

HVORDAN GIVER ERFARINGERNE ANLEDNING TIL AT ARBEJDE MED TRYKTABSBEREGNINGER OG ENERGIFORBRUG?

Testprotokol



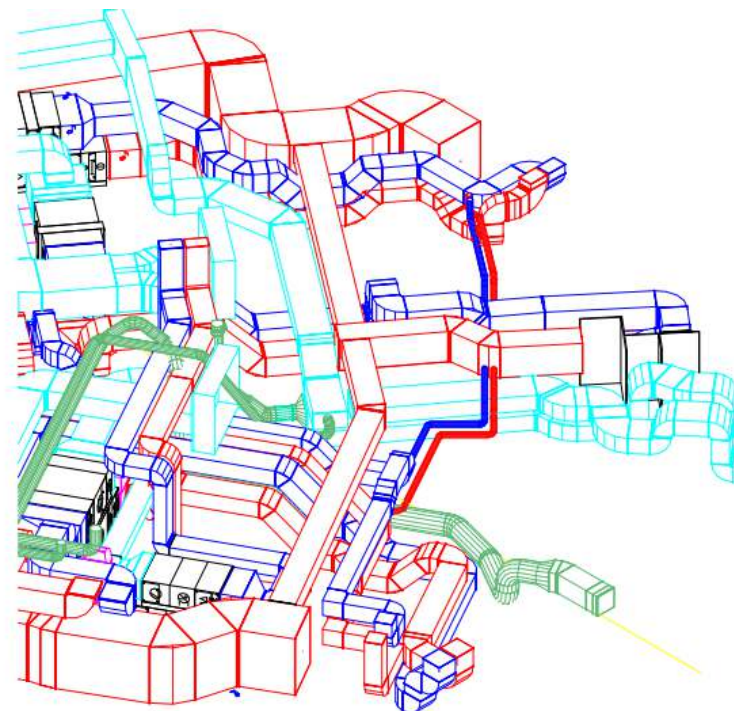
KORT OM INDLÆGSHOLDEREN

- Johannes Thuesen, ansat i Rambøll Odense siden 2000.
- Inden da 7 års baggrund inden for energioptimering i primært industri
- Fokus på lavenergibyggerier, HVAC-design, fagtilsyn, og gennem de sidste år performancetests
- P.t. udlånt til Bygningsstyrelsen i forbindelse med Mærsk Bygningen i KBH.



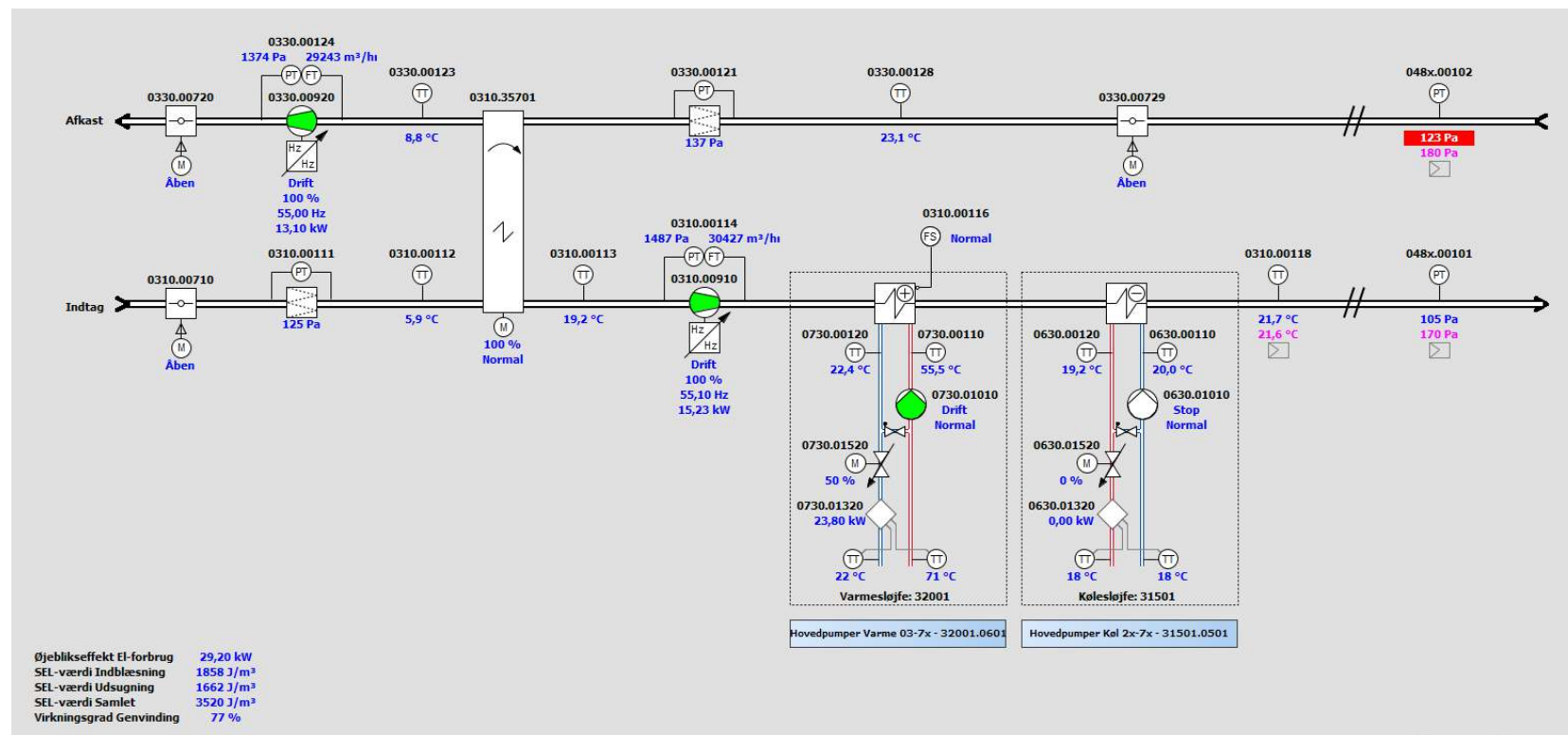
HVAD GØR VI HVIS VI STÅR MED ET ANLÆG, HVOR SEL-FAKTOREN ER FOR HØJ?

