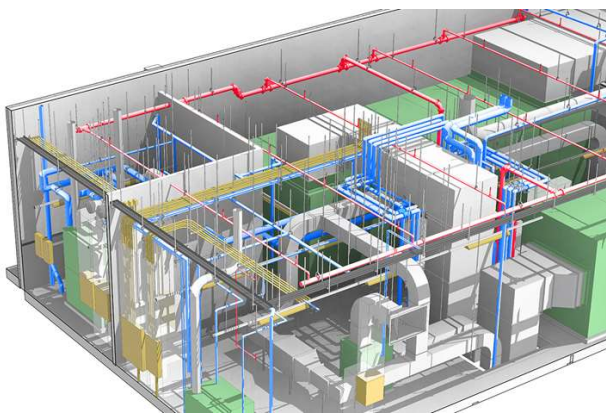




SEL-VÆRDI

Bachelorafhandling

Dato: 19. december 2018

MASKINMESTER SKOLEN KØBENHAVN

MSK-vejleder:

Andreas Jonassen

Studienummer: 2015731

Titelblad

Art: Professionsbachelorprojekt

Titel: SEL-værdi

Forfatter: Andreas Peter Jonassen

Studienummer: 2015731

Uddannelsesinstitut: Maskinmesterskolen København

Uddannelsesinstitut adresse: Gyrithe Lemches Vej 20
2800, Kgs. Lyngby

Modul: 9 modul

Praktikvirksomhed: Sweco Danmark A/S, Facilities Management, CTS-/Cx-gruppen

Praktikvirksomhed adresse: Ørestads Boulevard 41
2300, Kbh. S

MSK-vejleder: Adjunkt

Virksomhedsvejleder:

ECTS Point: 15 ECTS Point

Antal anslag: 78.300

Antal sider: 82

Antal eksemplarer: To hard copy og en digital aflevering på Wiseflow.

Afleveringsdato: 19-12-2018, Kl. 12:00

Fortrolighed: Denne rapport må **IKKE** offentliggøres.

Underskrift:

Andreas Peter Jonassen 19-12-2018

Forord

Denne rapport er resultatet af en bachelorafhandling udarbejdet i praktikvirksomheden Sweco Danmark A/S. Afhandlingen er skrevet i forbindelse med maskinmesteruddannelsen.

Bachelorrapporten indeholder et ledelsesorienteret og et teknisk kapitel. Problemstilling, der danner grundlag for bachelorprojektet, er selvvalgt og ud fra interesse.

Undertegnede vil gerne benytte muligheden til at rette en personlig tak til praktikvirksomheden Sweco Danmark A/S. Igennem bachelorprojektforløbet har undertegnede været i kontakt med mange kompetente og kyndige personer som har bistået mig med dataindsamling, assistance, sparring og vejledning.

Jeg vil gerne benytte muligheden for at takke følgende for at have anvendt deres kostbare tid på at stille op til interviews:

- Diplomingeniør
- Bygningskonstruktør
- Bygningsingeniør
- Maskinmester
- Smed/ventilationsmontør/indreguleringsmand
- Maskinmester
- Ingeniør

Yderligere vil undertegnede gerne anvende muligheden for at give en særlig tak til følgende personer, der har medvirket til en fagligudvikling igennem forløbet:

- Maskinmester– MSK-vejleder
- Maskinmester
- Maskinmester
- Elektriker
- Ingeniør

Til sidst rettes en hjertelig tak til min familie, for at have udvist stor tålmodighed igennem bachelorprojektperioden.

København, december 2018.

Andreas Jonassen

Abstract

In 2002, 10% of Denmark's total energy consumption was committed to ventilation purposes. In 1995, the Danish Building Regulations (BR) introduced an upper limit for the specific energy consumption in transportation of air, also known as the SFP (Specific Fan Power).

The construction business is characterized by many flaws during the construction processes. Some of the main problems is that the consultants have not performed quality assurance on their own materials or have not tested for collisions in the 3D model, which results in a lack of clearance surrounding the technical installations.

It is often shown that the total power consumption for a new building is over the set limit from the Danish BR, which violates applicable legislations. The SFP-value is determined by the total power consumption of the intake and exhaust, divided by the maximum air flow from the same intake or exhaust.

For this final bachelor thesis, this assignment will examine two questions.

1. How do changes in building processes affect the compliance with the SFP-value?

DS 447 describes the specified requirements and how to calculate the SFP-value, but not how to measure it.

2. What is the result of measuring the SFP-value, using either a performance test or by using a functional test? And what will the operational cost be?

This bachelor project collects data on qualitative interviews, quantitative measurements and observations. Theories are gathered from studying books. From this, data and theories are analysed, and conclusions has been obtained.

Changes that occur through the construction process affects the SFP-value.

On two measurements made on the same assumptions, a deviation of 16.4% has been shown.

Nomenklatur

BYGST:	Bygningsstyrelsen
BR:	Bygningsreglementet
KS:	Kvalitetssikring
BMS:	Building Management System
CTS:	Central Tilstandskontrol og Styring
Cx:	Commissioning
TR:	Totalrådgiver
SBI:	Statens Byggeforskningsinstitut
FRI:	Foreningen af Rådgivende Ingeniører
VAV:	Variable luftmængde
CAV:	Konstante luftmængde
SEL:	Det specifikke elforbrug ved lufttransport
SFP:	Specific Fan Power
K-faktor:	En faktor, der oplyses fra fabrikanten, til at beregne luftmængden ud fra en specifik kanaldimension
TBST:	Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen
VCEB:	Videncenter for Energibesparelse i Bygninger
Performancetest:	Performancetest er løbende tests af tekniske installationer igennem byggeprojektet med formål at sikre bygherrens krav og ønsker i forhold til kvalitet.
Funktionsafprøvning:	Funktionsafprøvning og verificering af, at de tekniske installationer lever op til bygherrens krav og ønsker i forhold til kvalitet.

Definitioner

Servitut:	<i>”Rettighed vedr. en ejendom, fx med hensyn til størrelse, bebyggelse eller anvendelse”.¹</i>
-----------	--

¹ <https://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=servitut>, Servitut, Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, 18-11-2018

Nettoareal:	<i>"Et nettoareal angiver boligens faktiske mål - selve lejlighedens" beboelsesareal"</i> ² .
Bebyggelsesprocent:	<i>"Den procentdel som det samlede etageareal af en bygning udgør af byggegrundens areal"</i> ³ .
Granskning:	<i>"Granskning er en særlig kontrol af et projektmateriale. En dokumenteret, sammenhængende og systematisk gennemgang af et projekt for at vurdere projektets evne til at opfylde specificerede og underforståede krav, samt for at identificere problemer"</i> ⁴ .

² <http://www.aku-aalborg.dk/dk/forside/5-hurtige/hvad-er-forskellen-paa-brutto-og-nettoareal/>, Nettoareal, AKU-Aalborg, 18-11-2018

³ https://ordnet.dk/ddo/ordbog?entry_id=11003707&def_id=21005499&query=??&lpage=2, Bebyggelsesprocent, Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, 18-11-2018

⁴ <https://www.bsf.dk/media/1496/ekstern-granskning-af-byggeprojekter-1.pdf>, side 5, Granskning, SBI, 18-11-2018

Indholdsfortegnelse

Titelblad	1
Forord	2
Abstract	3
Nomenklatur	4
Definitioner	4
Kapitel 1 - Indledningsafsnit	8
1.1 - Indledning	8
1.2 - Problemstilling	9
1.3 - Problemformulering	9
1.4 - Afgrænsning	10
Kapitel 2 - Metode	11
2.1 - Dataindsamling	11
2.1.2 - Kvalitative Data	11
2.1.3 - Kvantitativ	12
2.1.2 - Sekundærdata	13
2.2 - Fremgangsmåde	14
2.3.1- Empiri	15
2.3.2 - Teori	15
Kapitel 3 – SEL-Værdien i Byggeprocessen	16
3.1 - Aktørerne i byggeriet	17
3.2 - Byggeriets Faser	20
3.2.1 Programfasen	20
3.2.2 - Projekteringsfasen	22
3.2.4 - Udførelsesfasen	23
3.2.5 - Driftsfasen	23
3.3 - Analyse	24
3.4 - Diskussion af validiteten, reliabiliteten og kildekritik	28
3.5 - Delkonklusion	29
Kapitel 4 - Bestemmelse af SEL-værdi	30
4.1 - SEL-værdien (Specifikt elforbrug til lufttransport)	30
4.1.2 - Formålet med SEL-værdien	30
4.1.3 - Definition af SEL-værdien	30
4.2 - Forudsætninger for udførelsen af funktionsafprøvning ved SEL-værdien	31

