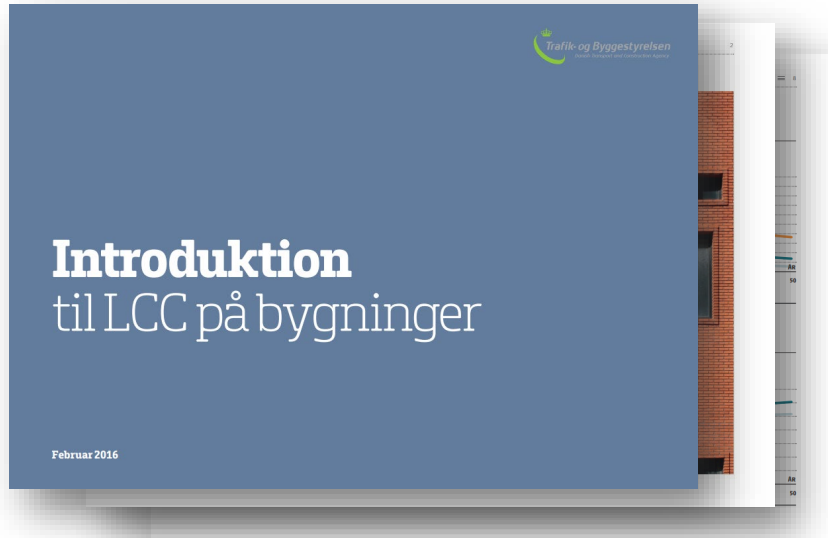
- Nutidsværdi
 - Tilbagediskontering af fremtidige pengestrømme
 - Fokus på omkostninger over tid
- Afgørende faktorer
 - Kalkulationsrente (varierer)
 - Prisudvikling og referencegrundlag

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



Et teknisk indblik

Energiforbrug ved reduceret luftmængde

Energiforbrug ved reduceret luftmængder

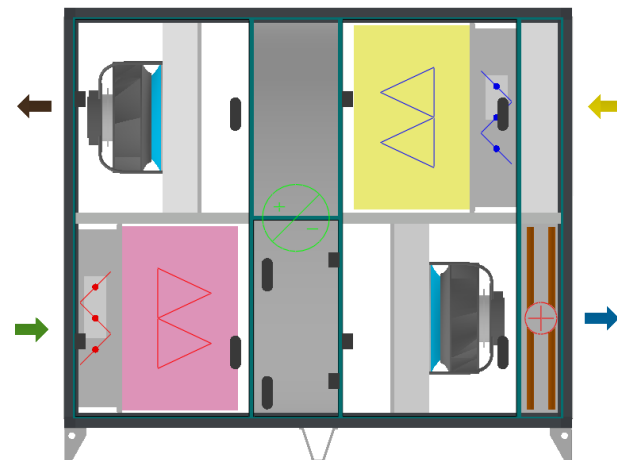
Alternative arbejds punkter

	Airflow		Heat exchanger, efficiency		SFPv value	SFPe value	Operation
	Supply, m ³ /h	Extract, m ³ /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

