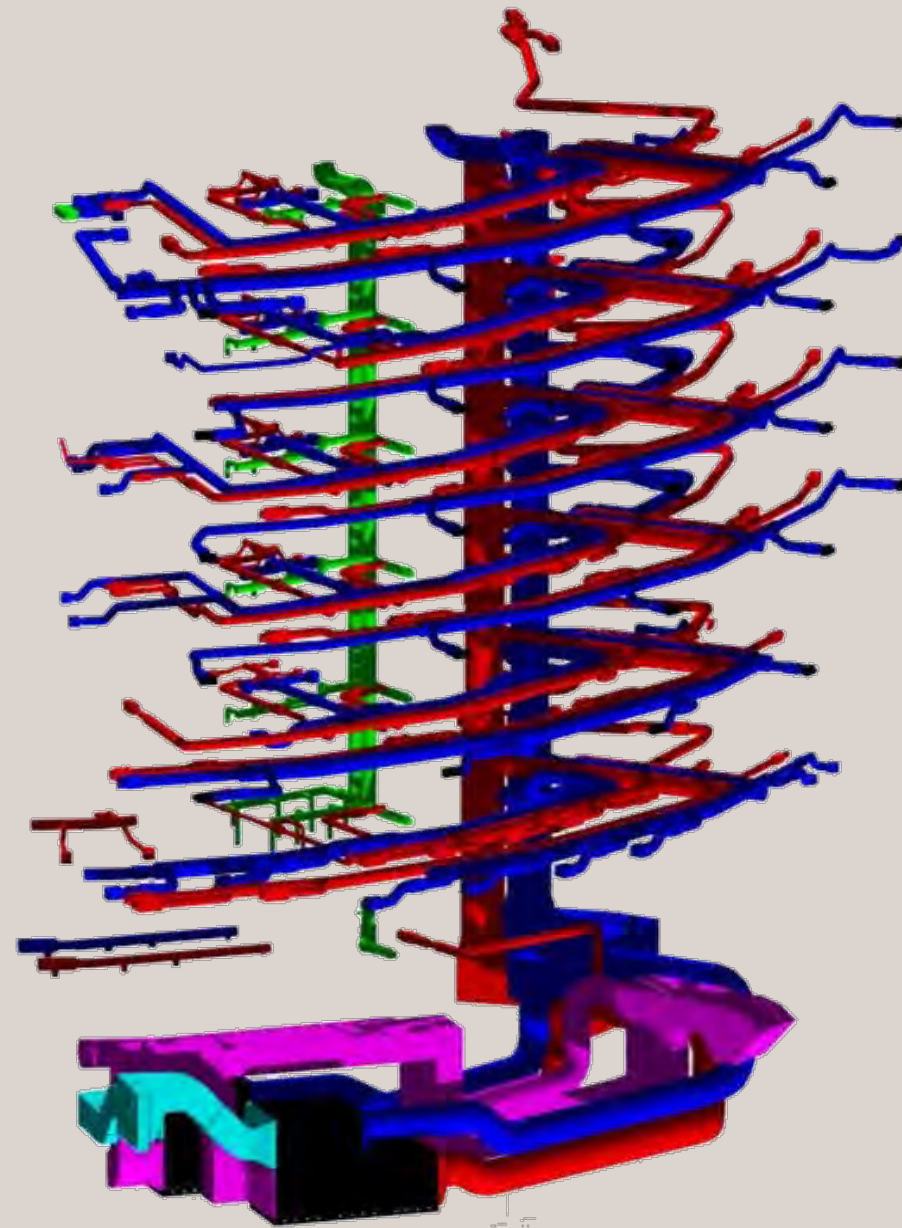


Udformning af ventilationsanlæg

Hvordan sikrer vi os at ventilationsanlæg opfylder kravene til SEL-faktor i bygningsreglementet?

23-05-2019

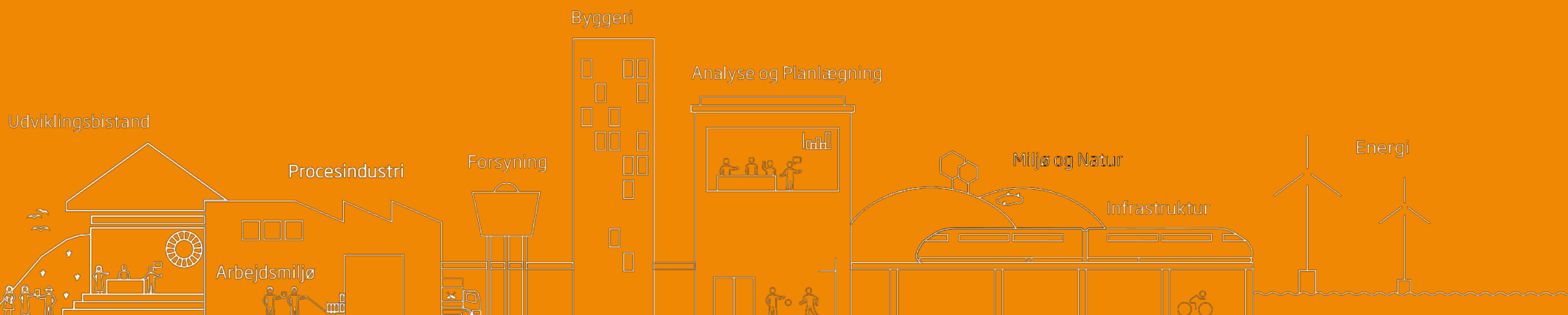
CLAUS WESSEL ANDERSEN, AFDELINGSLEDER INDEKLIMA & VVS



Agenda

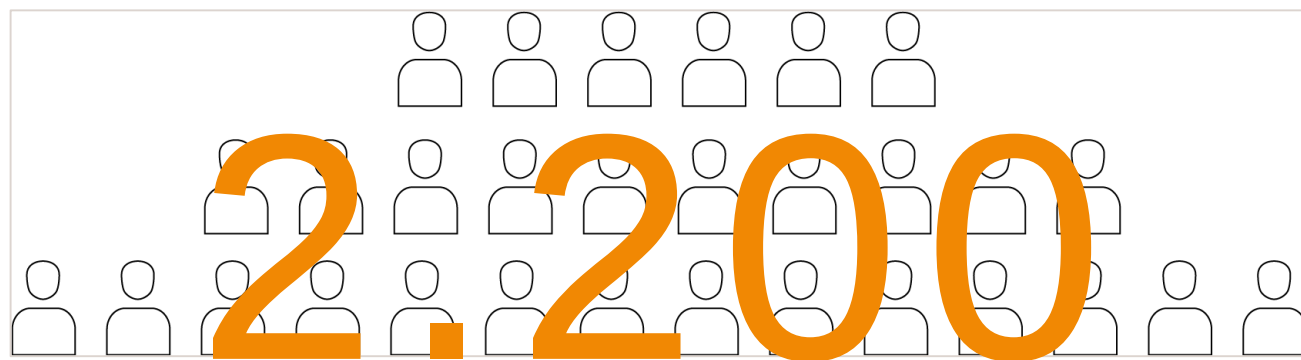
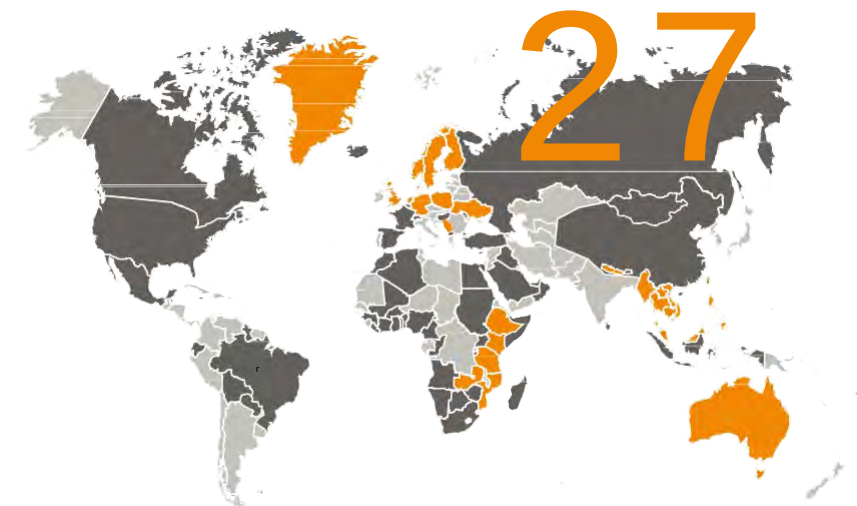
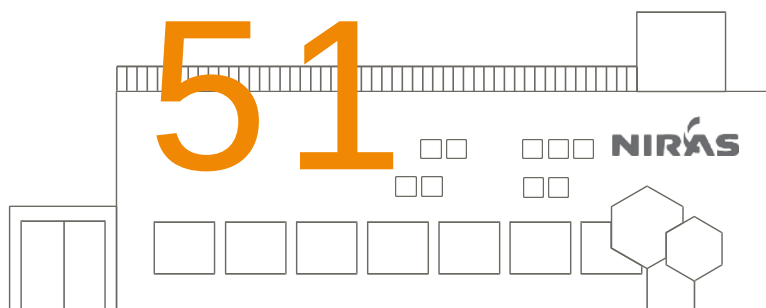
- BR18 Krav
- Energiforbrug til ventilation
- Fokus punkter for overholdelse af SEL
- ”Nye” Tryk
reducerende teknologier