- Lovens krav er eventuelt ikke overholdt, og/eller bygherres krav ikke tilgodeset
- Tidsplaner skrider, brugerne har opsagt andre lejemål og flytter ind, SEL-faktorer eller ej.
- Hvad "siger" kommunen? – og bygherre?
- Hvem står med ansvaret? Entreprenørerne? De projekterende?
- Hvad er konsekvenserne for de kommende årtiers elforbrug?



EKSEMPEL PÅ PERFORMANCETEST

SEL-FAKTORER

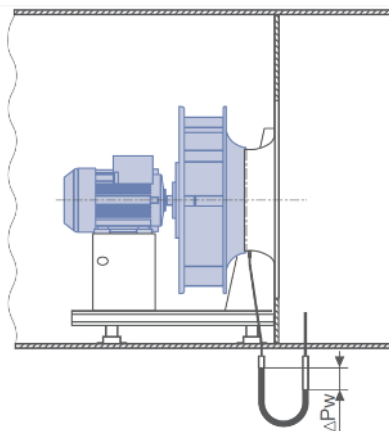
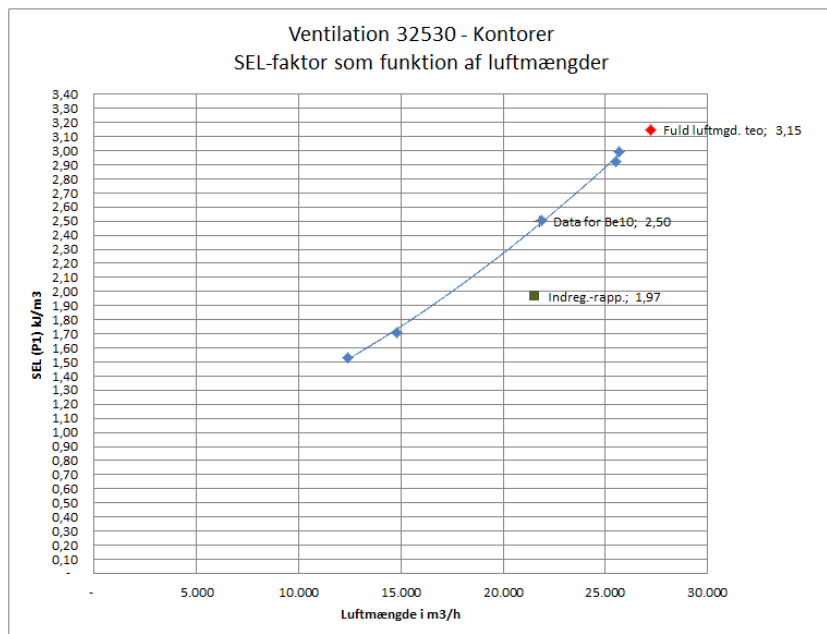


EKSEMPEL PÅ PERFORMANCETEST SEL-FAKTORER



Kriterie 1:
Udbudskrav VAV-
anlæg: SEL faktor
max. 1,8 kJ/m³.

Kriterie 2: Krav
BR10 for VAV-
anlæg: 2,1 kJ/m³
ved max. ydelse
og tryktab



HVAD GØR VI HVIS VI STÅR MED ET ANLÆG HVOR SEL-FAKTOREN ER FOR HØJ?

- Minutiøs kortlægning af trykforhold
- Forbedrede SEL-faktorer efter at anlæggene er etableret eller ibrugtaget? – til en vis grad måske muligt, men absolut uønsket
- I mange tilfælde vil det næppe være muligt at rette helt op på SEL-faktorer
- SEL-forbedringer efter etablering eller ibrugtagning er voldsomt dyre - i forhold til hvis strømningsforhold, tryktab og energiforbrug havde været tilgodeset inden anlæggene blev bygget.

Optimering indtag niv. 03
Dobbelt føring indblæsning og udsugning ved 32530
Sammenkobling af afkast i "bagende" niv. 03
Ændring af afkast ved 32538
Ændring ved indtag 32510.310, 32537, 32530, 32538
Ledeplade i fælles afkast
Udretning af kanalføring afkast for 32536
Reduktion af kanaltryk i skakte
Reduktion af tryk på etager - lht. E15AA
Reduktion af tryk på etager - Vurderet rimeligt
Øget afkastdimension for 32531
Aflastning af 32510-338 og -339 niv. 14 afkast
Supplerende afkast fra 32530
Demontere lyddæmpere på to anlæg i indtagsskakt
Udskiftning af filtre til lange filtre indblæsning
Udskiftning af filtre til lange filtre udsugning
Udskiftning af F7 filtre i udsugning til lange M5
Ledeplader i hovedkanaler for indblæsning, LAB
Udfletninger i kerne 1
Udretning af kanalføring af afkast på 32534
4 ekstra indblæsningsanlæg på 32510, LAB

LUFTSTRØMNING

- Har vi tabt fornemmelsen for hvordan luft bevæger sig, og hvilke konsekvenser de respektive valg har?
- Overse ingeniørteknisk viden og grundighed i parternes iver efter suboptimering?