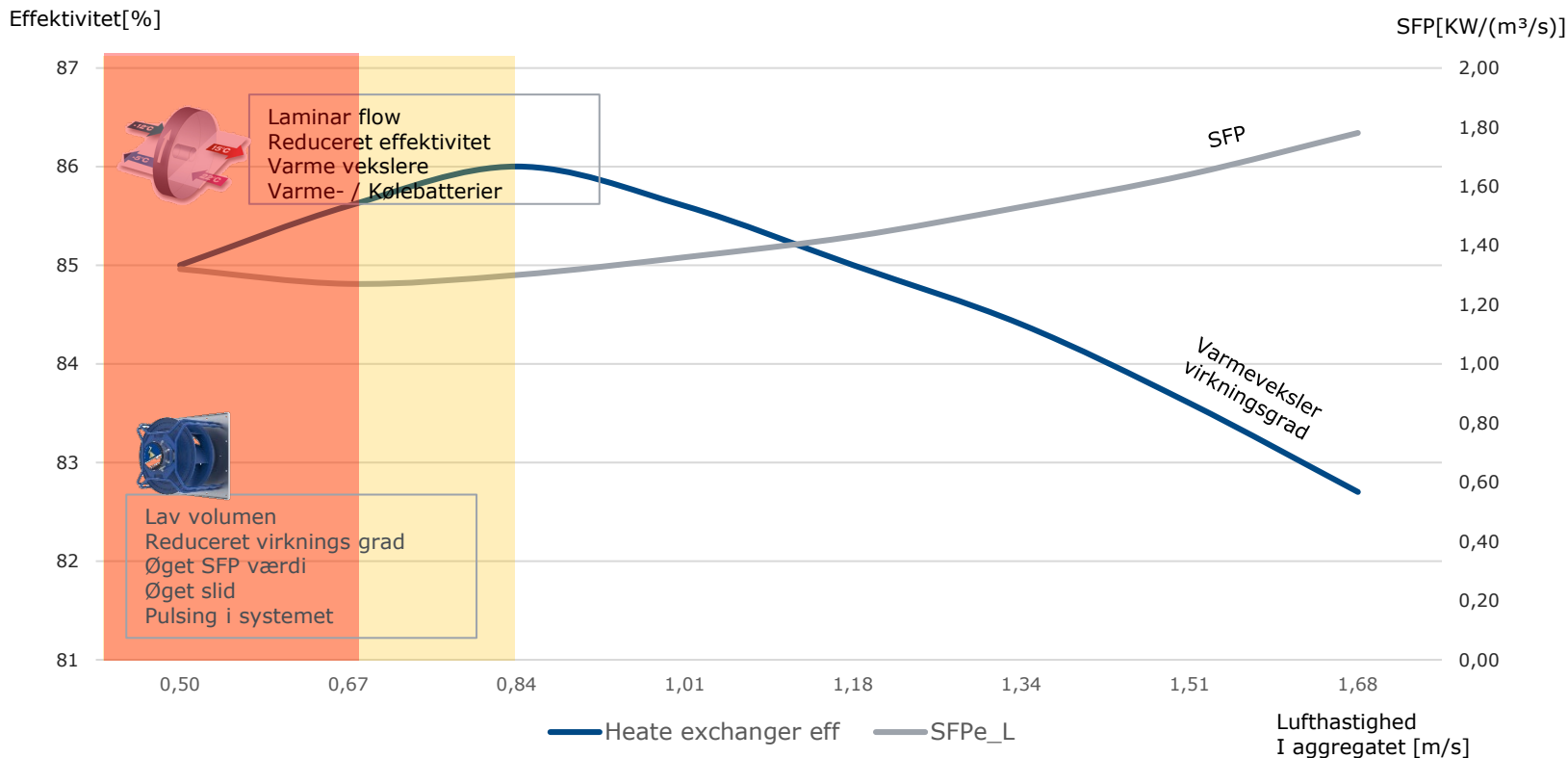
Gennemsnits værdier

Energy calculation

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



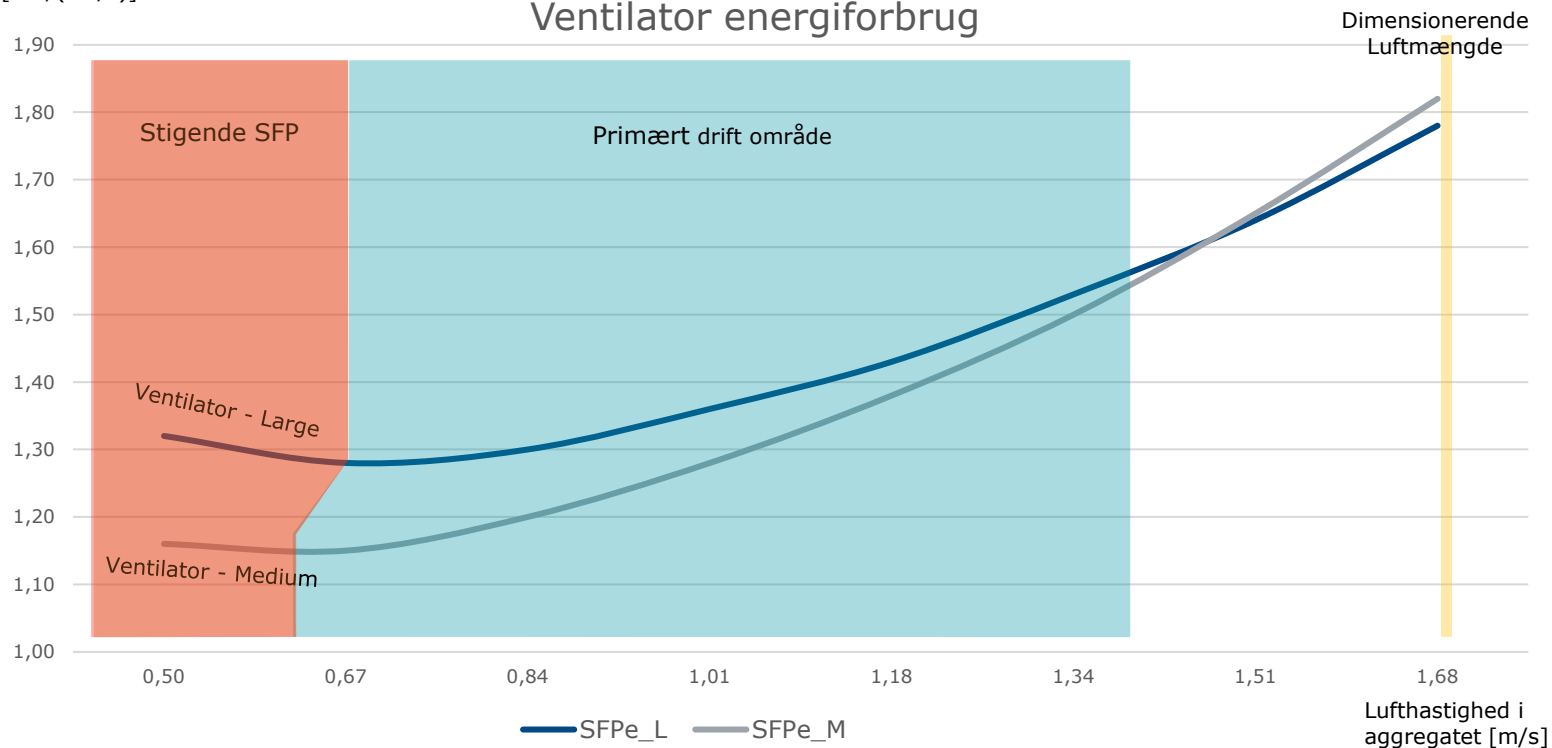
Energiforbrug ved reduceret luftmængder