 Gis, Geodata og Automation



Verdensomspændende tilstedeværelse

– samme værdisæt



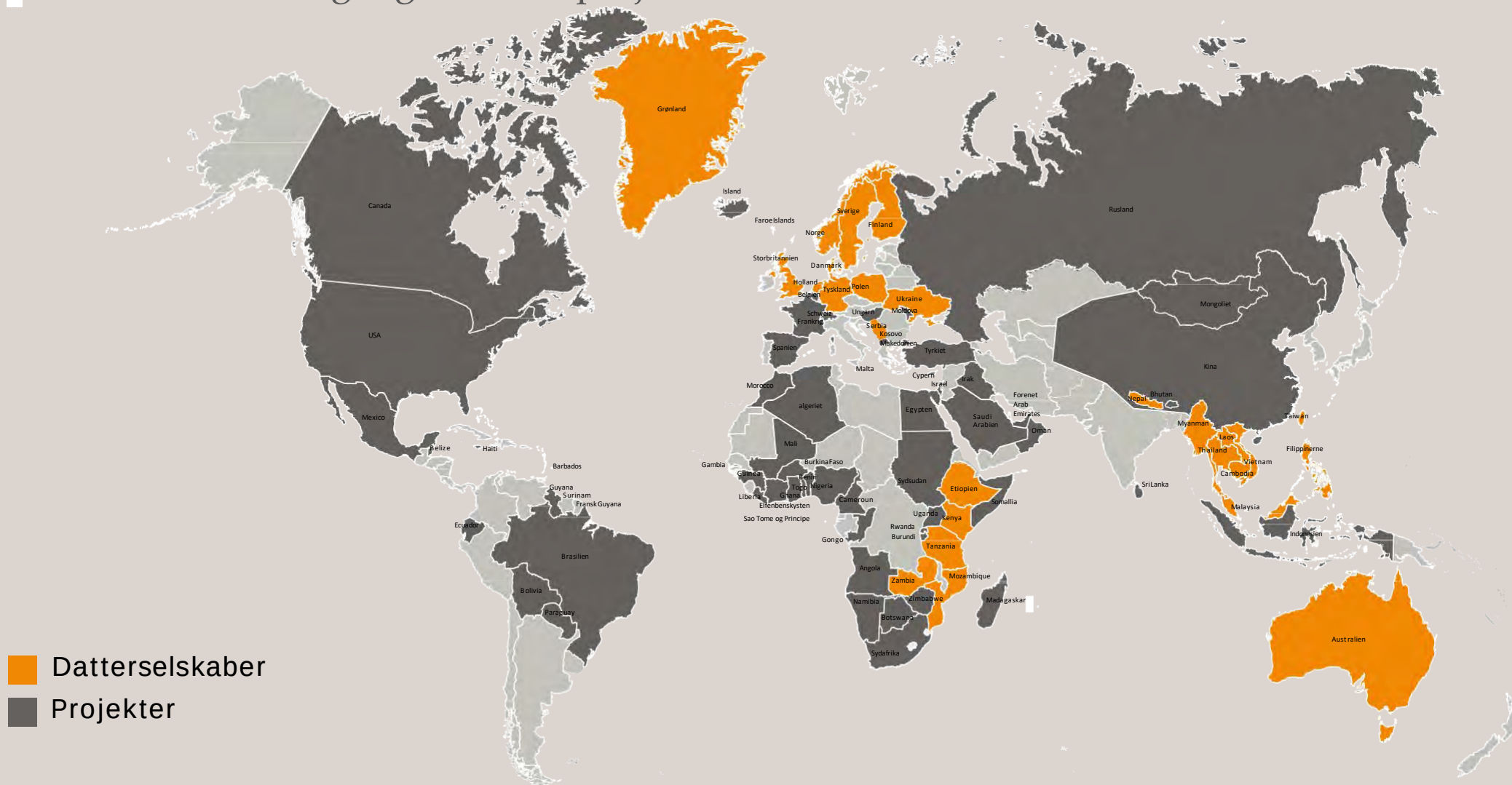
Vi dækker hele Danmark

11 kontorer i Danmark



Globalt aftryk

Mere end 7.000 igangværende projekter i over 30 lande



BR18 Krav

BR18 krav

Standard byggeri

Standard byggeri	
Varmegenvindingsgrad	73 %
	80 % for anlæg, der forsyner én bolig
SEL-værdi	1800J/m ³ ved CAV 2100J/m ³ ved VAV (ved fuld luftmængde)
	1,5 kJ/m ³ for anlæg til etageboliger (ved grundluftskifte)
	1,0 kJ/m ³ for anlæg, der forsyner én bolig (ved maks. tryktab)
	0,6 kJ/m ³ for udsugningsanlæg (ved maks. tryktab)

BR18 krav

Specielt for BR18 Lavenergiklasse

Varmegenvindingsgrad	73 % 80 % for anlæg, der forsyner én bolig
SEL-værdi	SEL maks 1500J/m ³ ved CAV og 1800J/m ³ ved VAV ved fuld luftmængde 1,2 kJ/m ³ for anlæg til etageboliger (ved grundluftskifte)

Ventilation - Energirammen

- Ved sommerkomfortberegning med ventilation med varmegenvinding anføres at ventilationsrate skal reduceres såfremt varmegenvinder ikke kan stoppes. (5.12.3)
- Ifm. temperaturvirkningsgrad er tilføjet tekst om modregning af motorvarme. (hvis anlæg er testet efter EN 13147-7 i stedet for EN 308). (6.1.5) Primært relevant for små boliganlæg. Korrektion afhænger af anlæggets opbygning.

$$\Delta\eta_{vgv} = 0,035 \cdot P_E/q_v$$

hvor P_E er ventilatorenes elforbrug i W
 q_v er volumenstrømmen i l/s

For andre units bestemmes modregningen af motorvarmen som:

$$\Delta\eta_{vgv} = 0,060 \cdot P_E/q_v$$

- Der er indføjet korrektion for tilisning/afisning, hvilket betyder lavere virkningsgrad såfremt afisning ikke styres energieffektivt. (6.1.5) Primært relevant for små boliganlæg.
- Ingen korrektion for:
 - Rotorvekslere
 - Hvis der styres efter tryktab over veksleren
 - Hvis der styres efter overfladetemperatur i veksleren

TABEL 10. Korrektion af temperaturvirkningsgrad for varmegenvinder for mindre energieffektive metoder til sikring mod tilisning.

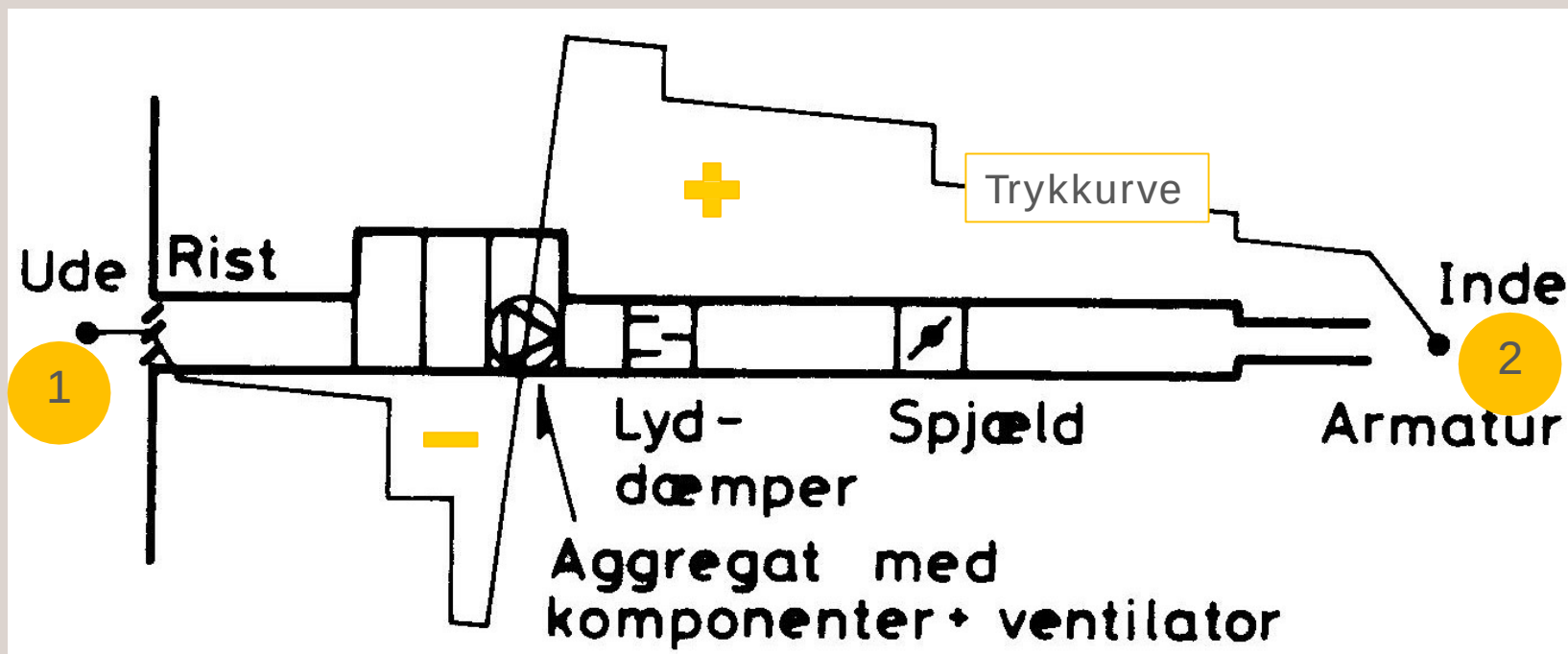
	Varmegenvinderens nominelle temperaturvirkningsgrad						
	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
Forvarmeblade med føler i udeluft før vgv.	-0,07	-0,08	-0,08	-0,09	-0,09	-0,10	-0,12
Forvarmeblade eller by-pass med føler i afkast	0,00	-0,01	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04	-0,07