4.3 -Krav.....	32
4.3.2 - Lovgivning	32
4.3.2 - Projekterende krav	32
4.4 - Energiforbrug	33
4.4.1 Effektforbrug.....	33
4.4.2 - Udstyr til effektmåling.	34
4.5 - Luftforbrug.....	37
4.5.1 - Traversmåling	37
4.6 - Tryk	38
4. 7 - Måleudstyr til luftmængdemåling	42
4.8- Kalibrering	43
4.9 - Måleusikkerhed	43
4. 10 - Ventilationsanlægget Data	47
4.11 - Målinger.....	48
4.11.1 - Forudsætning	48
4.11.2 - Fremgangsmåde	49
4.11.3 - Praktiske målinger (Funktionsafprøvning).....	54
4.11.4 - Beregning af SEL-værdi praktiske målinger (Funktionsafprøvning)	56
4.11.5 - CTS-målinger (Performancetest).....	57
4.11.6 - Beregning af SEL-værdi ved CTS-målinger (Performancetest).....	59
4.11.7 - Sammenligning af SEL-værdien ved to metoder.....	60
4.12 - Måleusikkerheder	62
4.12.1 - Måleusikkerhed ved praktiske målinger:	62
4.12.3 - Måleusikkerheder ved CTS- målinger	64
4.13 - Driftsøkonomi	66
4.14 - Præsentation af resultaterne	68
4.15 - Diskussion af validiteten, reliabiliteten og kildekritik	71
4.16 - Delkonklusion	72
Kapitel 5 - Konklusion.....	73
5.1 - Perspektivering.....	75
Litteraturliste	76
Figurliste.....	81
Tabelliste	82

Kapitel 1 - Indledningsafsnit

1.1 - Indledning

I et bilag fra SBI's målerapport 039 *"Målinger på ventilationsanlæg med lavt elforbrug i nyere kontorbygninger"* beskrev SBI i december 2002, at over 10 procent af Danmarks samlede elforbrug går til drift af ventilatorer. For at reducere elforbruget indførte BR i 1995 en øvre grænse for det specifikke elforbrug ved lufttransport, også benævnt som SEL-værdien⁵.

Med efterspørgslen på et behageligt indeklima udført på en bæredygtig og energieffektiv metode, med formålet at gavne trivsel for brugerne og driftsøkonomien, bliver der i dag stillet større og mere komplekse krav til udførelsen og teknikken i danske byggerier.

Grundet kompleksiteten er der tendens til, at der opstår ændringer og udfordringer i byggeprocessen, hvilket resulterer i forsinkelser og budgetoverskridelser.

Seneste byggerier, der har haft mediernes opmærksomhed, er Niels Bohr Bygningen og Mærsk Tårnet. Niels Bohr Bygningen har en budgetoverskridelse på 1,3 mia. (80%), og byggeriet er forsinket med 2,5 år⁶. Mærsk Tårnet blev afleveret i primo 2017 og gik allerede i 2015 300 mio. over budgettet (30%). Det endelige resultat af budgetoverskridelsen er først klart i 2020/2021, da der stadig bliver udbedret fejl og mangler⁷.

I januar 2006 indførte BR en energiramme. Energirammen berører nye- og eksisterende bygninger, der skal ombygges⁸. Energirammen formål er, at ved opførelsen af nye byggerier eller ved ændringer af eksisterende bygninger skal udførelsen foregå med henblik på at reducere unødvendigt energiforbrug til opvarmning, varmt vand, køling, ventilation og belysning. Der skal samtidigt opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold for brugerne⁹. SEL-værdien er en del af denne energibehovsberegning. Beregningen udføres på baggrund af SBI-anvisning 213¹⁰.

⁵ Lennart Jagemar & Niels. C. Bergsøe (2003), Lavt elforbrug til ventilation - Tillæg Rapport 1 udg., Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut, Side 5

⁶ https://www.licitationen.dk/article/view/591435/niels_bohr_bygningen_forsinkes_igen, Morten Munk Andersen, Niels Bohr Bygningen forsinkes - igen, Nordiske Medier, 22-10-2018

⁷ <https://ing.dk/artikel/tvisternes-taarn-bliver-dyrere-dyrere-209773>, Ulrik Andersen, Tvisternes tårn bliver dyrere og dyrere, 22-10-2018

⁸ <https://www.bolius.dk/energiberegning-af-nye-huse-19092/>, Energiramme, Bolius Boligejernes Videncenter, 22-10-2018

⁹ https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id105/0/42, Energiramme, BR10, 22-10-2018

¹⁰ <https://sbi.dk/anvisninger/Pages/213-Bygningers-energibehov-4.aspx>, Energibehovsberegning, SBI, 22-10-2018

1.2 - Problemstilling

Direktøren for BYGST, Rasmus Brandt, melder klart ud: ”Du kan ikke forvente, at rådgiverne og entreprenørerne leverer det, de lover”. Årsagerne til forsinkelser og budgetoverskridelser for de to ovenstående eksempler er dårlig rådgivning, mangelfuldt projektmateriale og ringe udførelse af entreprenørerne. Nogle eksempler på fejl, der er opstået i byggeprocessen, er, at rådgiverne ikke har udført KS på deres eget materiale eller har undladt at teste for kollisioner i 3D-modellen, hvilket har resulteret i pladsmangel for de tekniske installationer¹¹. BYGST erkender yderligere, at der er en kedelig tendens til at energiforbruget på færdige byggeprojekter overstiger energirammen¹².

Det specifikke elforbrug ved lufttransport (SEL-værdien) opgøres jævnfør kapitel 6.1.4.2 i DS 447 ”Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer”. SEL-værdien bestemmes ved den samlede effekt fra indblæsnings- og udsugningsaggregatet, divideret med den største luftmængde fra indblæsnings- eller udsugningsaggregatet¹³.

Hverken BR10 eller DS 447 oplyser, hvordan man måler SEL-værdien, men sætter kun krav til værdien, og til hvordan man beregner den. Som et strategisk led, til hvordan man undgår, at bygherrens kravspecifikationer afviger fra det ønskede, har BYGST lavet en performancetest af SEL-værdien, der bliver målt via BMS/CTS¹⁴. TBST¹⁵ har lavet en funktionsafprøvning af SEL-værdien, der bliver målt via praktiske målinger.

1.3 - Problemformulering

Ud fra ovenstående problemstilling leder det til følgende spørgsmål, som rapporten vil undersøge og besvare.

1. Hvordan påvirker ændringer i byggeriets faser overholdelsen af SEL-værdien?
2. Hvad er resultatet ved måling af SEL-værdien ved brug af henholdsvis en performancetest og en funktionsafprøvning og hvad er driftsøkonomien?

¹¹ <https://ing.dk/artikel/efter-niels-bohr-byggeskandale-statens-bygherre-faerdig-med-naiv-tiltro-214867>, Ulrik Andersen, Efter Niels Bohr-byggeskandale: Statens bygherre er færdig med naiv tiltro, 22-10-2018

¹² <https://www.bygst.dk/godt-byggeri/performancetest/>, Performancetest, BYGST, 22-10-2018

¹³ Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger - Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, Side 24

¹⁴ Bilag 1

¹⁵ Bilag 2

1.4 - Afgrænsning

Rapporten vil ikke beskæftige sig med komfort- eller procesventilationens opbygning eller virkemåde.

Udbudsfasen og den tilhørende lovgivning, såsom tilbudsloven og EU-udbudsdirektivet vil ikke blive berørt. Aftalevilkårene fra det nye AB18-system vil være en oplysning til, hvilke redskaber en bygherre kan anvende ved indgåelse af aftaler med de forskellige aktører. Da aftalevilkårene ikke danner grundlag for besvarelsen af spørgsmål 1, vil rapporten ikke yderligere beskæftige sig med det gamle eller det nye AB-system. Desuden vil økonomiske aspekter, som total- og detailøkonomi i kapitel 3 ikke være en del af analysen, ligesom organisationsformerne ved forskellige rådgivertyper og entrepriseformer ikke vil blive berørt.

Der er foretaget målinger på et bestemt og anonymt ventilationsanlæg. Ventilationsanlægget er bygget på kravene fra BR10, og derfor vil dette reglement blive anvendt som reference igennem rapporten. BR15 og nu BR18 vil ikke blive nævnt. Desuden afgrænser bachelorafhandlingen sig til kun at inddrage danske normer og lovgivning. Energirammen er beskrevet kort, og de projekterede krav af SEL-værdien fra arbejdsbeskrivelsen for energirammen vil benyttes til beregning, men fokus igennem rapporten vil udelukkende være på SEL-værdien. Ved måleusikkerhed beskæftiger rapporten sig kun med måleusikkerheden fra måleudstyr og måleinstrumenter.