HVAD GØR VI FOR AT KOMME I MÅL MED PERFORMANCETEST VEDR. SEL-FAKTORER?

PROJEKTERING

- Der påhviler de projekterende et væsentligt ansvar i designfasen, hvor pladsforhold afsættes: Teknikrum - føringsveje – over lofter
- Det skal – via dokumenterede beregninger - stå klart i projekteringsfasen at anlæggene vil kunne leve op til stillede krav til energiforbrug.
- Tommelfingerregler kan være gode (f.eks. 0,5 Pa/m i kanaltryktabel eller 300 Pa eksternt tryk for et aggregat), men de er ikke i sig selv brugbare ift. om det "går godt"!
- Udfør tryktabsberegninger – regnearksbaseret, med hjælp fra BIM-modeller, eller via en kombination af begge dele. De endelige tryktabsberegninger skal tilgodese tab i *alle* komponenter.

TRYKTABSBEREGNINGER

KRITISKE VEJE

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Indblæsning & Indtag										Vedr.:	Syddansk Universitet	Beregnet af:	JDB	$\rho_{Lu} (10^\circ C) = 1,249 \text{ kg/m}^3$		Absolutte ruheder, k:		0,15 m				
2	Udsugning & Afkast												Date:	3. februar 2015	$\rho_{Lu} (20^\circ C) = 1,205 \text{ kg/m}^3$		sprælfaldet g:		0,6 m				
3											Sagsnr.:	1100010793	Kontrol af:		viskositet ($10^\circ C$): 0,0000142 m ² /s		betonrør		0,6 m				
4													Date:		viskositet ($20^\circ C$): 0,0000151 m ² /s		stålør		0,25 m				
Pkt./stræk	Luftmængde [m ³ /h]	Luftmængde [l/s]	Kanal dimension Ø [mm]	Hydraulisk diameter [mm]	Hastighed [m/s]	Længde [m]	Dynamisk tryk [Pa]	Enkeltmodstand ζ	Tryktab pr. m [Pa/m]	Tryktab [Pa]	1 tryktab [Pa]	Bemærkninger	Colebrook-White's formel	Re	λ gæt	λ	Betingelse	λ gæt	λ				
61 27-28	500	139	250	250	2,83		4,82	0,00	0,00	95,23	gennemløb	27											
62 28-29	500	139	250	250	2,83	0,4	4,82	0,34	0,13	95,36	rørtab	46.844,722	0,01740328	0,0174033	0,017403	-3,123E-17							
63 28-29	500	139	250	250	2,83		4,82	0,15	0,00	96,08	reduktion	28											
64 29-30	500	139	250	250	2,83	1,9	4,82	0,34	0,64	96,72	rørtab	46.844,722	0,01740328	0,0174033	0,017403	0							
65 29-30	300	83	200	200	2,65		4,24	0,00	1,50	98,22	gennemløb	29											
66 30-31	300	83	200	200	2,65	2,9	4,24	0,39	1,13	99,35	rørtab	35.133,542	0,01832901	0,018329	0,018329	0							
67 30-31	300	83	200	200	2,65		4,24	0,26	1,10	100,45	bojninger												
68 30-31	200	56	200	200	1,77	4	1,88	0,17	0,69	101,14	rørtab	23.422,361	0,01833461	0,0183346	0,018335	0							
69 31-200	56	200	200	200	1,77		1,88	0,00	20,00	121,14	VAV spjæld												
70 31-200	56	200	200	200	1,77	0,6	1,88	0,80	0,48	121,62	lyddæmper												
71 31-200	56	200	200	200	1,77		1,88	0,00	8,00	129,62	RS14-H-S-2-200												
72																							
73 2-32	360	100	200	200	3,18		6,10	0,00	10,00	67,47	afgrening												
74 32-360	100	200	200	200	3,18	7,1	6,10	0,56	3,97	71,44	rørtab	42.160,250	0,01832714	0,0183271	0,018327	0							
75 32-360	100	200	200	200	3,18		6,10	0,63	3,85	75,29	bojninger												
76 32-360	100	200	200	200	3,18		6,10	0,00	50,00	125,29	CAV spjæld												
77 32-360	100	200	200	200	3,18	0,6	6,10	0,80	0,48	125,77	lyddæmper												
78 32-360	100	200	200	200	3,18		6,10	0,00	7,50	133,27	T-stykke												
79 32-33	180	50	160	160	2,49	2,4	3,73	0,45	1,08	134,35	rørtab	26.350,156	0,01933062	0,0193306	0,019331	0							
80 33-180	50	160	160	160	2,49		3,73	0,25	0,93	135,28	bojning												
81 33-180	50	160	160	160	2,49		3,73	0,00	20,00	155,28	RS14-H-S-2-200												
82																							
83 8-34	1300	361	315	315	4,63		12,94	0,00	11,50	77,66	afgrening												
84 34-1300	361	315	315	315	4,63	7,8	12,94	0,68	5,29	82,95	rørtab	96.663,712	0,01651344	0,0165134	0,016513	0							
85 34-1300	361	315	315	315	4,63		12,94	0,00	20,00	102,95	VAV spjæld												
86 34-35	1300	361	500 x 150	231	4,81		13,97	0,15	0	105,05	reduktion												
87 35-1300	361	700 x 150	247	3,44	1,4		7,13	0,50	0,70	105,75	rørtab	56.269,749	0,01744878	0,0174488	0,017449	0							
88 35-36	1300	361	315	315	4,63		12,94	0,15	1,94	107,69	reduktion												
89 36-1300	361	315	315	315	4,63	2,1	12,94	0,68	1,42	109,11	rørtab	96.663,712	0,01651344	0,0165134	0,016513	0							
90 36-1300	361	315	315	315	4,63	0,6	12,94	0,80	0,48	109,59	lyddæmper												
91 36-37	433,3	120	250	250	2,45		3,62	0,15	0,54	123,68	reduktion												
92 37-433,3	120	250	250	250	2,45	7,6	3,62	0,25	1,92	125,59	rørtab	40.785,759	0,01740481	0,0174048	0,017405	0							
93 37-38	433,3	120	250	250	2,45		3,62	0,00	0,91	126,50	bojning												
94 38-433,3	120	250	250	250	2,45		3,62	0,25	15,00	141,50	RS14-H-S-2-315												
95 38-433,3	120	250	250	250	2,45		3,62	0,00				KRITISKE PUNKT											
96 38-433,3	120	250	250	250	2,45		3,62	0,00				Δp =											