Energiforbrug til ventilation

Trykkurve gennem ventilationssystem

$$p_{t1} + \Delta p_{\text{ventilator}} = p_{t2} + \Delta p_{\text{friktion}} + \Delta p_{\text{enkelttab}}$$

$$p_{t1} = p_{t2} = 0$$



Tryktab i system

Tryktabet kan splittes i friktionstab og enkelttab

ρ : densitet i kg/m³

f : friktionsfaktor

L : kanallængde i m

D_h : hydraulisk diameter i m

v : lufthastighed i m/s

ζ : enkelttabskoefficient

R : trykgradient in Pa/m

p_d : dynamisk tryk i Pa

$$\Delta p_{\text{tot}} = \Delta p_{\text{friktion}} + \Delta p_{\text{enkelтта}} \\ \Downarrow$$

$$\Delta p_{\text{tot}} = L \frac{\rho f}{2D_h} v^2 + \sum \zeta \left(\frac{\rho v^2}{2} \right)$$

$$\Downarrow \\ \Delta p_{\text{tot}} = L \times R + \sum \zeta(p_d)$$

**Tryktab afhænger af flow og tværsnitsareal
opløftet i anden potens**

$$v^2 = \frac{q^2}{\frac{\pi^2}{16} D^4}$$

Tryktab og hastighed

Δp : tryktab i Pa

n : er 2 for fuldt turbulent system; moderne system
~1,4-1,6

r : er en systemspecifik faktor

$$\Delta p = r q^n$$

Faktoren r er udformningsafhængig, og altså *ikke* afhængig af flow og tryk

v : lufthastighed i m/s

A : areal i m²

D : diameter i m

$$v = \frac{q}{A} = \frac{q}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

**Tryktab afhænger af flow og tværsnitsareal
opløftet i anden potens**

Energiforbrug og effekt

P_{fan} : ventilatoreffekt i Watt

Δp : tryktab i Pa

q : volumen flow i m³/s

η : ventilator+motor effektivitet, typisk værdi 50-75%

$$P_{fan} = \frac{\Delta p q}{\eta}$$

Når tingene sættes sammen ses at ventilatoreffekten er proportionel med luftstrømmen opløftet i ca. 2,5

$$P_{fan} = \frac{r q^{2,5}}{\eta}$$

E : energi forbrug i kWh

h : timer i drift

$$E = 10^{-3} P_{fan} \bullet h \quad [kWh]$$

SEL-værdi

SEL: specifikt elforbrug til
lufttransport

Måles i enheden J/m³ eller W/(m³/s)

På engelsk: specific fan power (SFP)

Nøgleværdi i Be18 og energirammen,
hvor *årsgennemsnittet* indtastes

$$E = 10^{-3} SEL \cdot P_{fan} \cdot h \quad [kWh]$$

$$SEL = \frac{\sum_{i=1}^n E_{fan,i}}{q} \quad \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

Årsgennemsnitlig SEL-værdi

Den gennemsnitlige SEL-værdi findes kun ved at vægte SEL ved de forskellige driftspunkter med driftstiden og med luftmængden i de enkelte driftspunkter

$$SEL_{gns} = \frac{\sum_{i=1}^n SEL_i q_i h_i}{\sum_{i=1}^n q_i h_i} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

SEL-værdi

Hvis indtag og afkast
luftstrømme og effektiviteterne
antages at være ens, så er SEL
lineært proportional med det
samlede tryktab

$$SEL = \frac{\sum_{i=1}^n E_{fan,i}}{q} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

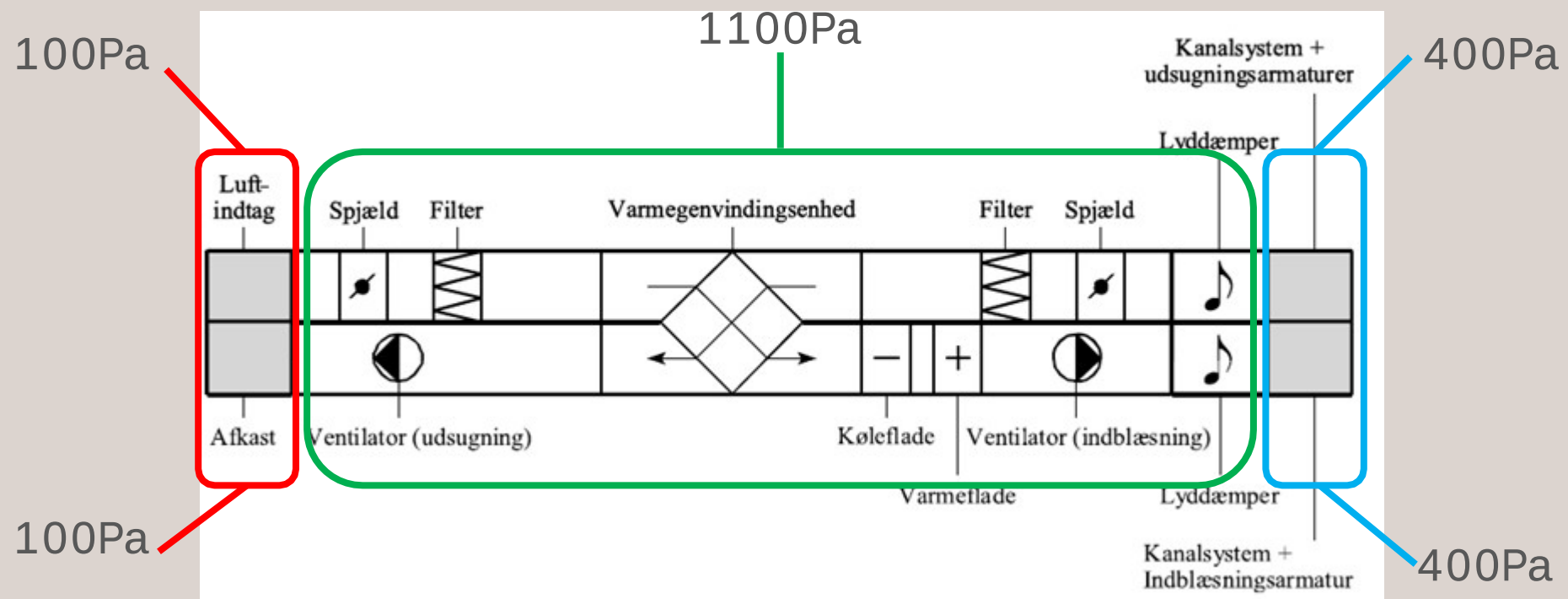
$$SEL = \frac{\frac{\Delta p_i q_i}{\eta}}{q_i} + \frac{\frac{\Delta p_u q_u}{\eta}}{q_u}$$