Driftsøkonomien i kapitel 4 omhandler beregning af det pågældende ventilationsanlæg årlige kWh-forbrug, som tager udgangspunkt i de to effektmålinger. Rapporten afgrænser sig fra øvrige økonomiske aspekter.

Kapitel 2 - Metode

Kapitel 2 indbefatter bachelorafhandlingens metode- og analysevalg, samt den videnskabsteoretiske indfaldsvinkel til rapporten. Ud fra rapportens to spørgsmål er der valgt metoder og analysestrategier. De er vurderet til at være relevante i henhold til undersøgelseskriterierne og afhandlingens konklusion. I forbindelse med dette projekt er forskellige undersøgelsesmetoder og analysemodeller blevet afprøvet og vurderet, men i dette afsnit præsenteres kun de endelig valg. Ved udarbejdelse af rapporten er der anvendt primær- og sekundærdata, som i udgangspunkt omhandler SEL-værdien, samt alle de faktorer som SEL-værdien berører i byggeprocessen og ved målinger.

2.1 - Dataindsamling

2.1.1 - Primærdata

2.1.2 - Kvalitative Data

Interviews

Ved indsamling af primære data til rapporten er der anvendt semistrukturerede interviews¹⁶. Denne interviewform er anvendt til at indsamle viden fra erfarne fagpersoner i byggeriet. Der har været fokus på byggeriets faser og SEL-værdien. Inden interviewet var hensigten at gøre informanten komfortabel i trygge rammer med lidt small talk. Spørgsmålene er lavet med udgangspunkt i at indhente data til besvarelse spørgsmål 1.

Informanterne er udvalgt på baggrund af deres daglige professionelle roller i byggeriets forskellige faser. Følgende personer er udvalgt:

1. Bygherre
2. Bygherre/bygherre rådgiver
3. Entreprenør
4. Driftsrådgiver
5. Smed/ventilationsmontør/indreguleringsmand
6. Energikonsulent
7. Entreprenør/rådgiver

¹⁶ Sven Brinkmann (2014), Det Kvalitative Interview, 1 Udg., København, Hans Reitzels Forlag, Side 35

De syv informanternes svar er de primære data i kapitel 3. De repræsenterer tilsammen bred viden og erfaringsgrundlag indenfor byggebranchen. Udsagn og pointer fra informanterne kan ikke tegne et endeligt billede af byggebranchen. Deres samlede viden og erfaring opfattes dog til at være gyldigt til at besvare spørgsmål 1. Dette vurderes på baggrund af samstemmende tydelige mønstre i deres besvarelser, samt at informanterne repræsenterer forskellige byggeprojekter

2.1.3 - Kvantitativ Data

Der er indsamlet primære data til kapitel 4 i form af måling af effekten og den transporterede luftmængde.

Ved praktiske målinger af ventilationsanlæggets SEL-værdi er der anvendt følgende måleinstrumenter:

- Tinytag Energy Logger TGE-001¹⁷ til effektforbruget.
- TSI Air Velcocity Meter 9565-P¹⁸ til luftmængden.
 - Thermoanemometer Probe 964¹⁹

Der er yderligere samlet data fra ventilationsanlæggets CTS-system ved at fortage screenshot for hvert minut i måleperioden²⁰. Fremgangsmåden er beskrevet nærmere i kapitel 4. De primære data fra funktionsafprøvning og performancetest er anvendt til beregning af SEL-værdi.

¹⁷ <https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-energy-data-logger/tge-0001>, Gemini, Måleinstrument til at logge effektforbrug, 12-12-2018

¹⁸ <http://www.tsi.com/velocicalc-multi-function-ventilation-meter-9565-p/>, TSI Group, Måleinstrument til måling af luftmængde 12-12-2018

¹⁹ <http://www.tsi.com/products/product-accessories/thermoanemometer-straight-probe-964.aspx>, TSI Group, Varmetrådsanometer, 17-12-2018

²⁰ Bilag 23

2.1.2 - Sekundærdata

Den anvendte sekundære data til besvarelse af kapitel 3 og 4 i rapporten er:

Bøger:

- Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag
- Henning Hørup Sørensen, Finn H. Ludvigsen & Ole B. Stampe (2015), Ventilations Ståbi, 2 udg. København, Nyt Teknisk Forlag
- Jørgen Meinertz & Valter Loll, (2018), Måleteknik, 1 Udg., Odense, Ny Teknisk Forlag
- Arly Nielsen (2015), Mekanisk fysik og varmelære, Udg. 2, Odense, Nyt Teknisk Forlag
- Poul Erik Petersen (2004), Elektriske Målinger Udg. 4, Lyngby, Bogfondens Forlag
- Bjarne Kousholt, (2015), Projektledelse - Teori og Praksis, 6 Udg. Odense, Praxis,

Standard:

Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer

Rapport:

Lennart Jagemar & Niels. C. Bergsøe (2003), Lavt elforbrug til ventilation - Tillæg Rapport 1 udg., Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut

SBI-anvisninger:

- Peter Olufsen (1995), SBI-188, Ventilationsanlæg med lavt elforbrug, Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut
- Erik Christophersen (1976), SBI-102, Ventilationstekniske målinger, Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut

Internetkilder:

https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id124/0/42

2.2 - Fremgangsmåde

Rapporten er opbygget på formkravene, som er beskrevet i Maskinmesterskolens Københavns kvalitetssikringssystem²¹, og som supplement er der anvendt bøgerne

- Den Gode Opgave udg. 5²²
- Den Skinbarlige Virkelighed udg. 5²³
- Problemformulering På Videregående Uddannelser²⁴
- Det Kvalitative Interview²⁵

Rapporten tager udgangspunkt i en problemstilling med to spørgsmål. Rapporten er delt op i fem hovedkapitler. Første kapitel er indledning. Andet kapitel er metodeafsnittet. Tredje kapitel er behandling og analyse af spørgsmål 1. Fjerde kapitel indeholder behandling og analyse via præsentationen af resultater til besvarelse af spørgsmål 2. Til behandling og analyse af spørgsmålene er der taget udgangspunkt i "*Bloom's Taxonomy*"²⁶. Efter hver enkelt analyse er der diskuteret validiteten af resultaterne, vurderet reliabiliteten af metoderne og evalueret kildernes troværdighed.

Hvert enkelt spørgsmål er afsluttet med en delkonklusion. Femte kapitel er det konkluderende og afsluttende afsnit. På baggrund af konklusionen er der blevet diskuteret og perspektiveret, hvilken betydning og hvilke konsekvenser konklusionen har.

For læsevenligheden er der foretaget tvunget sideskift ved adskillelsen for hver afsnit og ved indpasning af tekst og figurer.

Til kildehenvisningen er der anvendt retningslinjerne fra "*Harvard Referencing System*"²⁷ og Power Pointen fra campusnet "*BA Aften M9 – Metode*"²⁸.

²¹ <https://kmedok.dk/showpage.php?pageid=445309&sid=445337>, Formkrav, MSK's bekendtgørelse 18-11-2018

²² Lotte Rienecker & Peter Stray Jørgensen (2017), Den Gode Opgave, 5 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

²³ Ib Andersen (2013), Den Skinbarlige Virkelighed, 5 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

²⁴ Lotte Rienecker, (2015), Problemformulering På Videregående Uddannelser, 4 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

²⁵ Sven Brinkmann (2014), Det Kvalitative Interview, 1 Udg., København, Hans Reitzels Forlag

²⁶ <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>, Bloom's Taxonomy, Vanderbilt University, 18-11-2018

²⁷ <http://library.au.dk/studerende/referencehaandtering/harvard-referencing-system/>, Kildehenvisning, Aarhus Universitet, 18-11-2018

²⁸ <https://campusnet.msk.dk/cnnet/filessharing/Overview.aspx?folderId=19619&elementId=4077>, Kildehenvisning, MSK, 18-11-2018

2.3.1- Empiri

Denne bachelorrapport er bygget op på empiri. Kapitel 3 bygger på data indhentet igennem kvalitative interviews. I kapitel 4 består empirien af praktiske målinger og måleresultater for at bestemme SEL-værdien. Både data fra kapitel 3 og 4 er belyst og perspektiveret af udvalgt fagteori og relevant lovgivning.

2.3.2 - Teori

Ved beskrivelse af byggeriets faser er der anvendt fagteori fra bogen *"Byggeriets faser og organisering udg. 2⁹"* af Torben Naldal. Torben Naldal har baggrund som rådgivende ingeniør og bygherrerådgiver. I forordet på side 3 i bogen, beskriver Torben Naldal, at bogens målgruppe er studerende, f.eks. ingeniører og arkitekter.