Energiforbrug ved reduceret luftmængder

SFP[KW/(m³/s)]

Ventilator energiforbrug



SystemairCAD LCC

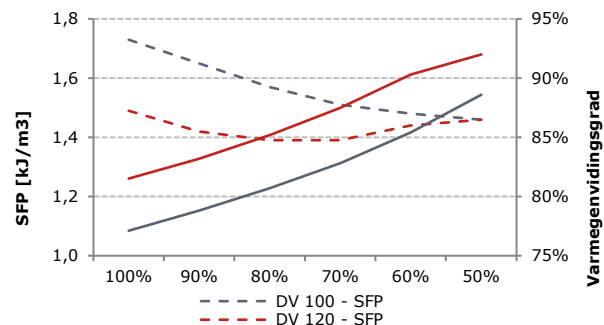
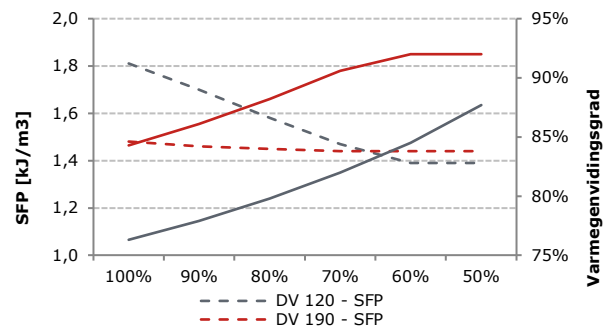
Udvikling af dynamisk værktøj