$$SEL = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta}$$

Fokus punkter for overholdelse af SEL

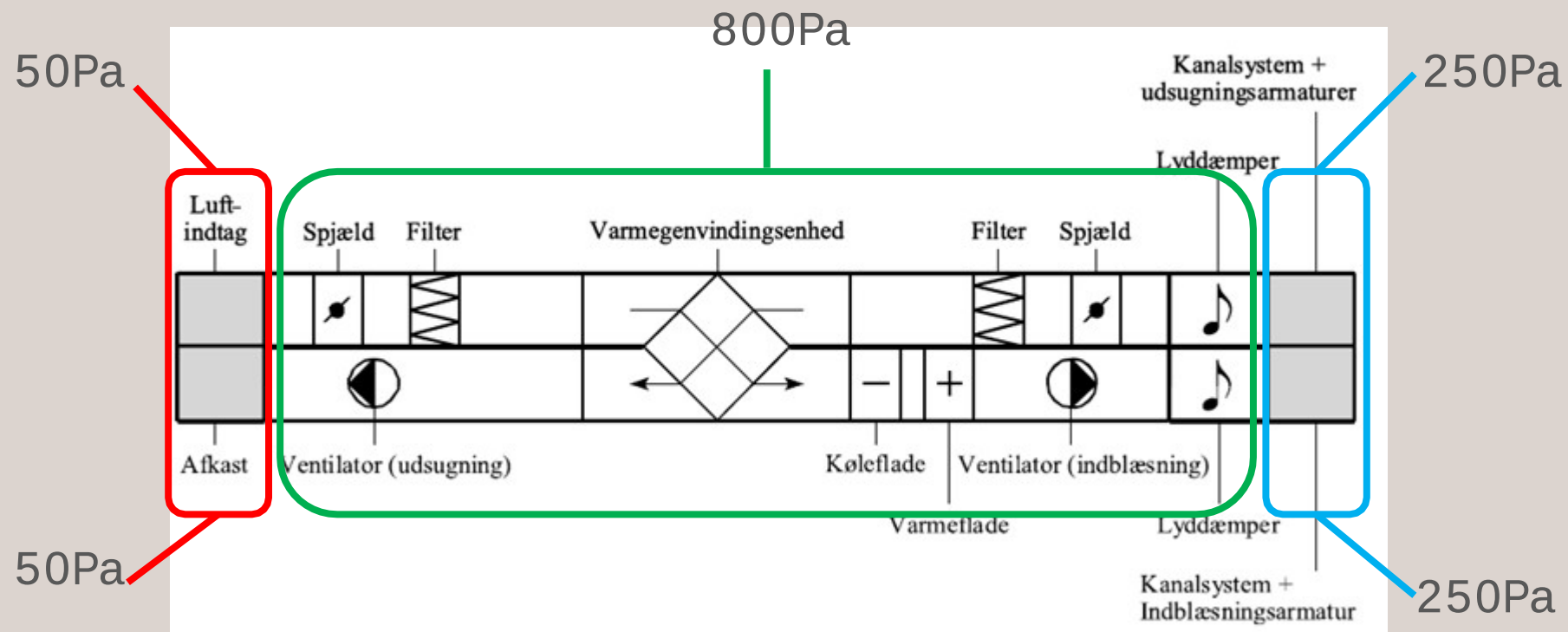
Tryktab ventilationssystemer

Tidligere tiders dimensionering

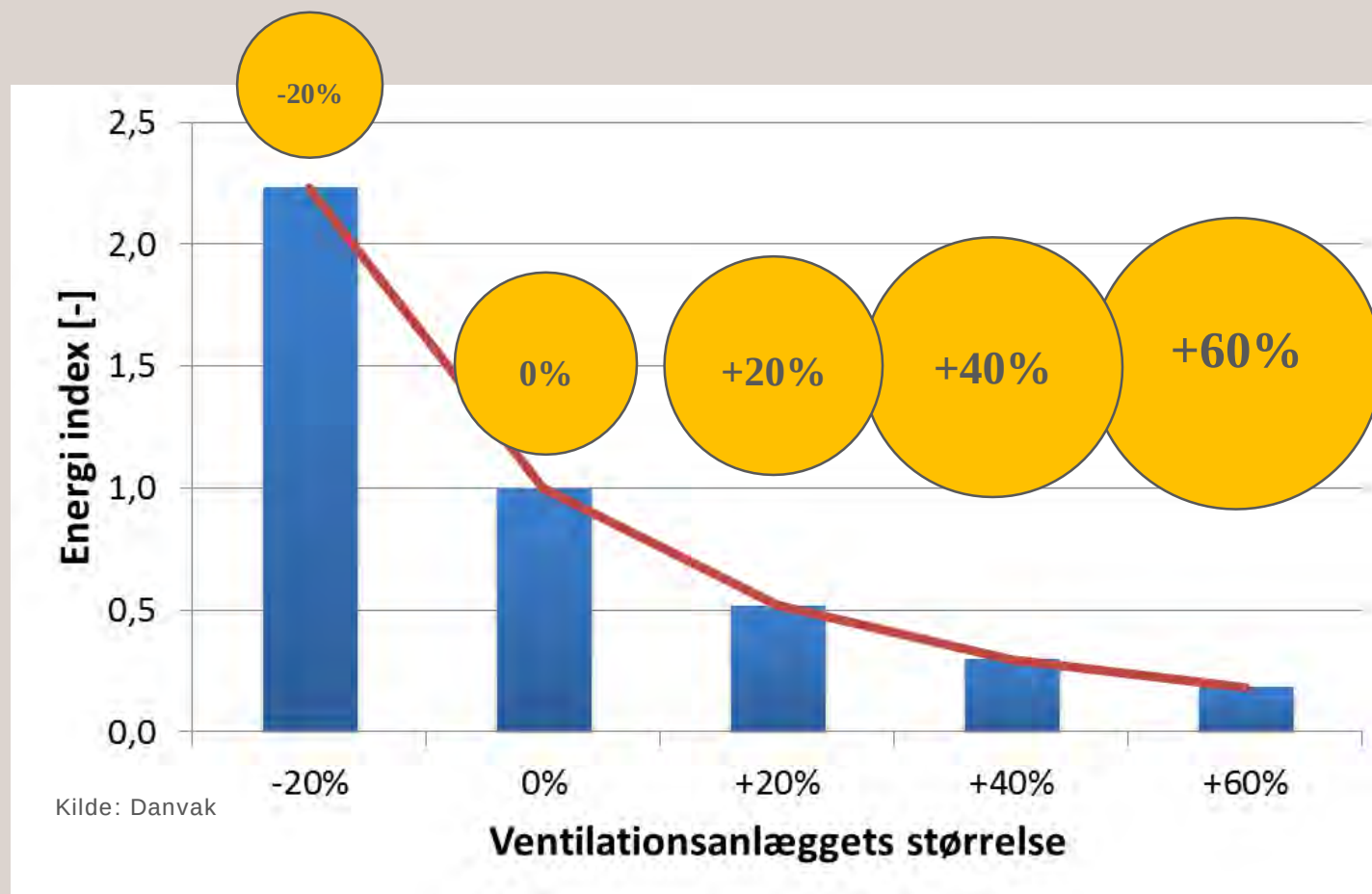


Tryktab ventilationssystem

Typisk dimensionering i dag



Energiforbrug og pladskrav



Tryktab i Aggregat

- Tryktabet i genvindingsflade / modstrømsveksler / rotorveksler
- Tryktabet i varmeflade
- Tryktab i køleflade
- Tryktab i tilslutningerne til aggregatet

Tryktab i kanaler

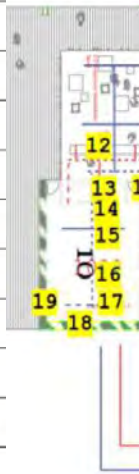
- Maks. 0,5 Pa/m [dimensionerne for små kanaler]
- Maks. 5 m/s [dimensionerne for store kanaler]
- Fokus på først at reducere kanaldimensioner efter afgreninger og ikke før.
- Fokus på bøjninger – Lange bøjninger har markant lavere tryktab end korte
- Tryktab i lyddæmpere

- Flexible slanger er tryktabet markant højere

Autoritet

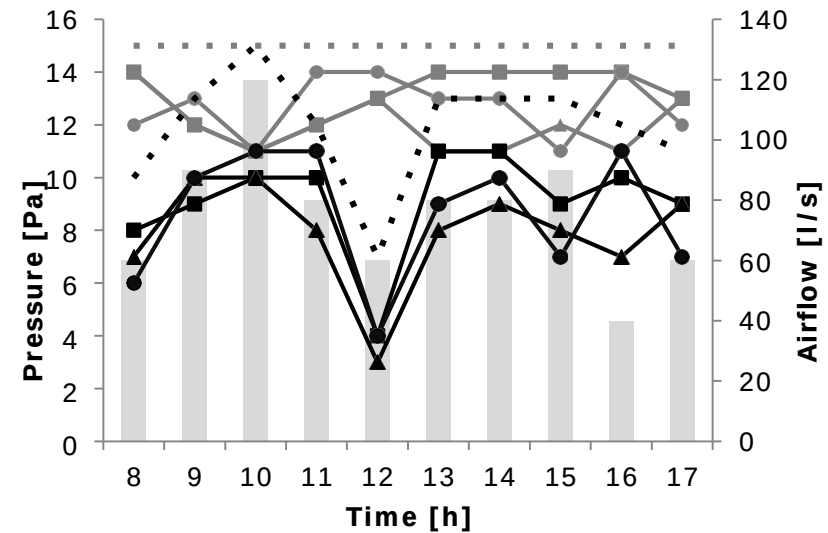
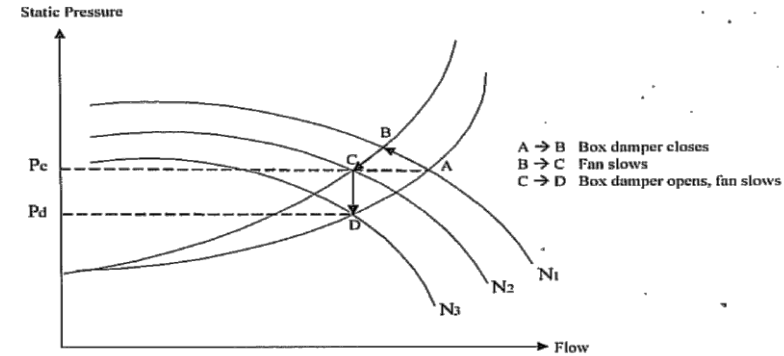
- Man skal sikre autoritet i systemet
- Tryktabet i spjæld, hvad skal der til før at det kan regulere og i hvilke område
- Autoritet skal ligge så tæt på hvor luften leveres som muligt
- Overvej om trykholdezoner er de nødvendige