Ishikawa-diagrammet, også kendt som fiskebenet eller årsagsvirkningsdiagrammet, er et velkendt værktøj, som bruges til systematisk at kortlægge emner og årsagsidentificering. Ishikawa-diagrammet har et grafisk udtryk. Til styring af bearbejdningsprocessen sættes problemet ude til højre ved fiskens mund, hvor ved skelettet illustrerer årsagerne³⁰. Diagrammet bruges til bearbejdning af data fra interviewene.

Til måling og forståelse af måleudstyr samt til bestemmelse af SEL-værdien er der anvendt nedenstående teorier:

- Energiforbrug for et ventilationsanlæg
- Traversmåling
- Statisk, dynamisk og totalt tryk
- Kontinuitetsligning
- Bernoullis ligning
- Usikkerhedsberegning

Forklaringer og beskrivelser af disse er beskrevet løbende i kapitel 4.

²⁹ Torben Naldal, (2011), *Byggeriets Faser og Organisering*, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag

³⁰ Bjarne Kousholt, (2015), *Projekt Ledelse - Teori og praksis*, 6 Udg. Odense, Praxis, Side 278

Kapitel 3 – SEL-Værdien i Byggeprocessen

Hvordan påvirker ændringer i byggeriets faser overholdelsen af SEL-værdien?

Ved opførelsen af et nyt byggeri er der mange forskellige interessenter. Afhængig af byggeriets formål kan det være fordelagtigt at inddrage driften/brugeren tidligt i byggeprocessen. Projektet kan have indflydelse på sine omgivelser, og derfor er det essentielt at der tages kontakt til indehavere/brugere af områder omkring byggeriet. Igennem denne kontakt kan forbehold til byggeriet fremkomme.

Nedenstående liste er eksempler på byggeriets interessenter.

- Bygherre
- Bygherrerådgiver
- Projektudvikler
- Arkitekt
- Omverden
- Bruger rådgiver
- Brugere
- Myndighed
- Ingeniør
- Entreprenør
- Ejer
- Leverandør³¹

³¹ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 7.

3.1 - Aktørerne i byggeriet

Bygherre

Bygherren igangsætter et byggeprojekt og er juridiske ansvarlige for byggeriet. Bygherren har ansvarsområder indenfor:

- Fastsættelse af kravene til udførelsen af byggeriet.
- Udarbejdelse af udbud samt kontrahering.
- Deltagelse i beslutningsprocesserne.
- Økonomien ved opførelsen af byggeriet.
- Varetagelse af drift og vedligeholdelse af bygningen og teknikken³².

Rådgivere

Rådgivning i program- og projekteringsfasen kan omhandle tre typer for rådgivere:

1. Bygherrerådgiver
2. Totalrådgiver
3. Delt rådgiver

Bygherrerådgiverens rolle er at varetage bygherrens interesser igennem alle faserne i byggeriet og at vejlede i forhold til de øvrige aktører, der er involveret i byggesagen³³.

Totalrådgiveren har ansvaret for hele projektforsløbet. Her indgår bygherren kun en rådgivningsaftale. Det kan enten være en rådgiver eller en selvstændig gruppe af rådgivere. Det er totalrådgiverens rolle at stå for samtlige underaftaler og være ansvarlig for udnævnelsen af projekteringslederen³⁴.

Ved delt rådgivning indgår bygherren en selvstændig aftale med hver rådgiver. Dvs. at det samlede projekt bliver løst af flere rådgivere. Rådgiverne skal kunne samarbejde, men er ikke forpligtet ved kontrakt indbyrdes. Her har bygherren ansvaret for samspillet mellem de enkelte rådgivere, samt for koordinering og styring³⁵.

³² Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 8.

³³ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 8.

³⁴ https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf, FRI & Danske Arkitekt Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, side 15, 04-11-2018

³⁵ https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf, FRI & Danske Arkitekt Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, side 8, 04-11-2018

En rådgiver forstås som en teknisk rådgiver i form af en ingeniør eller en arkitekt³⁶.

Ingeniøren har ansvaret for de tekniske projekteringer af byggeriet. Det kan være alt fra de tekniske installationer, bærende konstruktioner m.m.³⁷.

Arkitekten projekterer og formgiver de fysiske omgivelser, såsom formen og facaden af bygningen. I samarbejde med bygherre og bygherrerådgiver fortager arkitekten valg af inventar, farver, udsmykning, overflader, samt materialer³⁸.

Rådgivning i udførelsesfasen indbefatter.

1. Byggeledelse³⁹
2. Fagtilsyn⁴⁰

Byggelederen er ansvarlig for styring af tid, kvalitet og økonomiske forhold for det samlede byggeri. Byggelederen står yderligere for koordinering af aktiviteter på byggepladsen og den dokumentation, der medfølger, såsom drifts- og vedligeholdelsesmateriale. Samtidig udarbejder byggelederen en plan for forløbet frem til 1-årseftersynet.

Fagtilsynet er ansvarlige for udførelsen af kvantitativ og kvalitativ kontrol. Kontrollen sker ved stikprøvevis tilsyn.

Entreprenører

Entreprenøren er ansvarlig for udførelse af byggeriet. Der findes fire entrepriseformer.

1. Fagentreprise
2. Storentreprise
3. Hovedentreprise
4. Totalentreprise

³⁶ https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf, FRI & Danske Arkitekt Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, side 14, 04-11-2018

³⁷ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 9.

³⁸ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 9.

³⁹ https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf, FRI & Danske Arkitekt Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, side 58, 04-11-2018

⁴⁰ https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf, FRI & Danske Arkitekt Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, side 61, 04-11-2018

I fagentreprisen hyrer bygherren hver håndværker ind, der repræsenterer forskellige håndværksfag. Her står bygherren selv for styring og koordinering af projektet. Det er typisk eksterne rådgivere, der varetager denne opgave.

I en storentreprise er forskellige fagentreprenører, som hver dækker nært beslægtede håndværksfag, og den samlede entreprise er derfor delt op i færre entrepriser. Eksempler på en storentreprise kan være; jord og kloak, ventilation og CTS, tømrer og snedker m.m.

Hovedentreprisen er reelt set en fagentreprenør. Hovedentreprenøren er ansvarlig for udvælgelse, styring, disponering og koordinering af de øvrige fagentreprenører, som bliver til underentreprenører. Underentreprenører repræsenterer forskellige håndværksfag.

En totalentreprise er en ydelse, der indbefatter rådgivning samt alle repræsenterede håndværksfag. Totalentreprenøren har ansvar for udvælgelsen af rådgivere, arkitekter og ingeniører. Totalentreprenøren varetager samtidigt opgaver som planlægning, projektering, kontakt til myndigheder og byggeledelsen i alle faser af byggeriet⁴¹.

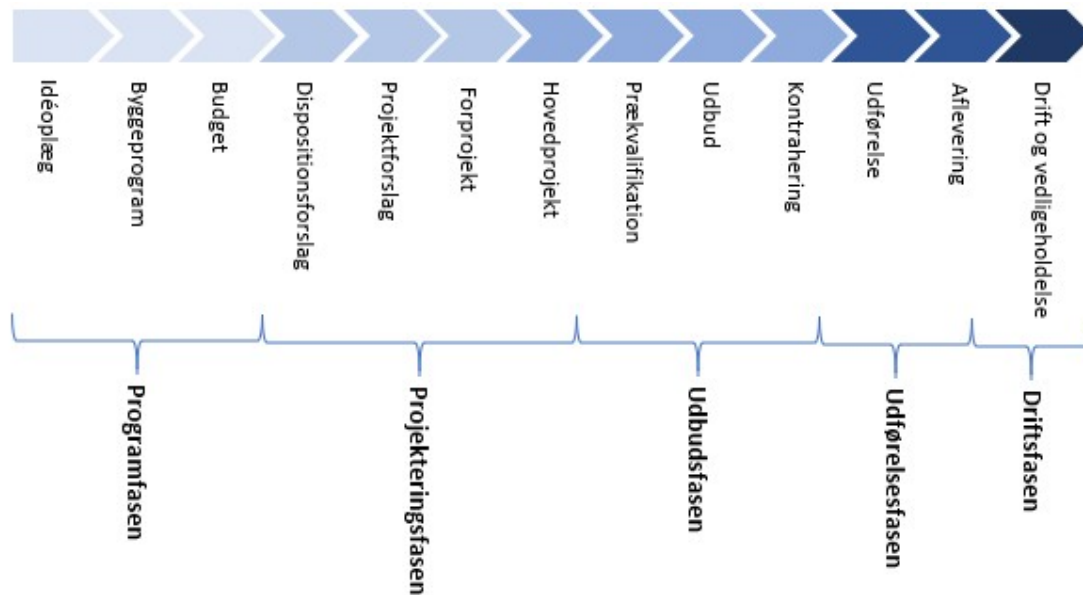
Ved indgåelsen af aftaler med de forskellige aktører, kan bygherren vælge at anvende AB-systemet⁴².