Indledende overvejelser

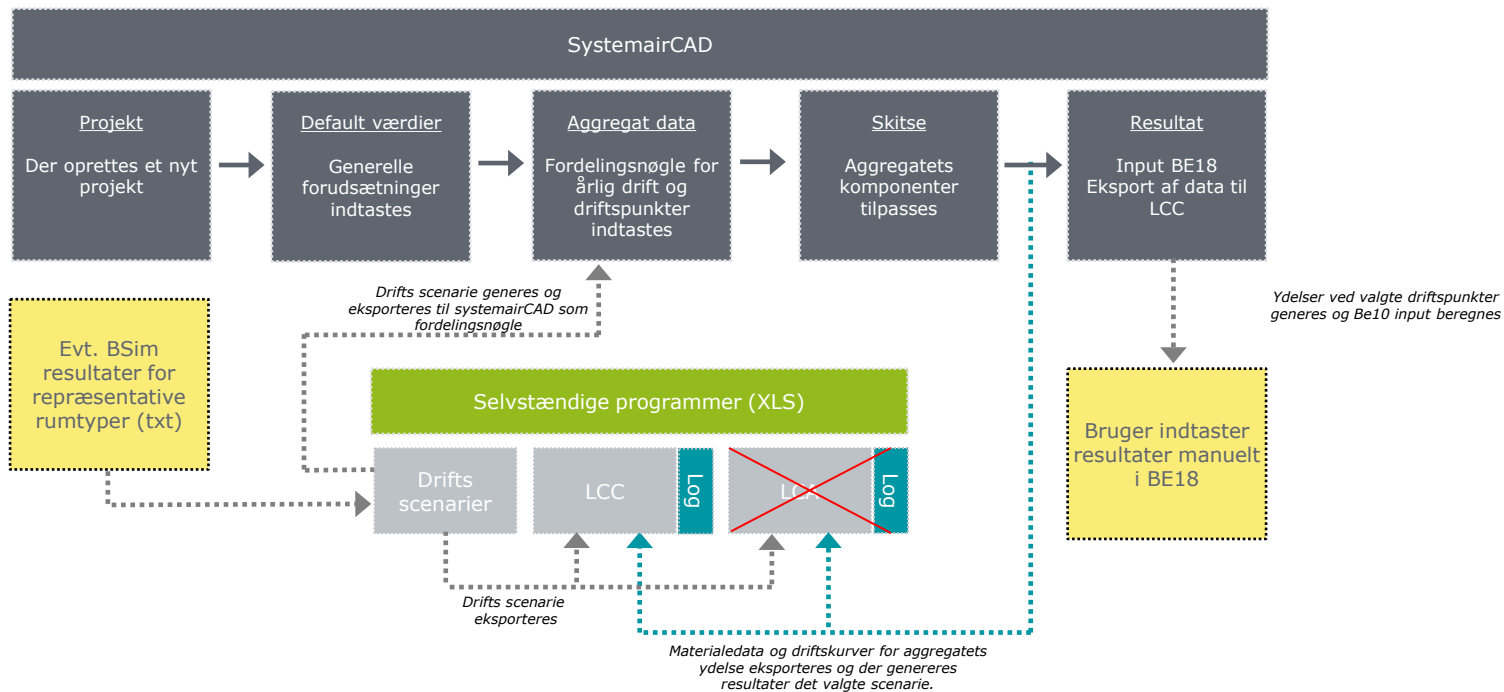
- Inputparametre til mekanisk ventilation i BE18 beregningen baseres på gennemsnitlige værdier
- Tidligere har der været en større tendens til altid at anvende den maksimalt beregnet værdi i BE18 – giver ikke et retvisende billede af ventilationens energiforbrug
- Der er således brug for mere reelle 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 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
Overview LCC				
Investments, Present values				
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 -	-	-	-
Total	kr 2.611.590	2.452.789	2.547.735	2.389.207
Operational costs, year one				
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 -	-	-	-
Humidifier	kr -	-	-	-
Sum of other component	kr -	-	-	-
Total	kr 98.212	87.913	91.260	84.924
Maintenance, year one				
	kr -	-	-	-
Life expectancy and operation				
Life expectancy (Average)	Years 0	0	-	-
Annual operation	Hours 8760	8760	8.760	8.760
Main expense categories				

Alternative	Purchase	Operational costs	Maintenance
1	325	2.287	0
2	406	2.047	0
3	423	2.125	0
4	412	1.977	0