Beregning af tryktab i kanalsystemer

Grunddata			Geometri						Beregning					Bemærkning
Navn	Kategori	Volumenstrøm (m³/h)	Kanal type	Bredde (mm)	Højde (mm)	Kanaldiameter (mm)	Kanallængde (mm)	Hydraulisk diameter (mm)	Hastighed (m/s)	Friktions- tab (Pa/m)	Manuel indtastning af (Pa)	Tryktab (Pa)	Sum tryktab (Pa)	
1	Strækning	5100	Cirkulær			630	2000		4,565	0,3486		0,70	0,70	
2	Manuel indtastning af enkelttab										2,5		3,20	Bøjning Lindab 630 lang
3	Strækning	5100	Cirkulær			630	8000		4,565	0,3486		2,79	5,99	
4	Manuel indtastning af enkelttab										2,5		8,49	Bøjning Lindab 630 lang
5	Strækning	5100	Cirkulær			630	2000		4,565	0,3486		0,70	9,18	
6	Fitting								5,772			9,43	18,62	
7	Strækning	4080	Cirkulær			500	5000		5,800	0,7236		3,62	22,24	
8	Fitting								5,344			2,26	24,50	
9	Strækning	3060	Cirkulær			500	6800		4,350	0,4222		2,87	27,37	
10	Fitting								3,563			1,84	29,21	
11	Strækning	2040	Cirkulær			450	6800		3,582	0,3348		2,28	31,48	
12	Fitting								2,255			3,37	34,85	
13 - lyddæmper	Manuel indtastning af enkelttab										5		39,85	
14	Strækning	1020	Cirkulær			400	2000		2,268	0,1669		0,33	40,19	
15	Fitting								2,174			2,38	42,57	
16	Strækning	610	Cirkulær			315	4000		2,191	0,2107		0,84	43,41	
17	Fitting								1,726			1,97	45,38	
18	Strækning	305	Cirkulær			250	2500		1,740	0,1849		0,46	45,84	
19	Manuel indtastning af enkelttab										15		60,84	damper + loft



“Nye” Tryk reducerende teknologier



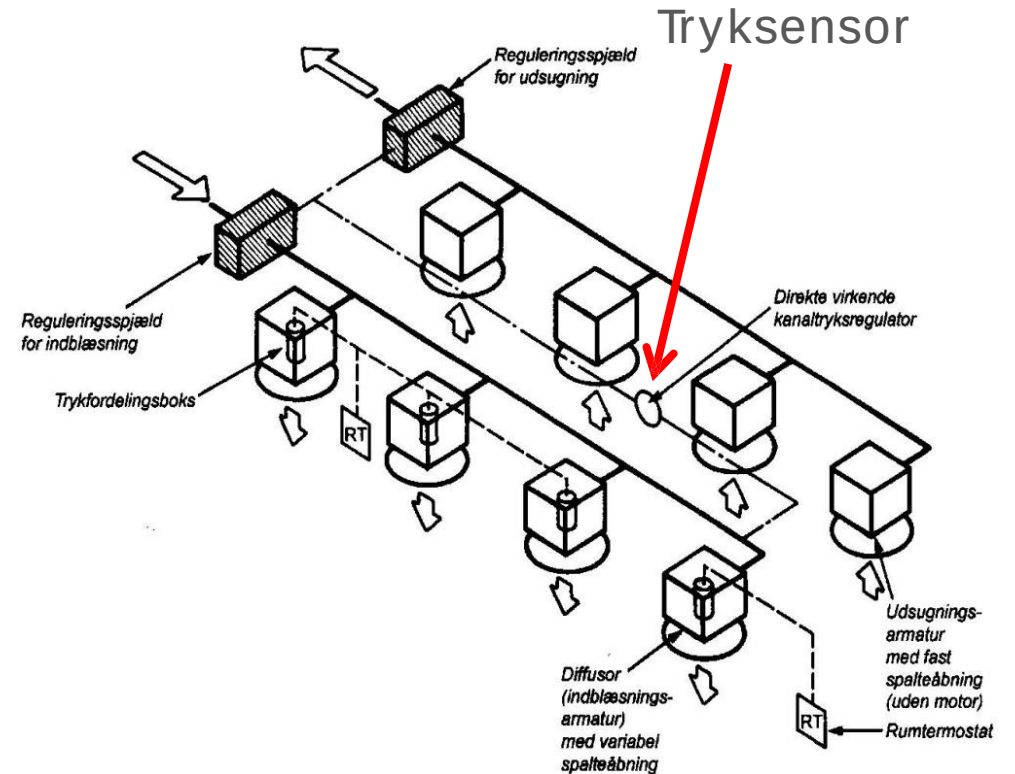
Regulering og styresystemer

Traditionelt

Behovstyret ventilation styres efter et fast statisk tryk et repræsentativt sted i kanalsystemet.

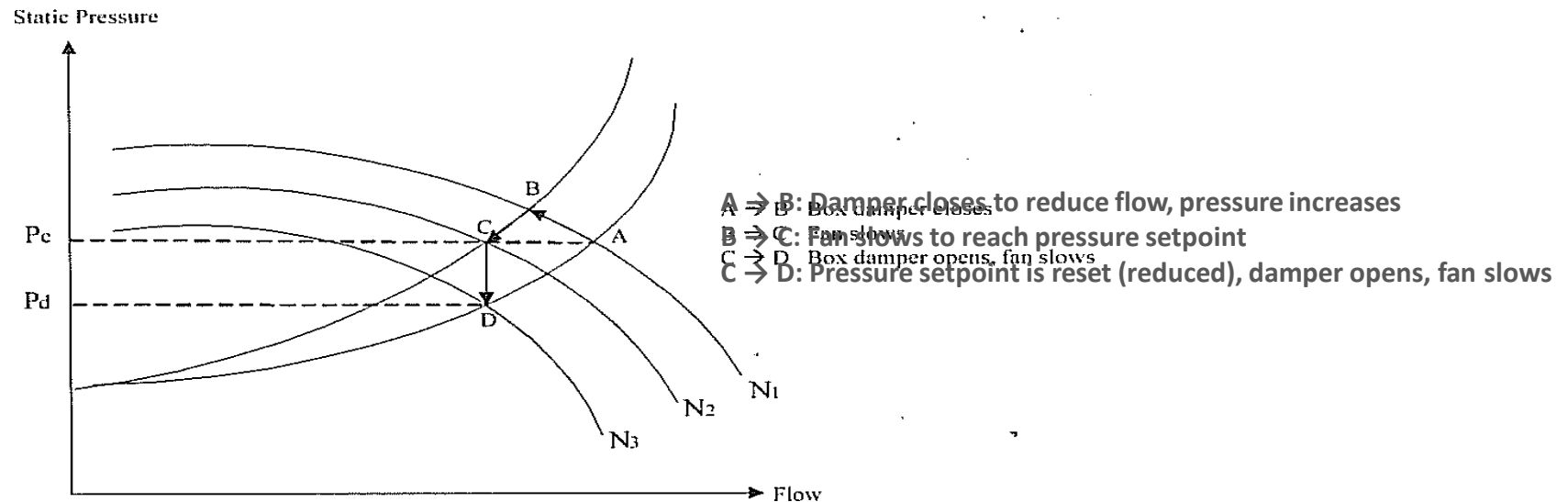
Tryk setpunktet fastsættes for maks. luftmængde

Da anlægget kun sjældent vil køre med maks. luftmængde betyder det at noget af trykket drøvles bort



Dynamic static pressure reset

”Static pressure reset” styring (SPR), hvor et spjæld altid er helt åbent kan give en besparelse på 20-40 % i forhold til fast statisk tryk.
Tilbagebetalingstid ned til 1 år afhængig af implementering og system størrelse.

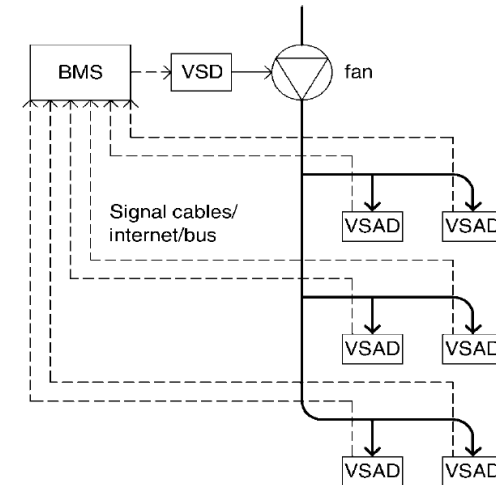
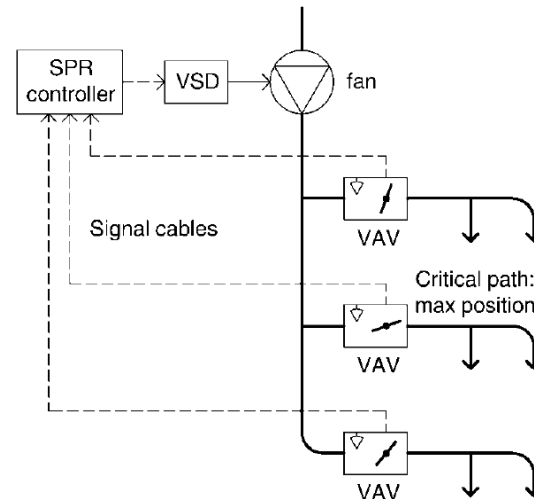
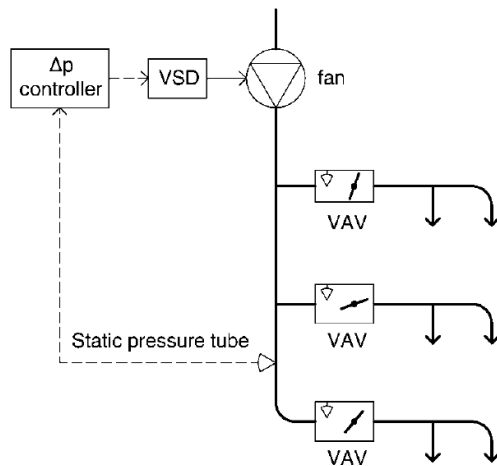


Først udviklet i 1989 i USA og er lovpligtig i Californien og andre stater, hvis man har spjæld med in- og output signal.