Kritiske punkt

Risiko for høje tryktab og dermed høje SEL-faktorer øges generelt med anlæggenes udstrækning. Lange – og eventuelt komplicerede – kanalstrækninger er udsatte.

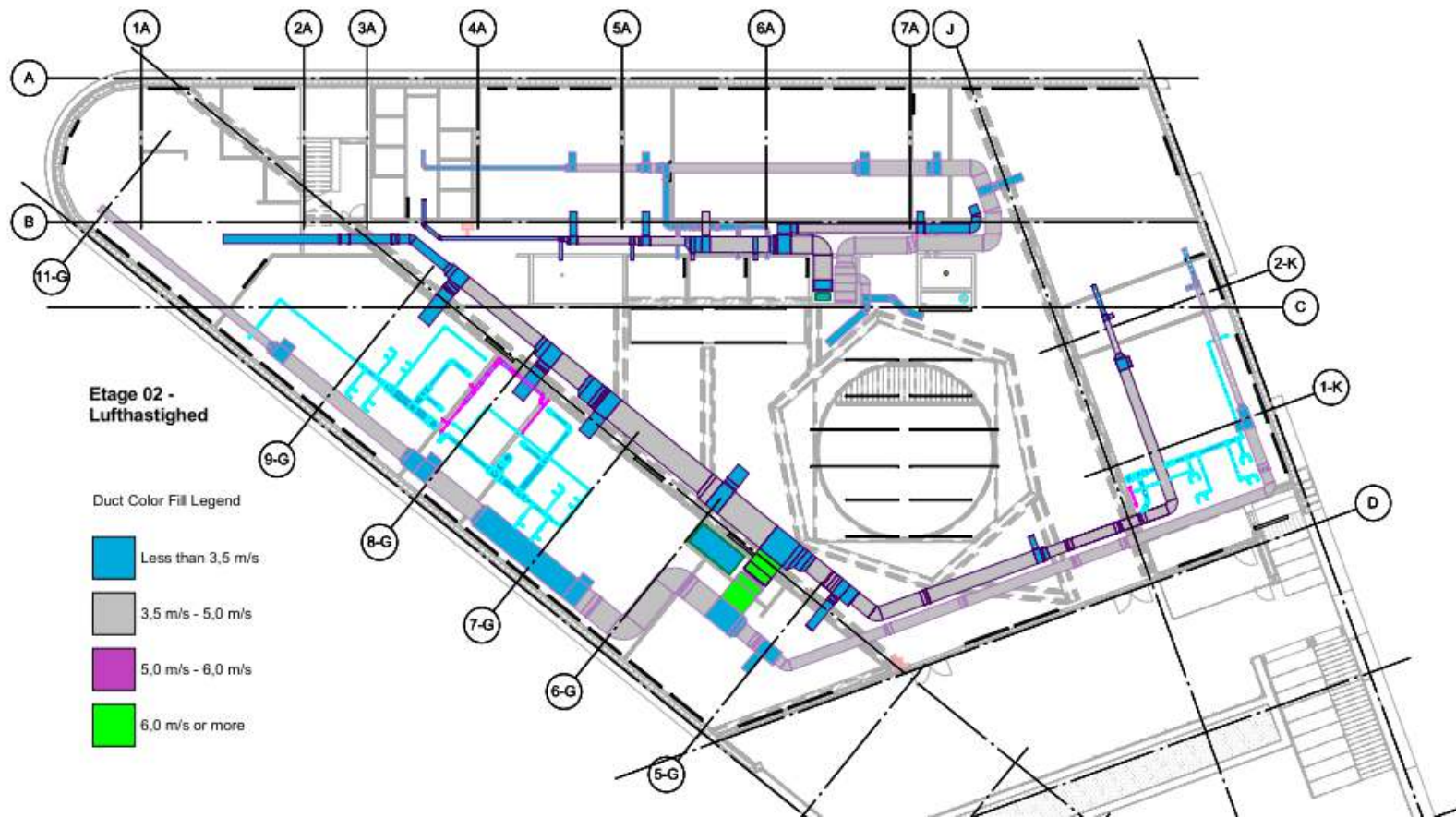
TRYKTABSBEREGNINGER - VIA BIM

EKSEMPEL PÅ VISUALISERING AF LUFTHASTIGHEDER



TRYKTABSBEREGNINGER - VIA BIM

EKSEMPEL PÅ VISUALISERING AF LUFTHASTIGHEDER