Coil night ventilation		
	<input type="radio"/> Yes	<input checked="" type="radio"/> No
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00

Airflow [m3/s]		
	Blæst	Ekstrakt
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00
Coil night ventilation	0,00	0,00

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

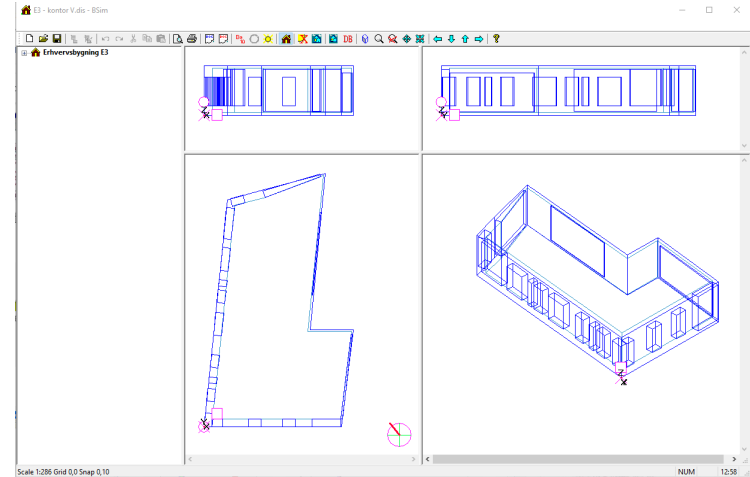
Anvendelse i praksis
Eksempel på beregning

Anvendelse i praksis

Case 01 – ventilering af kontorarealer

- Centralventilation vs. kølebaffler
- Input baseret på BSim beregninger

	Løsning 1	Løsning 2	
Luftmængde til zonen	608,4	304,2	m3/h
Areal udsnit	137	137	M2
pr. m2	15,54	7,77	m3/h
Luftskifte	6,76	3,38	h-1
Køleeffekt tilført rum (coil)		21,9	W/m ²
Luftmængde aggregat	21000	10500	m3/h
Areal pr. aggregat	1351	1351	M2
Antal aggregater	1	1	Stk
Antal baffler á 700 W		42	stk
Pris pr. baffel inkl. fordelerrør køling		10000	kr/stk



Anvendelse i praksis

Ventilation

Ventilation+ baffel

Case 01 –

		LCC Calc 01		LCC Calc 02		LCC Calc 03		LCC Calc 04	
Investment									
Purchase systemair unit	kr	250.000		300.000		140.000		160.000	
Additional investments 01									
Purchase	kr	-		-		420.000		420.000	
Maintenance Cost in % of investmen	[%]	1,5%		1,5%		1,0%		1,0%	
Life expectancy (years)	Years	15		15		20		20	
Additional Operational costs year one	kr	-		-		9.600		9.600	
Pricetrend additional energyuse	[%]	1,5%		1,5%		4,0%		4,0%	
Additional investments 02									
Purchase	kr	-		-		-		-	
Maintenance Cost in % of investmen	[%]	1,5%		1,5%		1,5%		1,5%	
Life expectancy (years)	Years	15		15		15		15	
Additional Operational costs year one	kr	-		-		-		-	
Pricetrend additional energyuse	[%]	1,5%		1,5%		1,0%		1,0%	
Unit overview									
Chosen unit		Danvent DV80		Danvent DV100		Danvent DV40		Danvent DV50	
Unit components		Rotary heat exchanger Heating Coil Cooling Coil		Rotary heat exchanger Heating Coil Cooling Coil		Rotary heat exchanger Heating Coil Cooling Coil		Rotary heat exchanger Heating Coil Cooling Coil	
User Note				Større aggregat for optimering af SFP		Kølebaffler for minimering af ventilation		Kølebaffler for minimering af ventilation og optimeret aggregat	
Maintenance, annual									
		Maintenance Cost in % of investment	Life expectancy (Hours)	Maintenance Cost in % of investment	Life expectancy (Hours)	Maintenance Cost in % of investment	Life expectancy (Hours)	Maintenance Cost in % of investment	Life expectancy (Hours)
Heat exchanger									
- Exchanger		1,50%	80.000	1,50%	80.000	1,50%	80.000	1,50%	80.000
- Motor		3,00%	40.000	3,00%	40.000	3,00%	40.000	3,00%	40.000
Fan		1,00%	40.000	1,00%	40.000	1,00%	40.000	1,00%	40.000
Heating Coil, district heating		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Heating Coil, electrical		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Cooling Coil		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Integrated Cooling		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Humidifier		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Dampers		1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000	1,00%	80.000
Filters		1,00%	2.000	1,00%	2.000	1,00%	2.000	1,00%	2.000