Dynamic static pressure reset

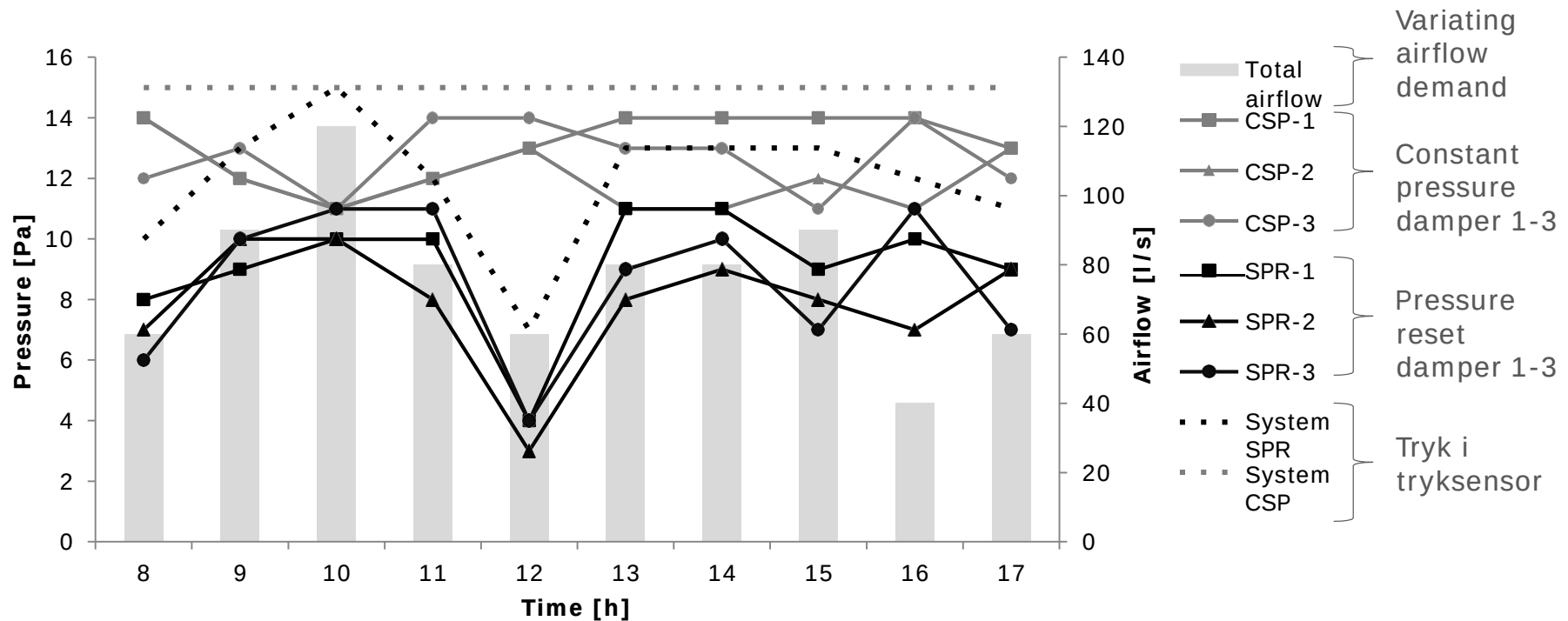
Spjæld- eller armaturproducenternes eget styresystem eller et der opbygges og integreres i CTS-anlægget.

- Varierer tryk efter tid, temperatur eller luftmængde
- Opdele anlæg i zoner med individuelle tryksensorer
- Styre ventilator efter spjældposition (kritisk spjæld 80-85 % åbent)



(D)SPR styring

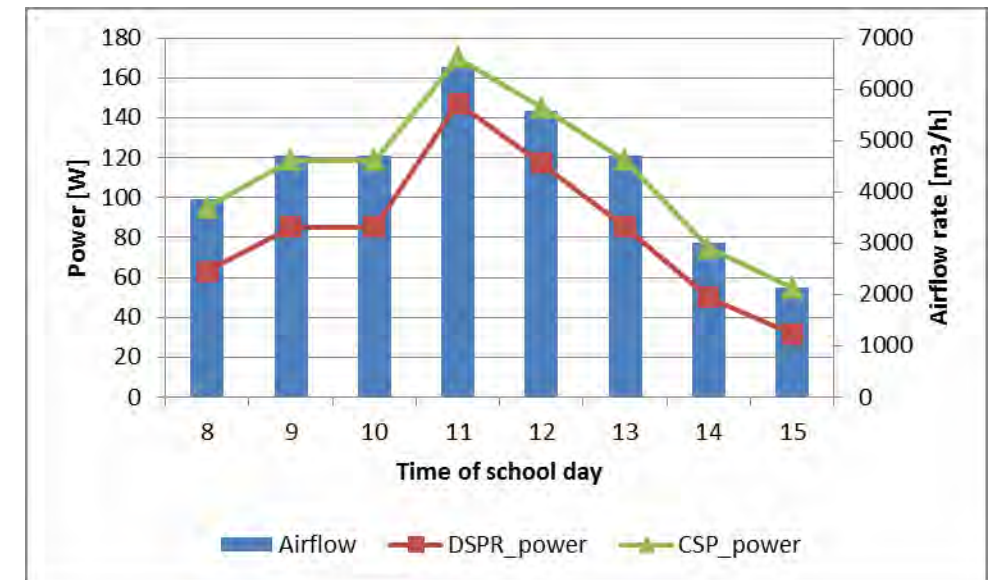
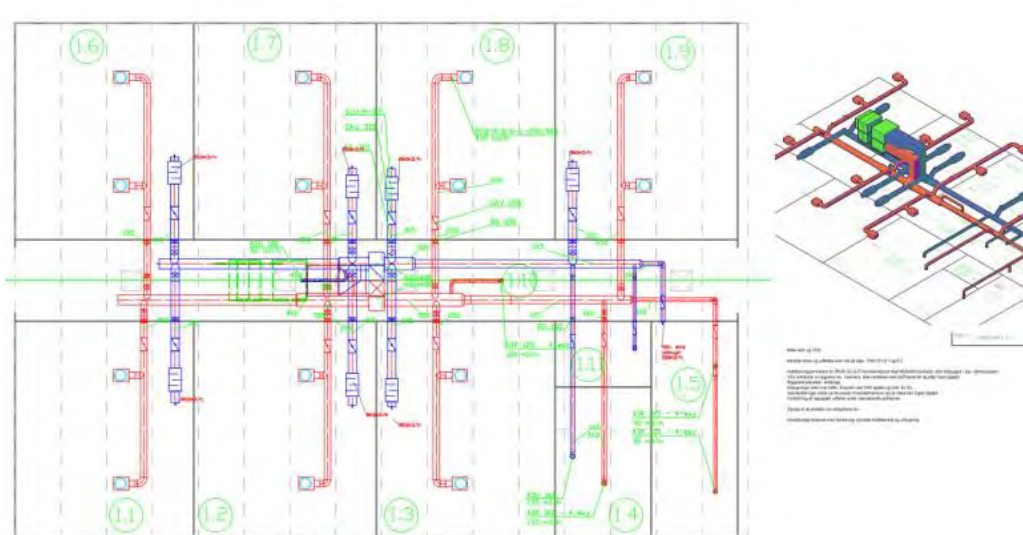
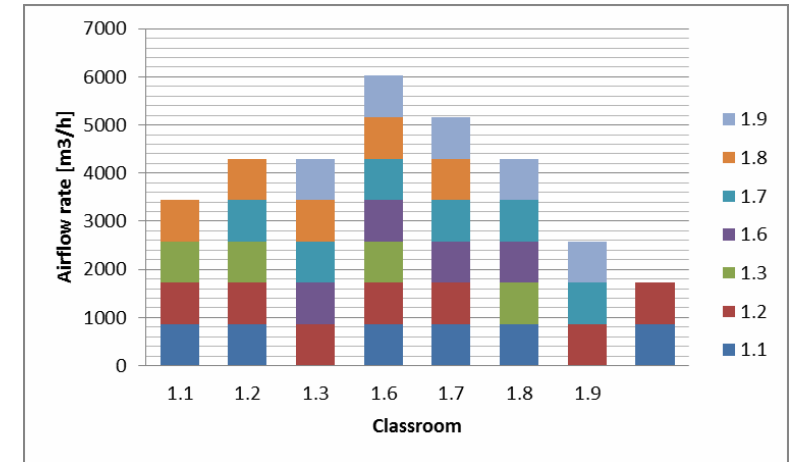
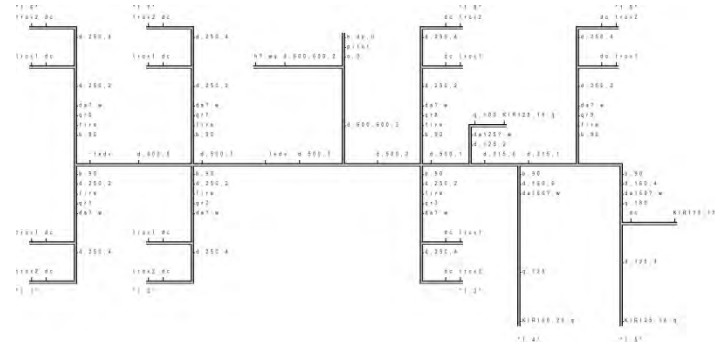
Tryktab i styresystem med SPR-algoritme