- *"AB 18 kan anvendes ved aftaler mellem en bygherre og dennes entreprenør om udførelse af bygge- og anlægsarbejder, eller en entreprenør og dennes underentreprenører. AB 18 erstatter AB 92.*
- *ABT 18 kan anvendes ved aftaler mellem en bygherre og dennes entreprenør om projektering og udførelse af en totalentreprise. ABT 18 erstatter ABT 93.*
- *ABR 18 kan anvendes ved aftaler mellem en bygherre og dennes rådgivere – typisk en arkitekt eller ingeniør - eller en entreprenør og dennes rådgivere. ABR 18 erstatter ABR 89".*

⁴¹ <https://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Bolig/Byfornyelse/Bygningsfornyelse/Guide-til-byfornyelse-i-andelsboligejendomme/Entrepriseformer.aspx>, Entrepriseformer, Trafikstyrelsen, 29-10-2018

⁴² <https://www.danskbyggeri.dk/for-medlemmer/jura/byggeriets-love-og-regler/ab-18/>, AB18, Dansk Byggeri, 04-11-2018

3.2 - Byggeriets Faser



Figur 1 – Byggeriets Fase, eksempel⁴³

Nedenstående er beskrivelse er en præsentation af byggeriets faser, hvilket danner grundlag for besvarelse af spørgsmål 1.

3.2.1 Programfasen

I programfasen definerer bygherren formål samt krav og ønsker til byggeriet. Idéoplægget indbefatter først og fremmest visioner og missioner for byggeriet. Efterfølgende kommer der beskrivelser af behov, areal, funktionalitet m.m. Før projektet kan realiseres, udarbejdes det første budget allerede i idéoplægget.

I dette budget er der taget en vurdering af de økonomiske forhold, og der er beskrevet adskillige scenarier, som giver et kvalificeret grundlag for beslutningstageren. Idéoplægget bliver typisk udarbejdet af bygherren og eventuelt en bygherrerådgiver⁴⁴.

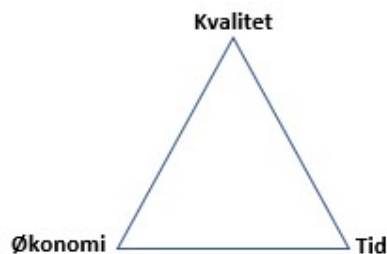
⁴³ Egen tilvirkning, Byggeriets Faser, eksempel, 30-10-2018

⁴⁴ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 12.

Byggeprogrammet omhandler detaljerede beskrivelser af samtlige parametre, der danner værdi og grundlag for projekteringsfasen. Det kan være forhold som:

- Fysiske krav til bærende konstruktioner og tekniske installationer m.m.
- Lovgivninger og myndigheder (Servitutter, lokalplaner mm.)
- Eksisterende forsyninger såsom el, vand, varme og kloaker
- Forundersøgelser vedrørende forurening og geoteknik
- Fremstilling af krav til forskellige rumtyper. Alt afhængig af byggeriets formål og behov, fx undervisningslokaler, laboratorier, auditorier, bad, toilet, foyer m.m.
- Fastlæggelse af størrelser til rummene ud fra nettoareal
- En kortfattet handlingsplan på entreprise- og udbudsformer
- Krav til drift og vedligehold under/efter byggeriet.
- Energikrav

I ethvert byggeri er der tre faktorer, der har indflydelse på udførelsen. Økonomi, tid og kvalitet. Afhængig af byggeriets formål har hver faktor en væsentlig rolle. Bygherren skal derfor melde klart ud og være indforstået med, at en prioritering på en af de tre faktorer vil resultere i en nedprioritering af de to andre⁴⁵.



Figur 2 – Samspelet mellem de tre faktorer⁴⁶

Som et sidste led i programfasen skal der udarbejdes et revideret budget. Som tidligere beskrevet blev første udkast til budgettet formet allerede i idéoplægget, hvor bygherrens krav og målsætninger til byggeriet blev fastlagt som grundlag for kontraktindgåelse. I det reviderede budget går bygherren et skridt dybere og opsætter de økonomiske rammer for byggeriet. Ud fra sin viden, erfaringer

⁴⁵ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 13.

⁴⁶ Egen tilvirkning, Samspelet mellem de tre faktorer, 30-10-2018

og krav fra idéoplægget og til byggeprogrammet, skal budgettet være mere præcist. Budgettet skal danne grundlag for fastsættelse af den endelige anlægssum ved licitationen⁴⁷.

3.2.2 - Projekteringsfasen

Projekteringsfasen indeholder dispositionsforslag, projektforslag, forprojekt og hovedprojekt. I projekteringsfasen skal bygherrens behov, ønsker, idéer og krav realiseres, så der bliver dannet et klart grundlag for udførelsen af byggeriet. Her skal bygherren beslutte, hvor stor en indflydelse vedkommende ønsker at have i projekteringsfasen ift. valg af løsninger for udførelsen af projektet.

I dispositionsforslaget udføres første udkast til udformningen af byggeriet. Dispositionsforslaget viderebearbejdes på baggrund af byggeprogrammet. Forslaget bliver udarbejdet af arkitekten og indeholder skitsering af hovedvisionen om bygningen samt det overordnede materialevalg.

Projektforslaget udarbejdes af ingeniøren og arkitekten med afsæt i dispositionsforslaget. Her beskriver arkitekten det arkitektoniske design og argumenterer for valg af overflader og materialer. For at give bygherren en bedre forståelse for bygningens funktionelle værdi, udarbejder arkitekten overordnede planer for møbelplacering, facader og snittegninger. For at overholde grundlæggende krav har arkitekten taget højde for bebyggelsesprocent og etageareal. Ingeniørens rolle er at udarbejde overslagberegninger for belastningsforudsætninger ved de besluttede konstruktive principper. Desuden beskrives opbygning og funktionaliteten af de tekniske installationer såsom el, VVS, ventilation m.m. Der beslutes via en skitsetegning, hvor teknikrummene skal placeres, med forbehold for plads til ventilationsanlæg og varmeanlæg. Skitsetegningen efterviser yderligere plads til kabling, rørføring, ventilationskanaler osv.

Forprojektet, der også bliver kaldt myndighedsprojektet, bearbejdes via projektforslaget. Her er formålet, at myndighederne godkender byggeriet, og der defineres klare retningslinjer.⁴⁸ Alle byggesager kræver tilladelse fra den tekniske forvaltning i den lokale kommune. Omfanget af forprojektet er afhængigt af den enkelte byggesags formål, størrelse og kompleksitet. Efter de forskellige myndighedsgodkendelser, som bliver en integreret del, der danner grundlag for hovedprojektet, bearbejdes arbejdsbeskrivelsen.

⁴⁷ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 13.

⁴⁸ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 14.

Hovedprojektet skal bearbejdes så detaljeret, at der etableres et fundament for udbud, kontrahering og den endegyldige udførelse af byggeriet. Denne detaljerede bearbejdning foregår via et tæt samarbejde med ingeniøren og arkitekten⁴⁹.

3.2.4 - Udførelsesfasen

I udførelsesfasen udfører entreprenørerne deres ydelse, og byggeriet bliver realiseret. I denne fase indgår entreprenørerne et samarbejde med byggeledelsen med henblik på at holde tidsplanen. Det sidste forløb i udførelsesfasen er afleveringen. Afleveringen indeholder overgangen fra at entreprenørerne færdigmelder byggeriet, til byggeriet er overdraget til bygherren. Der foretages 1- og 5-års eftersyn med en struktureret og periodisk gennemgang af udførelsen af byggeriet. Her bliver udarbejdet en mangeludbedringsliste med de fejl og mangler, som ikke er blevet registreret i afleveringen. 1-årseftersynets primære formål er at udbedre fejl og mangler vedrørende de tekniske installationer, fordi fejl på de tekniske installationer kan være en udfordring for den daglige drift.

Ved 5-årseftersynet er formålet at udbedre fejl og mangler, der ikke var til stede i afleveringen, men som er fremkommet igennem byggeriets 5 års levetid⁵⁰.

3.2.5 - Driftsfasen

I driftsfasen er bygherren ansvarlig for driften og vedligeholdelse af byggeriet. Der er blevet udarbejdet drifts- og vedligeholdelsesmanualer ud fra oplysninger fra de enkelte leverandører og entreprenører.

Driftens formål er at sikre byggeriets daglige funktionalitet på baggrund af løbende tilsyn af de tekniske anlæg.