Anvendelse i praksis

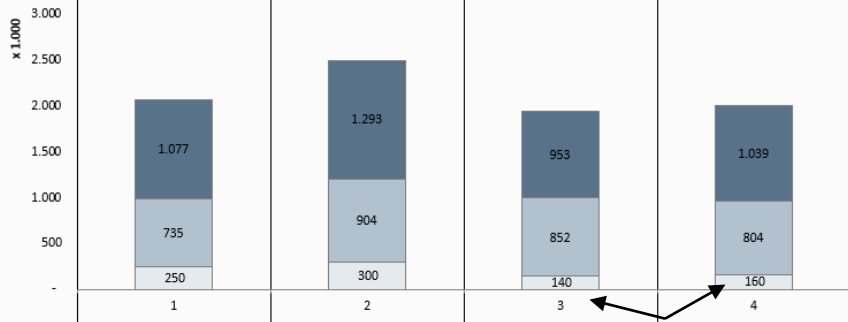
Case 01 –

Løbetid 30 år

Overview LCC		LCC Calc 01	LCC Calc 02	LCC Calc 03	LCC Calc 04
Investments, Present values					
Purchase	kr	250.000	300.000	560.000	580.000
Operational costs	kr	734.683	904.458	852.222	804.074
Maintenance	kr	1.077.276	1.292.731	952.716	1.039.491
Total	kr	2.061.958	2.497.189	2.364.938	2.423.565
Operational costs, year one					
Fan power	kr	26.658	33.796	23.889	21.812
Cooling Coil	kr	3.866	3.837	2.260	2.219
Heating Coil, district heating	kr	1.031	1.215	472	521
Heating Coil, electrical	kr	-	-	-	-
Integrated Cooling	kr	-	-	-	-
Humidifier	kr	-	-	-	-
Sum of other component	kr	-	-	-	-
Total	kr	31.556	38.848	26.620	24.552
Maintenance, year one	kr	47.277	56.732	30.988	34.802
Life expectancy and operation					
Life expectancy (Average)	Years	19	19	19	19
Annual operation	Hours	4341	4341	4.381	4.381
Main expense categories					

x 1.000

- Maintenance kr
- Operational costs kr
- Purchase kr



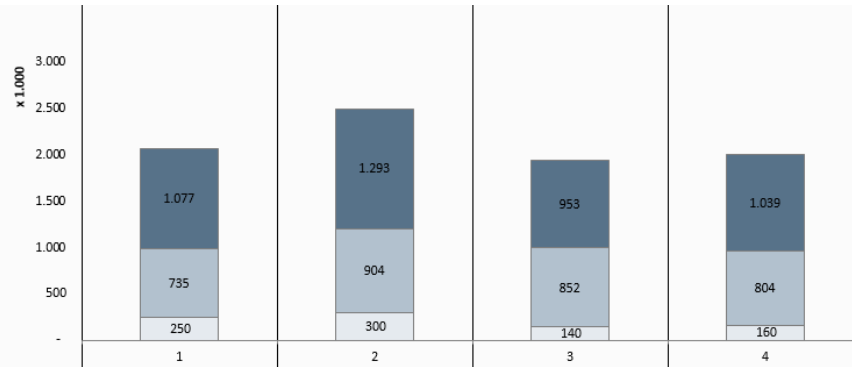
+420.000 kr.