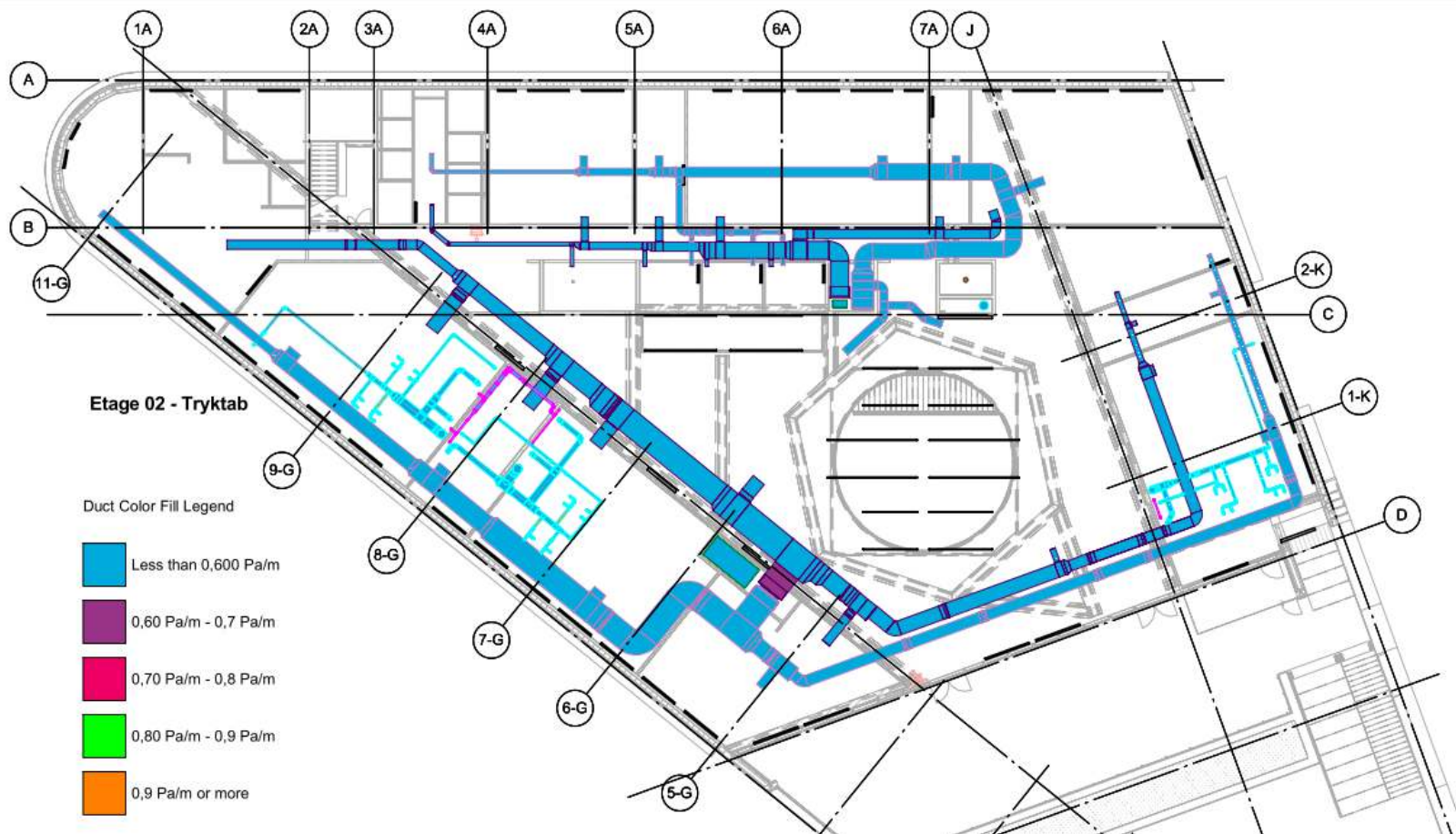
TRYKTABSBEREGNINGER - VIA BIM

EKSEMPEL PÅ VISUALISERING AF TRYKTAB



TRYKTABSBEREGNINGER - VIA BIM

EKSEMPEL PÅ VISUALISERING AF TRYKTAB



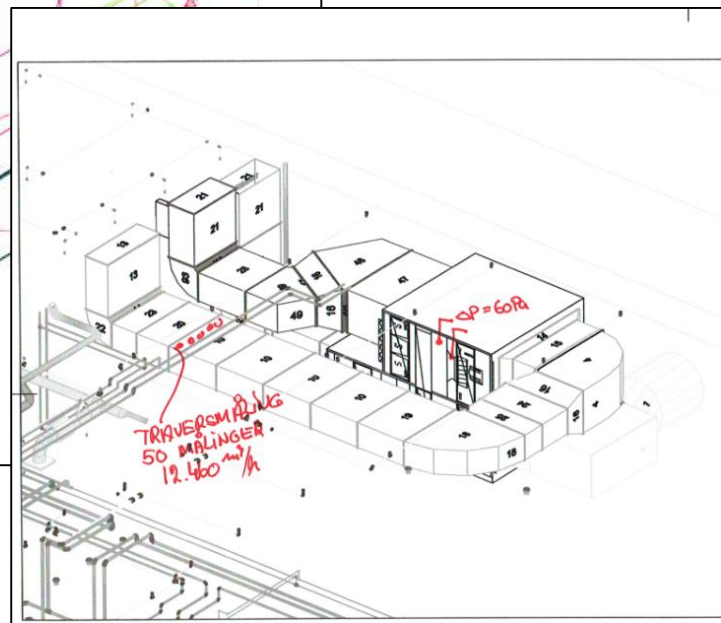
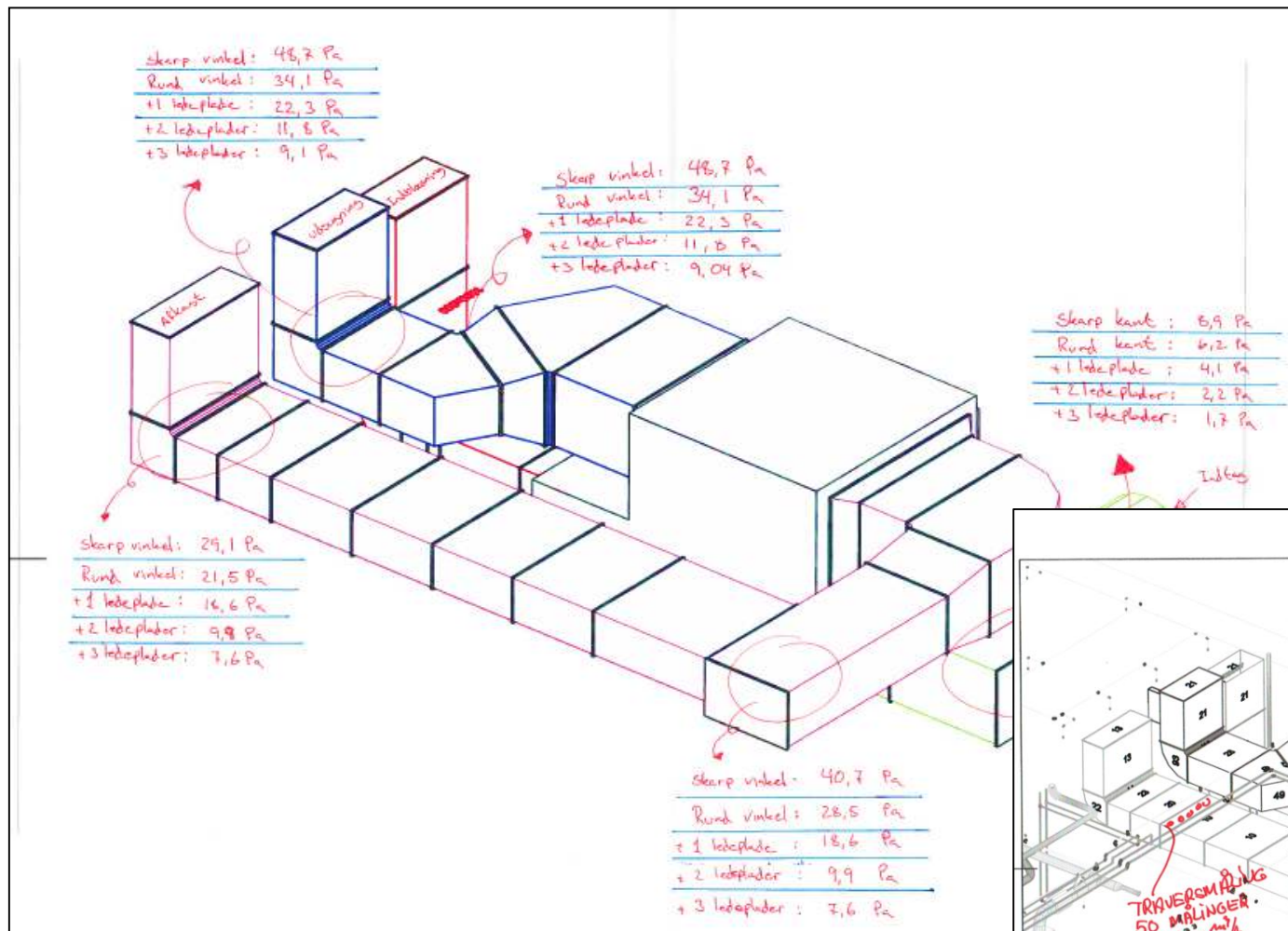
TRYKTABSBEREGNINGER - VIA BIM



- Er alle tryktabsgivende elementer faktisk inde i modellen, eller er dele udeladt?
- Er de specifikke tryk som der regnes for enkeltkomponenter svarende til faktiske, kommende forhold?
- Har vedkommende der arbejder med BIM-modellen det fulde overblik over *hvorledes der regnes* i modellen?
- Uanset om der anvendes BIM eller andre værktøjer – eller en kombination – er det vigtigt at alle komponenter og detaljer tilgodeses og indregnes.