Vedligeholdelse i driftsfasen indeholder periodisk vedligehold med det formål at bevare bygningens kvalitet. Vedligeholdelsen omhandler dels forebyggelse ved løbende udbedringer af slitage og skader, og dels reparation af pludseligt opståede skader og svigt af komponenter⁵¹.

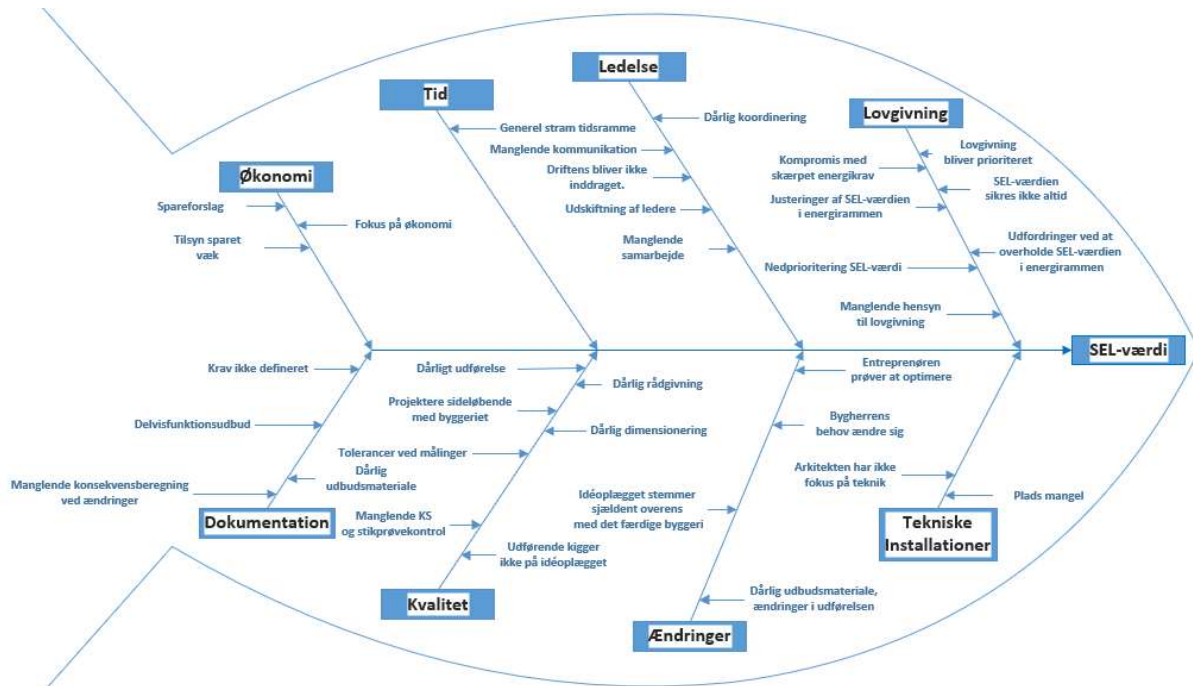
⁴⁹ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 15.

⁵⁰ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 18.

⁵¹ Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag, side 19.

3.3 - Analyse

Til behandlingen af primære data til analysen er der blevet anvendt Ishikawa-diagrammet for at overskueliggøre og udlede mønstre, samt emner fra informanterne. SEL-værdien er blevet anvendt, som reference, med det formål at holde udsagn og faktorerne op mod denne.



Figur 3 - Ishikawa-diagram⁵²⁵³

Analysen vil starte med et citat fra Driftsrådgiver

Erfaring fra hospital, hvor der var et kæmpe renoveringsprojekt. Afdelingerne bliver taget i brug efterhånden de var færdige. Så rykkede man nogle andre rundt for, at få plads til næste etape. Det betød så, at vi overtog noget, der næsten var færdigt. Byggesagen var ikke afleveret, så svaret var hver gang vi sagde at der er noget, som ikke i orden, så svarede de " det er heller ikke afleveret helt endnu". Når det så var færdigt, sagde de så "det hele har været afleveret længe, I har jo brugt det".⁵⁴

⁵² Egen tilvirkning, 08-12-2018, NOTE: Se bilag 10 for større format.

⁵³ Bilag 11, Referencer brugt til Ishikawa-diagrammet

⁵⁴ Bilag 7, Side 19. Spørgsmål 2

En byggeproces er meget kompleks, og der er mange aktører, der har ansvar og indflydelse på forskellige fagområder.

En stor del af informanterne påpeger entydigt, at det går galt fra starten. Ifølge fagteorien sætter arkitekten og den rådgivende ingeniør for første gang sit aftryk i byggeprogrammet. Allerede i dette forløb besluttet nettoarealet af teknikrummene, og her er det afgørende, at der bliver prioriteret plads til kanalføring og ventilationsaggregater⁵⁵. Bygningens samlede energibehovsberegning bliver for første gang udformet, og de er underlagt de energikrav, lovgivningen kræver⁵⁶.

Af svarene virker det som om, at den rådgivende ingeniør skal til forhandlingsbordet med arkitekten for at sikre, at der bliver projekteret plads til tekniske installationer i bygningen. Det er et markant problem, at arkitekten besidder den magt og samtidig mangler forståelse for bygningsteknik⁵⁷.

Indeklimakrav og specielt SEL-værdien bliver derfor udfordret, hvis den rådgivende ingeniør vælger at gå på kompromis med pladsen til de tekniske installationer allerede så tidligt i forløbet⁵⁸.

I projekteringsfasen sker der mange ændringer. Hvis disse ændringer ikke følges via KS⁵⁹, elimineres muligheden for at opfange fejl og mangler. Det har stor betydning, da man ved ændringer til tider allerede i dispositionsforslaget er nødsaget til at nedjustere SEL-værdien fra programfasen⁶⁰.

Som en del af Energikonsulent svar til spørgsmålet "Hvor i byggeprocessen går det oftest galt?" udtaler han følgende:

"El til ventilationsanlægget vil påvirke energirammen voldsomt. For at få det til passe, så er tal jo taknemmelige, for at justere ned på energirammen og op på solcellerne og på et tidspunkt, så kan der ikke være flere solceller på bygningen, og så justerer du din SEL-værdi ned, indtil at det passer.

*Det er den første fejl, man begår"*⁶¹

Kvaliteten af det projekterende arbejde er fundamentet for det videre arbejde i udførelsesfasen.

⁵⁵ Bilag 6, Side 16. Spørgsmål 9

⁵⁶ Bilag 5, side 9. Spørgsmål 2

⁵⁷ Bilag 7, Side 20. Spørgsmål 3

⁵⁸ Bilag 9, Side 32. Spørgsmål 2

⁵⁹ Bilag 8, Side 26 Spørgsmål 3

⁶⁰ Bilag 3, side 9. Spørgsmål 2

⁶¹ Bilag 6, Side 16. Spørgsmål 9

Flere informanter pointerer, at bygherrens krav ikke er veldefinerede⁶², hvilket gør det svært for de rådgivende ingeniører at kende opgavens omfang. Yderligere er der tendens til, at rådgiveren ikke fagligt er klædt på til opgaven, når der skal dimensioneres⁶³. Det er en medvirkende årsag til fejlprojektering⁶⁴.

Desuden skyldes udfordringer på ventilationen, at der er tradition i Danmark for, at der bliver anvendt et delvis funktionsudbud, hvor det pålægges entreprenøren at færdigdimensionere. Et sådan udbud er baseret på rådgiverens til tider uholdbare tekniske regneregler⁶⁵, som entreprenøren ser som en forretning⁶⁶.

Nogle ændringer i udførelsesfasen sker på baggrund af dårligt udbudsmateriale fra projekteringsfasen⁶⁷, imens andre ændringer sker i form af, at entreprenøren forsøger at optimere for at tjene penge⁶⁸. En anden væsentlig årsag til ændringer skyldes, at bygherrens behov ændrer sig løbende igennem byggeriet. Det kan resultere i omstrukturering af tidsplaner, hvor der i værste tilfælde bliver projekteret sideløbende med byggeriet⁶⁹.

Udførelsesfasen kan af disse grunde være kaotisk, hvilket opskruer tidspresset, hvor ledelsen i form af rådgivere og byggeledere mister overblikket. Dårlig koordinering⁷⁰, manglende samarbejde⁷¹ og kommunikation⁷² betyder ifølge informanterne, at der tages hurtige og kortsigtede beslutninger⁷³. Dette resulterer i, at lovgivning omkring SEL-værdien og sågar brandsikring bliver nedprioriteret⁷⁴. En anden udfordring er, at kontrollen fra fagtilsyn, hvis det ikke er sparet væk i processen, ofte er mere fokuseret på de synlige forhold, såsom fliser og maling, end på de tekniske installationer⁷⁵.