Anvend

Case 01 –

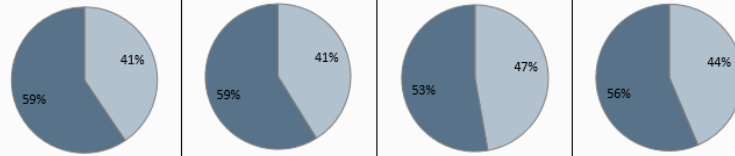
Main expense categories

- Maintenance kr
- Operational costs kr
- Purchase kr



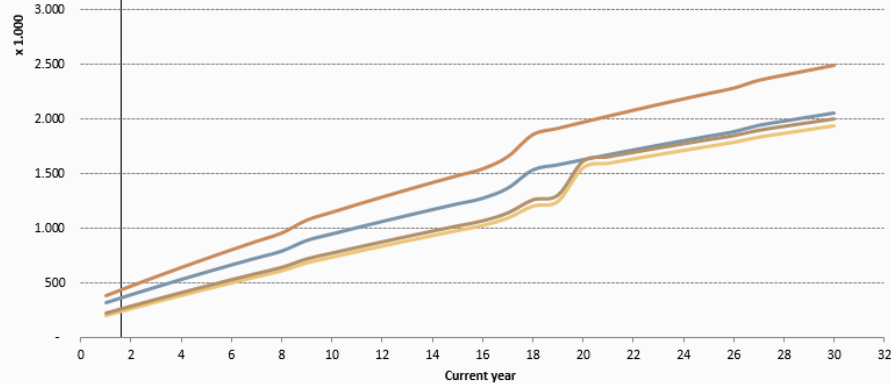
Main expense distribution

- Purchase
- Operational costs
- Maintenance



Development, present value

- LCC Calc 01
- LCC Calc 02
- LCC Calc 03
- LCC Calc 04



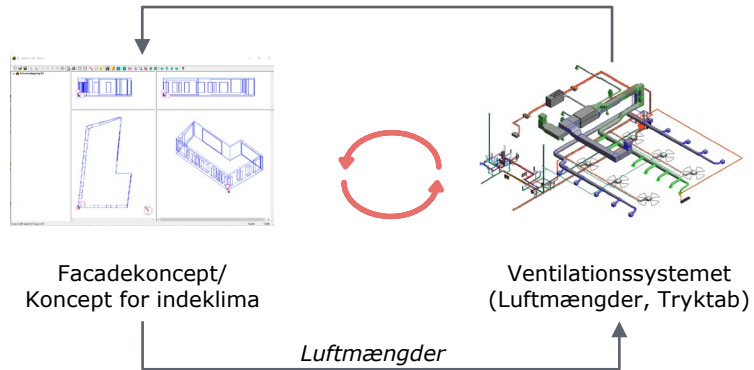
Anvendelse i praksis

Case 01 – ventilering af kontorarealer

- Et godt og oplyst udgangspunkt at for at træffe beslutninger for overordnede koncepter
- Til de videre overvejelser kan inddrage fordele og ulemper ved de to løsninger
 - Lofthøjde, teknikarealer luftskifter, lokal komfort, synergi med opvarmning mv.

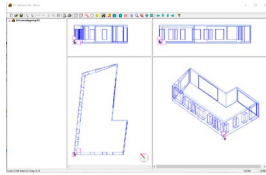
Anvendelse i praksis

Optimeringsproces (Optimum)

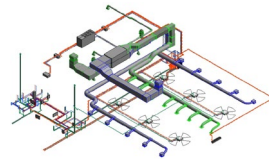


Anvendelse i praksis

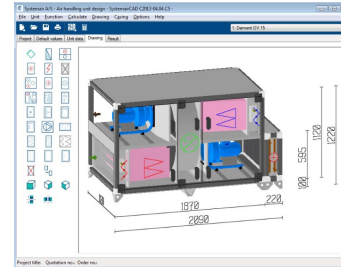
Optimeringsproces (Optimum)



Facadekoncept/
Koncept for indeklima



Ventilationssystemet
(Tryktab)