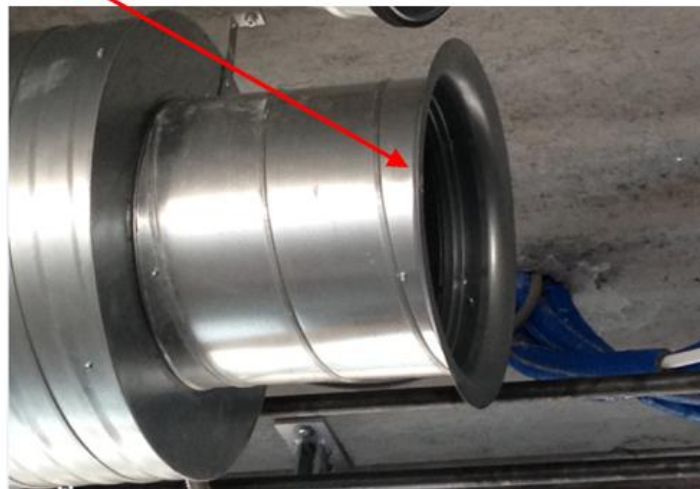
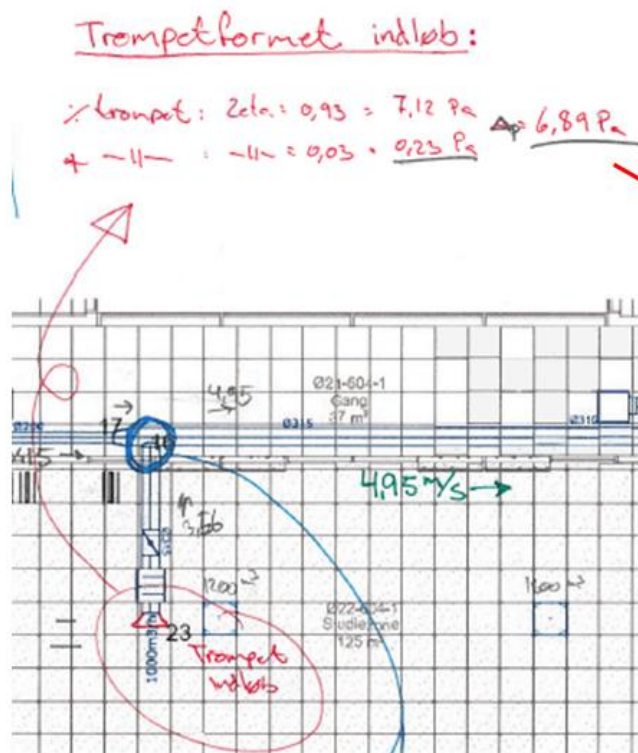
DETALJERNE SKAL TILGODESES

EKSEMPEL 1 FRA SAMPROJEKTERINGSFASE



DETALJERNE SKAL TILGODESES

EKSEMPEL 2 FRA SAMPROJEKTERINGSFASE

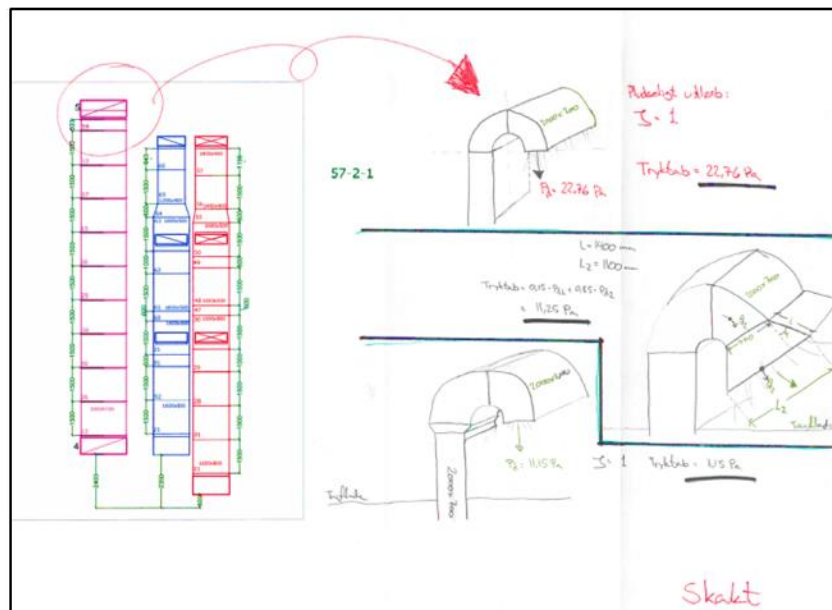


-> Trompetformede indsugninger (ILR)

- Lidt har også ret. Det samlede eksterne tryktab afgøres af en lang serie af større og mindre detaljer. Summen er afgørende.

DETALJERNE SKAL TILGODESES

EKSEMPEL 3 FRA SAMPROJEKTERINGSFASE



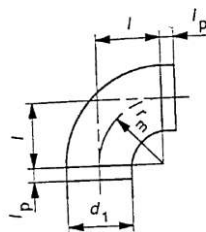
Tværsnitsarealet øges ud mod selve afkastet.

- Projektoptimering og granskning af valgte detailløsninger. Oprettning af samlede tryktabsberegninger så konsekvenser af valgene synliggøres

KORT BØJNINGER (REF. DS 1506)

Table 3 — Radius of bends

d_i in mm	r_m in mm
≤ 100	100
> 100	d_i

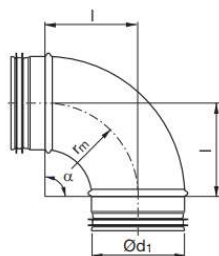


Bøjning

BU 90°



Dimensioner

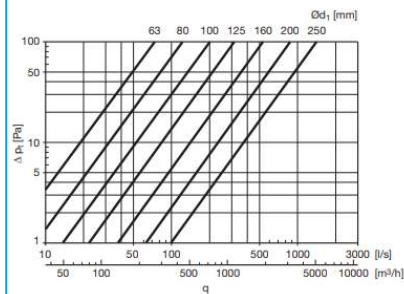


$$r_m \approx 1 \cdot d_1$$

Ød ₁ nom	l mm	m kg
63	110	0,20
80	105	0,26
100	100	0,31
125	125	0,48
160	160	0,62
200	200	1,12

Beskrivelse

Presset, trådsvejset og kalibreret.