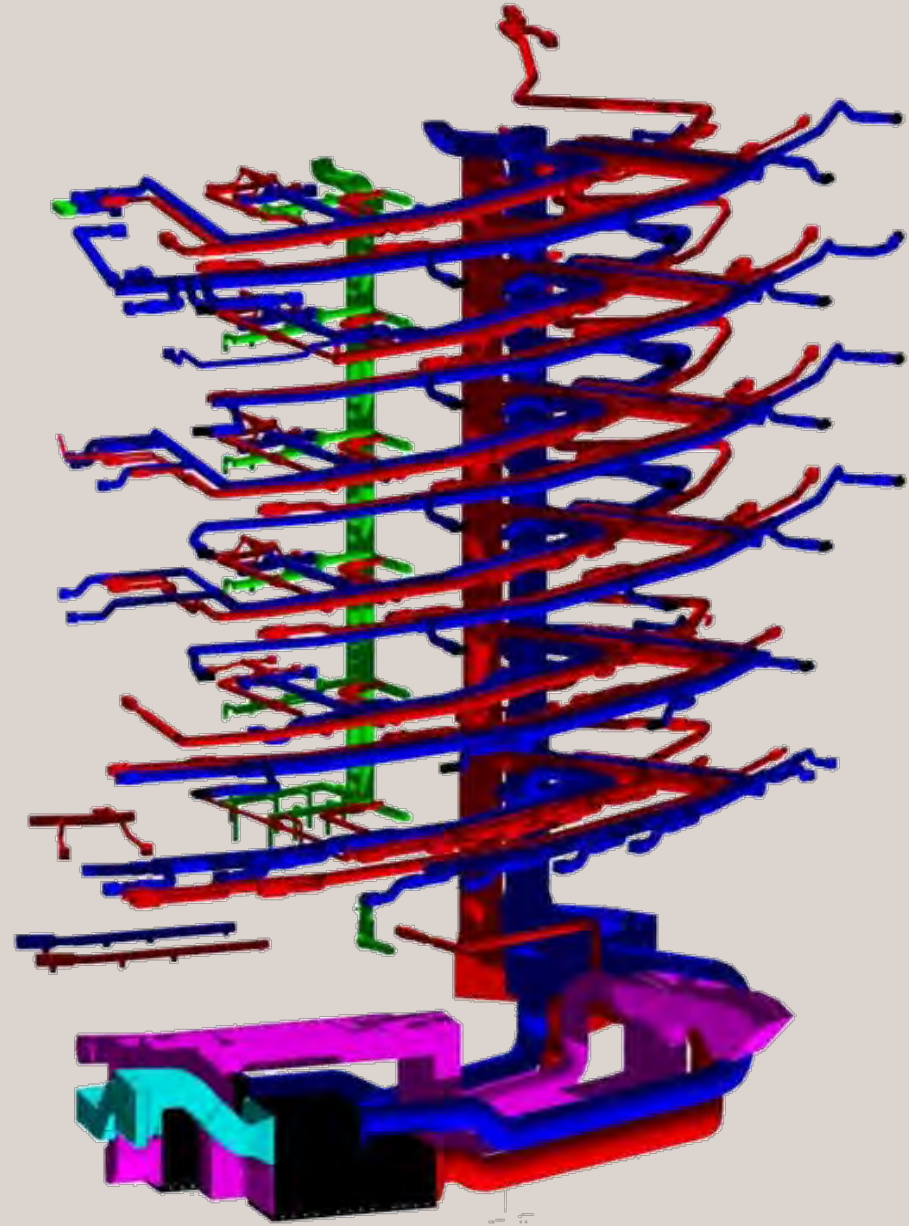
Behovstyret ventilation

Nyrup-skole

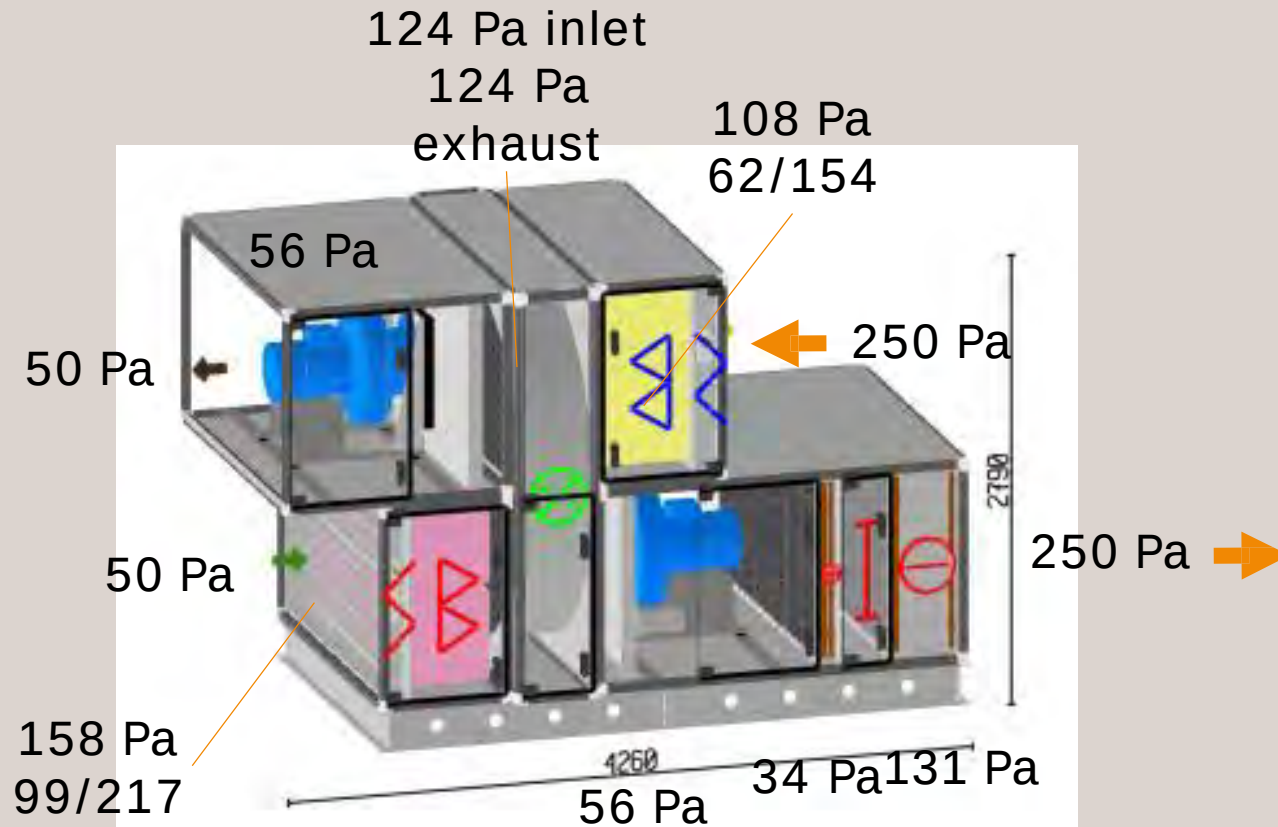
- Teoretisk studie baseret på etableret ventilationsanlæg
- Spjæld med trykmåling og DSPR
- Energibesparelse på typisk skoledag: 26%