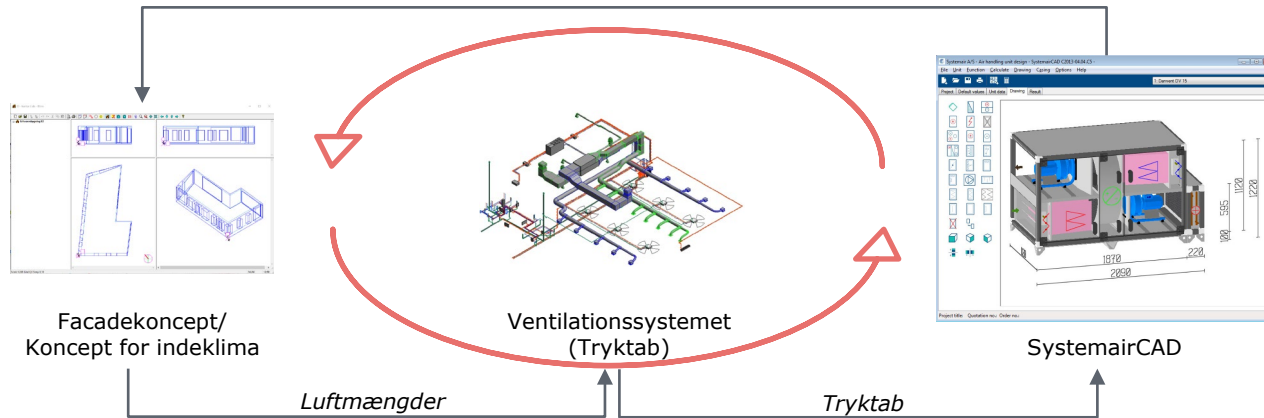


SystemairCAD



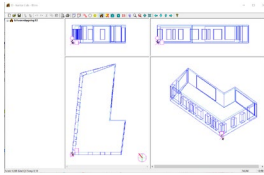
Anvendelse i praksis

Optimeringsproces (Optimum)

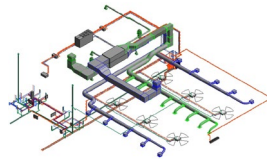


Anvendelse i praksis

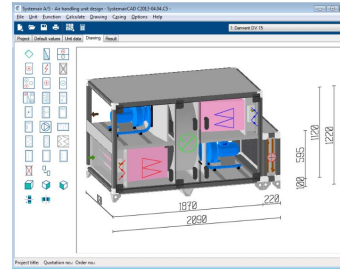
Optimeringsproces (Optimum)



Facadekoncept/
Koncept for indeklima



Ventilationssystemet
(Tryktab)



SystemairCAD

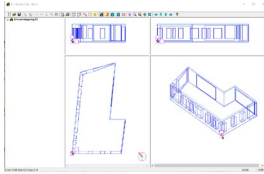


Resultater
LCC_01... 02.. 03..04

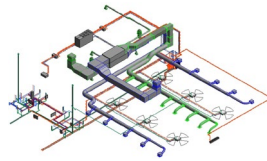
BPS data

Anvendelse i praksis

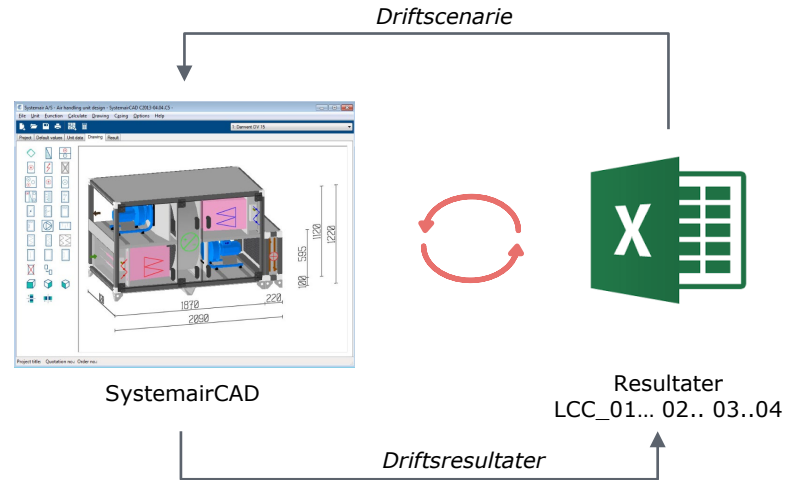
Optimeringsproces (Optimum)



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

Totaløkonomi i støttet byggeri

<http://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Bolig/Bolig/Almene-boliger/Eablering-renovering-og-nedrivning-af-almene-boliger/Eablering-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

Mads H. Wagner

Gruppenleder | Specialkompetence

Civilingeniør, M.Sc.

Mobil: 25 40 02 78

Mail: mhw@moe.dk

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