Som en god illustration på dette kan der refereres til trekanten, der viser samspillet med de tre faktorer tid, økonomi og kvalitet. Trekanten viser, at prioritering på et parameter har direkte indflydelse på de to andre.

⁶² Bilag 4, Side 5. Spørgsmål 1

⁶³ Bilag 8, Side 26. Spørgsmål 4

⁶⁴ Bilag 7, Side 20. Spørgsmål 3

⁶⁵ Bilag 7, Side 32. Spørgsmål 2

⁶⁶ Bilag 9, Side 39. Spørgsmål 8

⁶⁷ Bilag 3, Side 2. Spørgsmål 2

⁶⁸ Bilag 7, Side 35. Spørgsmål 3

⁶⁹ Bilag 8, Side 26. Spørgsmål 2

⁷⁰ Bilag 5, Side 9. Spørgsmål 2

⁷¹ Bilag 7, Side 19. Spørgsmål 2

⁷² Bilag 5, Side 10. Spørgsmål 3

⁷³ Bilag 5, Side 9. Spørgsmål 2

⁷⁴ Bilag 7, Side 21. Spørgsmål 6

⁷⁵ Bilag 4, Side 7. Spørgsmål 3

I dette krydsfelt kommer ventilationsmontøren ind med sin arbejdsbeskrivelse, og alt afhængig af den enkelte håndværker udføres arbejdet mere eller mindre ukritisk⁷⁶. På baggrund af tidligere udført arbejde fra andre håndværksfag bliver ventilationsmontøren nødsaget til at montere små kanaler uhensigtsmæssigt med skarpe bøjninger og afgreninger⁷⁷. Når indreguleringsmanden, som er sidste mand, kommer ud på pladsen, er det ikke altid muligt at indregulere mængden af luft, som bygherren stiller krav om⁷⁸.

Samstemmende udtrykker informanterne, at det hører til sjældenhederne at idéoplægget stemmer overens med det overdragede byggeri⁷⁹.

Hvis SEL-værdien og energirammen er presset ved overdragelse af byggeriet til driften og brugerne, kan man være nødsaget til at installere solceller på taget for at få energibehovsberegningen til at gå op.

⁷⁶ Bilag 8, Side 25. Spørgsmål 2

⁷⁷ Bilag 8, Side 25. Spørgsmål 2

⁷⁸ Bilag 8, Side 26. Spørgsmål 2

⁷⁹ Bilag 5, Side 16. Spørgsmål 7

3.4 - Diskussion af validiteten, reliabiliteten og kildekritik

Fagteorien fra Thomas Naldal er vurderet til at være en pålidelig gennemgang af byggeriets faser. Den har været fyldestgørende for opgaven som sekundære data.

Ved efterrationalisering af interviewene er det bemærket, at informanterne kan være farvede af de seneste byggeprojekter. Det er bemærkelsesværdigt at samtlige informanter er så samstemmende i deres syn, beskrivelser og oplevelser om SEL-værdien i byggeriets faser. Informanterne repræsenterer et solidt erfaringsgrundlag efter mange år i byggebranchen. Nogen af de interviewede har beskæftiget sig med forskellige fagroller i byggeriet. Arkitekten i opgaven bliver kritisk nævnt i analysen, og det er en fejlprioritering at dette fagområde ikke er repræsenteret blandt interviewpersonerne.

Spørgsmålene 5 og 6, der er anvendt til interviewene, spørger om det samme, men er bare omformuleret. Der er stadig anvendt deres besvarelser. Der er et semistruktureret interview, der ikke gik som planlagt. Det var med informanten ”bygherre”. Spørgsmålene blev fremsendt på mail inden interviewet, og denne informant valgte at besvare spørgsmålene via mail.

De primære data fra interviewene viste sig at være en overordentlig mængde af viden, som hårdt bearbejde skulle dechifrere. Det var først vurderet at anvende en FMEA-analyse til bearbejdning af data. Idet mængden og kompleksiteten bag byggeprocessen viste sig at være så omfattende, blev der omprioriteret. Ishikawa-diagrammet viste sig efterfølgende at være et mere brugbart værktøj, som overskueliggjorde mængden og emneopdelte de dechifrede data.

3.5 - Delkonklusion

Denne delkonklusion fremkommer af det indsamlede primære data og fra teoriafsnittet om byggeriets faser.

Det kan konkluderes, at de mange ændringer i byggeriet har stor og afgørende indflydelse på muligheden for at overholde SEL-værdien. Dette kan være en medvirkende årsag, til at man mister overblikket, og man derved ikke kan holde fokus på SEL-værdien. Byggebranchen arbejder ikke målrettet med kravene. En stor tendens er, at der ikke anvendes værktøjer som stikprøvekontrol og KS af eget materiale. Der tages desuden ikke løbende stilling til hvilken konsekvens de mange ændringer vil få for SEL-værdien.

Når den rådgivende ingeniør allerede i starten nedprioriterer SEL-værdien, er der lang vej til at den overholdes ved overdragelsen af byggeriet. Her starter en dominoeffekt. Den effekt har indflydelse på hele byggeriet. Det medfører, at den rådgivende ingeniør arbejder ud fra de forudsætninger, at der ikke er de optimale pladsforhold til dimensionering af ventilationsanlægget. Når entreprenøren i udførelsesfasen skal færdigdimensionere og derefter montere kanalerne, kan det ikke lade sig gøre ud fra de vilkår, som er beskrevet i udbudsmaterialet.

Et andet gennemgående træk er, at muligheden, for at man kan justere SEL-værdien under energirammen, bruges i det forskellige byggefaser uden forbehold, for at det er blevet gjort tidligere i byggeprocessen.

Kapitel 4 - Bestemmelse af SEL-værdi

Hvad er resultatet ved måling af SEL-værdien ved brug af henholdsvis en performancetest og en funktionsafprøvning og hvad er den årlige driftsøkonomi?

4.1 - SEL-værdien (Specifikt elforbrug til lufttransport)

4.1.2 - Formålet med SEL-værdien

Formålet med SEL-værdien er, at kontrollere ventilationsanlæggets effektforbrug pr. kubikmeter transporteret luft. Med hensyn til at SEL-værdien skal eftervises og den opfylder BR10's energikrav til ventilationsanlægget i henhold til kapitel 8.3, stk. 9, Ventilationssystemer⁸⁰.

4.1.3 - Definition af SEL-værdien

I DS 447, kapitel 6.1.4.2, er SEL-værdien defineret som forholdet mellem effektforbruget til ventilationsmotorerne inklusive reguleringsudstyr, og den transporterede luftvolumenstrøm.

Værdien skal måles/beregnes ved densiteten $1,2 \frac{kg}{m^3}$. SEL-værdien for en ventilator beregnes således:

$$SEL \left[\frac{J}{m^3} \right] = \frac{P [W]}{q_v \left[\frac{m^3}{s} \right]}$$

For et ventilationsanlæg med varmegenvinding er det den samlede sum af effektbehovet, som bliver forbrugt til indblæsnings- og udsugningsventilatoren.

SEL-værdien bestemmes for ventilationsanlæg med varmegenvinding:

$$SEL \left[\frac{J}{m^3} \right] = \frac{P_{indblæsning} + P_{udsugning} [W]}{q_{max} \left[\frac{m^3}{s} \right]}$$

⁸⁰ https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id124/0/42, SEL-værdi, BR10, 01-12-2018

$\Sigma P_{optagende}$

Optagende effekt for indblæsnings- og udsugningsventilatoren.

 q_{max}

Den største luftmængde af indblæsnings- eller udsugningsaggregaterne.

Ved beregningen af effekten skal der tages hensyn til virkningsgrader fra ventilatoren, transmissionen, motoren og regulering⁸¹.

4.2 - Forudsætninger for udførelsen af funktionsafprøvning ved SEL-værdien

For at kunne måle/beregne SEL-værdien på et ventilationsanlæg skal nedenstående kriterier være opfyldt:

- Tæthedsprøvning jf. DS 447 kapitel 6.3.1⁸² af ventilationsanlægget, som dokumenterer at anlægget overholder tæthedskravene, i henholdt til DS 447, kapitel. 6.1.2⁸³.
- Jf. DS 447, kapitel 6.3.2. Indregulering skal udføres således at ventilationsanlægget yder nominelle luftstrømme.
- I henholdt til DS 447, kapitel 6.3.3 skal komponenter, ventilationskanaler og filtre være rengjort⁸⁴.
- Ved installation af lufthastighedsfølere skal kravene fra DS 447, kapitel 6.2.13 overholdes⁸⁵.