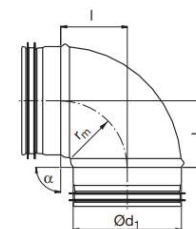


Bøjning, kort

BKU 90°



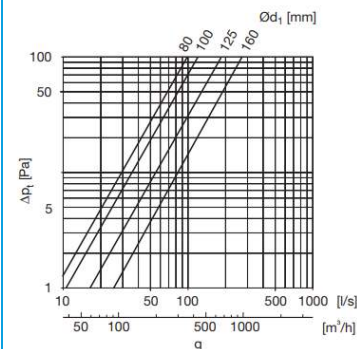
Dimensioner



$$r_m \approx 0,6 \cdot d_1$$

Beskrivelse

Presset bøjning, med kort bygglængde.



Ød ₁ nom	l mm	m kg
80	80	0,14
100	62	0,22
125	79	0,31
160	94	0,50

REFERENCEBEREGNINGER FOR AGGREGATER

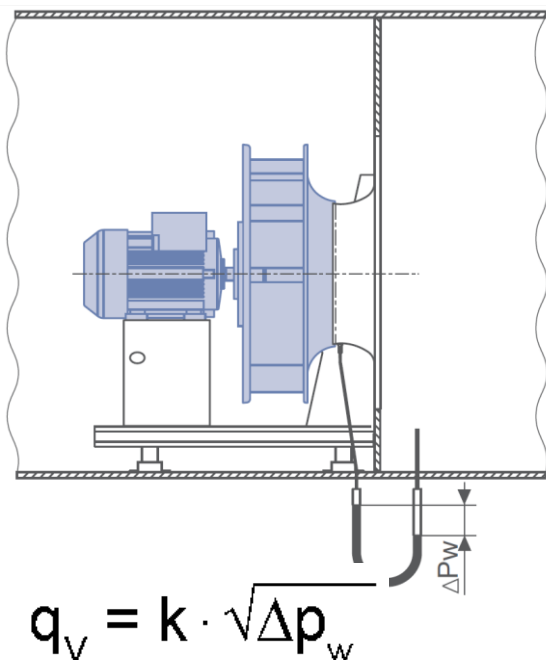
TILBUD. NR	158 rev. 1
Leveringstid	ihl. nærmere aftale
Emne	SDU
Aggregattype- og str.	NKG-08
Vægt [kg] / cirka	5.100
Længde [mm]	5.300
Bredde [mm]	3.600
Højde [mm]	3.650

Tekniske data	Indblæsning	Udsugning	Enhed / Fabrikat	
Ekstern tryk	350	350	Pa	
Aggregat tryk	207	187	Pa	
Total tryk stat. Starttryk	557	537	Pa	
Luftmængde / vægtet 80%	35000 / 28000	35000 / 28000	m³/h	
Specifik elforbrug 35000 / vægtet 80%	1783 / 1702 incl. omformer med 97% virkningsgrad		J/m³	
Ventilator x 2	PF-900	PF-900	Ziehl abegg	Ziehl abegg
Omdrejninger	787	756	o/m	
Effektforbrug	4,2	4,0	kW	
Virkningsgrad, tot hjul	76,300	73,8	%	
Dynamisk lufttryktab	28	28	Pa	

Ekst. tryk	Aggregat/kabinet		Reduktion	
	NKG-07	NKG-08	NKG-08 ift. 07	
Pa	SEL kJ/m3	SEL kJ/m3	SEL kJ/m3	SEL %
350	1,88	1,71	0,17	9
300	1,72	1,53	0,19	11
250	1,56	1,36	0,20	13

- Risikovurdering: Hvilken sikkerhed skal indlægges i forhold til beregningsmæssig opgørelse af SEL-faktorer inden byggefasen?

MÅLEMETODER OPGØRES I PROJEKTERINGS-FASEN, SÅ DER IKKE OPSTÅR TVIVL



Varmetrådsanemometer:
50 målinger ~ **12.460 m³/h.**

Trykmåling:
60 Pa
Luftmængde= $789 \times \sqrt{60} \times 2 =$
12.223 m³/h.

AT KOMME I MÅL MED TRYKTAB OG SEL-FAKTORER I FORBINDELSE MED UDFØRELSE

- Specifikke produktvalg kan være meget betydende. Valgene skal inden indkøb og montage konsekvensberegnes i afsluttende tryktabsberegning (samprojektering, efter at entreprenør er valgt)
- Kvaliteten af udførelsen er af væsentlig betydning for vellykket sluttest af SEL-faktor. Eksempler: Anvendte typer af bøjninger, kvalitet af påstik, indbyrdes placering af spjæld og komponenter, detaljer og valgte volustater osv.
- Fagtilsynet skal spille en væsentlig og proaktiv rolle i forbindelse med at sikre detaljer omkring udførelse og dermed sammenhæng ift. beregningsforudsætninger.
- I byggeledelsen bør have indgående indsigt i tekniske installationer, især ved detailplanlægning af de tekniske fag samt ved udførelse, idriftsætning og tests af installationerne.