Eksempel Lavenergi ventilation



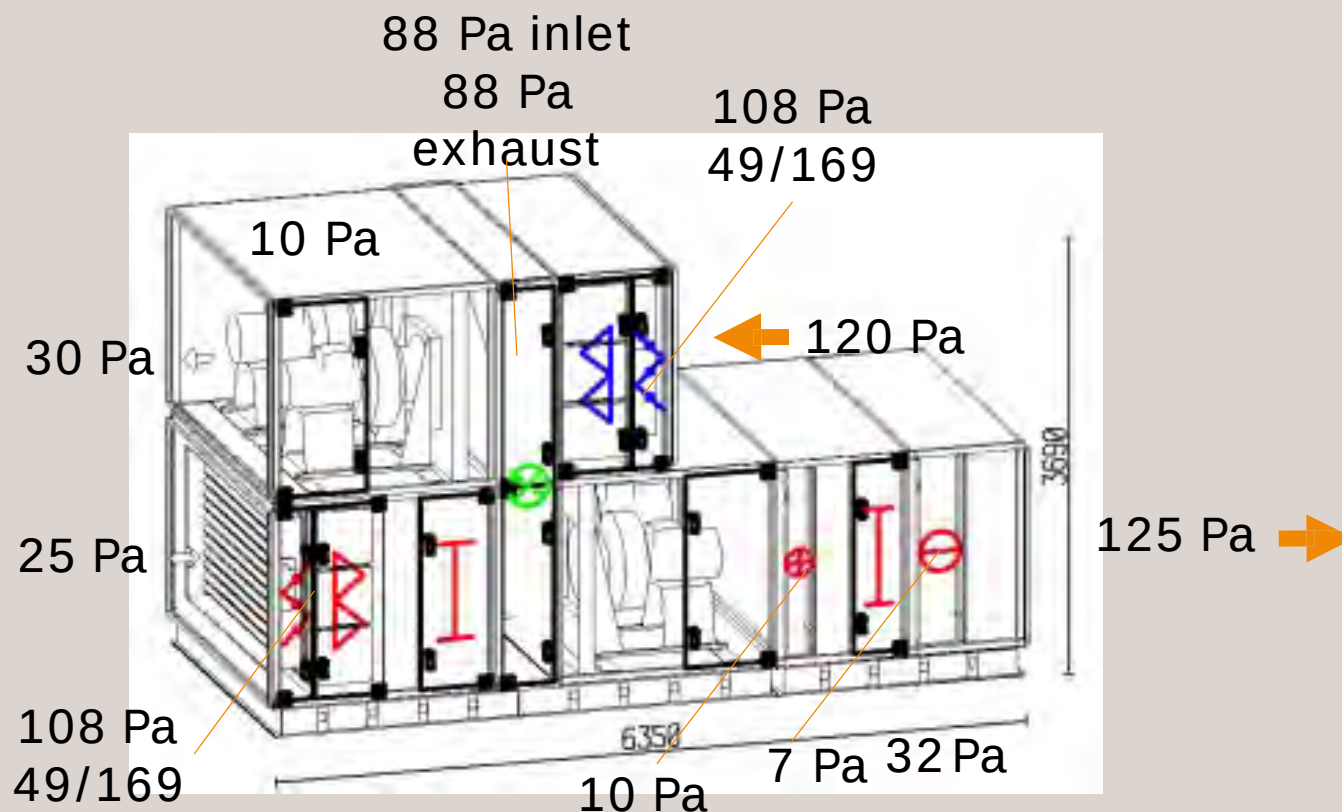
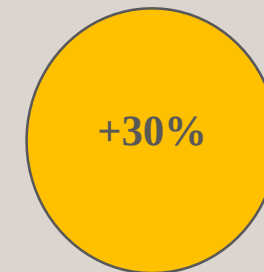
Case: Alm. aggregat - alm. størrelse kanaler



Totalt Tryktab: ≈ 1600 Pa
Energi til lufttransport (SEL/SFP): ≈ 2100 J/m³

Case: Større aggregat + ca. 30 % større kanaler

Beregnet tryktab



~~Trykholde
zoner
60-100 Pa~~

Totalt Tryktab: ≈ 780 Pa
Energi til lufttransport (SEL/SFP): ≈ 1050 J/m³

NIRAS

Case: Målt energiforbrug

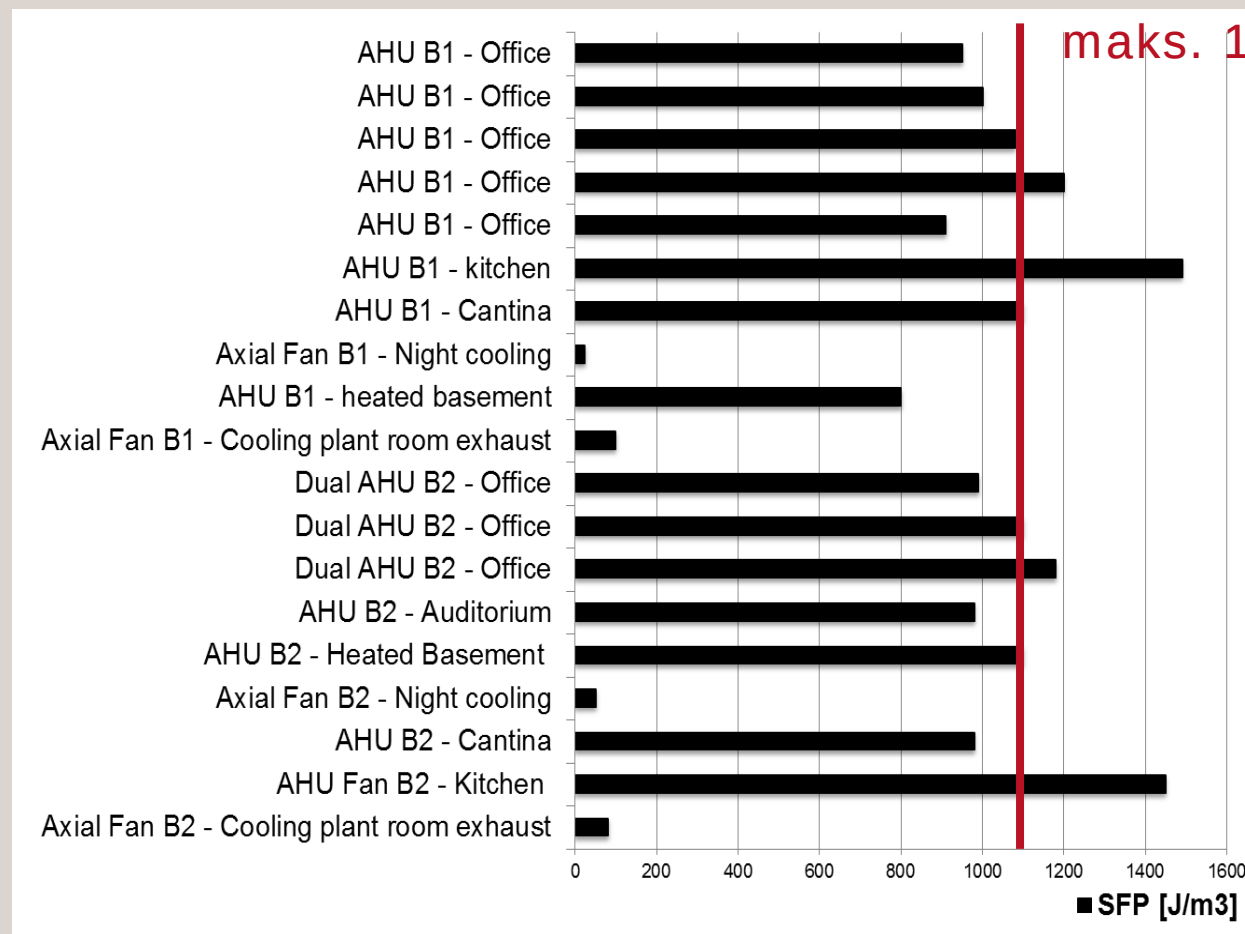
SFP/SEL værdi målt for de enkelte aggregater målt ved maks. luftmængder

Udbuds krav

maks. 1100 J/m³

Bygning 1 $\approx$ sum 180.000 m³/h

Bygning 2 $\approx$ sum 115.000 m³/h



Målt SFP - beregnet årsSFP

TABLE 1. Tids og flowvægtet gennemsnitlig års SEL [$SEL_{\text{år}}$]*

	B1	B2
Dagsventilation * *	800 J/m ³	790 J/m ³
Hybrid Nat køling	125 J/m ³	110 k/m ³

- Tids og flowvægtet middel $SEL_{\text{år}}$ beregning: $q_{v1} \times SEL_1 \times t_1 + q_{v2} \times SEL_2 \times t_2 \dots / q_{v1} \times t_1 + q_{v2} \times t_2 \dots$ hvor q_v = flow, t = drifttid for index 1,2,...,n = tilstand 1,2,...,n; f.eks tilstand 1 = 50 %, mode 2 = 75% etc.

** Ventilation kontortid, axial ventilatorer ikke inkluderet da de er idrift om natten.

*SEL flow maks. luftmængder [SEL_{maks}]***

	B1	B2
Dagsventilation * * * *	1080 kJ/m ³	1030 kJ/m ³
Hybrid Nat køling	150 kJ/m ³	140 kJ/m ³

*** Flow vægtet SEL_{maks} beregning: $(q_{v1} \times SEL_1 + q_{v2} \times SEL_2 + \dots) / (q_{v2} + q_{v1} + \dots)$ hvor q_v = flow for index 1,2,...,n = tilstand 1,2,...,n; f.eks tilstand 1 = 50 %, mode 2 = 75%.

**** Ventilation kontortid, axial ventilatorer ikke inkluderet da de kun er idrift om natten.

TAK