⁸¹ Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, SEL-værdi, Side 24

⁸² Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, Tæthedsprøvninger, Side 31

⁸³ Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, Tæthed, Side 22

⁸⁴ Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, Aflevering, Side 32

⁸⁵ Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer, Følere, Side 31

4.3 -Krav

4.3.2 - Lovgivning

I henholdt til BR10 kapitel 8.3⁸⁶ er der følgende krav:

<i>Ventilation til erhverv</i>	<i>Målinger foretages ved</i>	<i>Krav</i>
CAV - Konstant luftydelse	Almindelig belastning	$1800 \frac{J}{m^3}$
VAV - Variable luftydelse	Maksimalt belastning	$2100 \frac{J}{m^3}$
Udsugningsventilation med naturlig udelufttilførsel	Almindelig belastning	$800 \frac{J}{m^3}$
Ovenstående bestemmelser gælder ikke for procesventilation og ved ventilationsanlæg, der har et årligt elforbrug for lufttransport, som er mindre end 400 kWh.		
<i>Ventilation til boliger</i>	<i>Målinger foretages ved</i>	<i>Krav</i>
CAV - Konstant luftydelse	Almindelig belastning	$1000 \frac{J}{m^3}$
VAV - Variable luftydelse	Maksimalt belastning	$1000 \frac{J}{m^3}$

Tabel 1 - Tabel over belastninger målinger skal foretages ved og krav fra BR10⁸⁷.

4.3.2 - Projekterende krav

I arbejdsbeskrivelsen⁸⁸ er der følgende krav:

<i>Ventilation til erhverv</i>	<i>Målinger foretages ved</i>	<i>Krav</i>
CAV - Konstant luftydelse	Almindelig belastning	$1500 \frac{J}{m^3}$
VAV - Variable luftydelse	Maksimalt belastning	$1800 \frac{J}{m^3}$
Udsugningsventilation med naturlig udelufttilførsel	Almindelig belastning	$750 \frac{J}{m^3}$

Tabel 2 - Tabel over belastninger målinger skal foretages ved og krav fra arbejdsbeskrivelsen⁸⁹.

⁸⁶ https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id124/0/42, Krav til SEL-værdi, BR10, 01-12-2018

⁸⁷ Egen tilvirkning, 01-12-2018

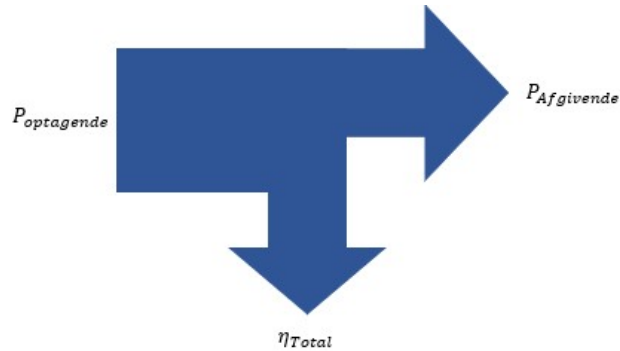
⁸⁸ Bilag 12

⁸⁹ Egen tilvirkning, 01-12-2018

4.4 - Energiforbrug

Energiforbruget i et ventilationsanlæg er afhængigt af luftmængden og tryktabet igennem hele systemet. Virkningsgraderne til ventilatorer, remtræk, motorer og i mange tilfælde frekvensomformere har også en indflydelse på det samlede energibehov.

4.4.1 Effektförbrug



Figur 4 - Sankey diagram⁹⁰.

Et ventilationsanlægs optagende effektförbrug bestemmes ved:

$$P_{optagende} = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_f}$$

$$q_v = \text{Luften volumenström} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Δp = Differenstrykket over ventilatioren [Pa]

η_v = Ventilatorens virkningsgrad

η_r = Remvirkningsgrad

η_m = Motorens virkningsgrad

η_f = Frekvensomformerens virkningsgrad

Totalvirkningsgraden for anlægget kan defineres således⁹¹:

$$\eta_{Total} = \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_f$$

⁹⁰ Egen tilvirkning, 06-12-2018

⁹¹ Henning Hørup Sørensen, Finn H. Ludvigsen & Ole B. Stampe (2015), Ventilations Ståbi, 2 udg. København, Nyt Teknisk Forlag, Side 234

Til bestemmelse af effektforbruget for indblæsnings- og udsugningsaggregatet er der anvendt følgende:

4.4.2 - Udstyr til effektmåling.

Måleinstrumentet Tinytag Energy Logger TGE-001 gemmer data fra ens målinger.



Figur 5- Tinytag Energy Logger TGE-001⁹²

Måleinstrumentet måler strømmen i de tre faser samtidig. Dog kan det kun måle en spænding. For at kunne måle effektforbruget i de tre faser generer dataloggeren ækvivalente spændinger til de to andre faser. Det gør den ved at forsinke den målte spænding med en tredjedel og to tredjedel af sinuskurven.

Det resulterer i at:

- Faserne er forskudt med 120 °.
- Spændingen i faserne har samme værdi.
- Harmoniske spændinger er identiske på de tre faser.
- Usikkerheden kan være op til 1%.

⁹² <http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2653-9800-0112.pdf>, Gemini, Billede af Tinytag, Side 7, 13-12-2018

Strømmen måles ved at montere tre gummiringe, der indeholder en spole. Gummiringene måler magnetfeltet rundt om hver enkelt fase⁹³.

Tinytag logger følgende:

- RMS (Root Mean Square) Strøm: Øjeblikkelig, max og gennemsnit
- RMS-spænding
- Effekt: Øjeblikkelig, max og gennemsnit
- Effektfaktor for de tre faser
- Energiforbrug (kWh)

Specifikationer:

- Kalibreret: 02-2018
- Spænding, trefasestrøm og effektlogging.
- Strøm: 2000A AC RMS.
- Spændingsmåleområde: 200-250V AC.
- Målenøjagtighed $\pm 2\%$ ⁹⁴.

⁹³ <http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2653-9800-0112.pdf>, Gemini, Måling af effekt Tinytag, Side 36, 13-12-2018

⁹⁴ <http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2751-ttenergylogger2016.pdf>, Gemini, Tinytag specifikationer, Side 3, 13-12-2018

Frekvensomformer

Ved kontinuerlig regulering af belastningen for ventilationens indblæsnings- og udsugningsaggregat er der anvendt en frekvensomformer.



Figur 6 - VLT HVAC Drive FC 102 (Danfoss)⁹⁵

Ventilationsanlæggets optagende effektforbrug, som er anvendt i CTS-systemet, stammer fra frekvensomformerens. Dog er tabet fra frekvensomformerens ikke en del af den værdi, som CTS'en indhenter. Der er derfor i CTS-systemet divideret med frekvensomformerens virkningsgrad for at opnå den totale optagende effekt. Da virkningsgrader er variable ved forskellige belastninger, blev Danfoss kontaktet omkring en virkningsgradkurve. Danfoss henviste til datakataloget, hvor der er beskrevet, at virkningsgraden er mere eller mindre konstant, når belastningsområdet er 75-100%.

Målenøjagtighed på frekvensomformerens er $\pm 5\%$ ⁹⁶.

⁹⁵ <http://drives.danfoss.dk/products/vlt/low-voltage-drives/vlt-hvac-drive-fc-102/#/>, Danfoss, Frekvensomformer, 13-12-2018

⁹⁶ Bilag 13

4.5 - Luftforbrug

Til bestemmelse af hovedluftmængden for indblæsning og udsugning er der anvendt følgende metoder:

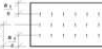
4.5.1 - Traversmåling

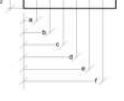
For at bestemme volumenstrømmen i en hovedkanal er målingerne baseret på lufthastigheder. For at måle luftens mønstre placeres målepunkter i kanaltværsnittet. Afhængig af kanalens dimension bestemmes antallet af målinger. Antallet af hastighedsmålinger bruges til beregning af volumenstrømmen. Her beregnes middelværdien af hastigheden. Målinger skal foretages på en lige strækning 4-5 gange kanalens dimension. Efterfølgende anvendes nedenstående formel:

- $q_v = v_m \cdot A \cdot K$
- $q_v = \text{Luftmængden} \left[\frac{m^3}{s} \right]$
- $v_m = \text{Middelværdien af hastigheden} \left[\frac{m}{s} \right]$
- $A = \text{Areal} [m^2]$
- $K = \text{Korrektionsfakta} - \text{Afhængig af kanalens form}^{97}$

Ved bestemmelse af antallet af målinger har bogen Ventilations Ståbi lavet en guide.

To dimensioneringsområder for b2:	1: 200 < b2 < 400	2: 400 < b2 < 2000
Område 1: a = 0,080 • b2	b = 0,430 • b2	c = 0,570 • b2 d = 0,920 • b2
Område 2: a = 0,060 • b2	b = 0,235 • b2	c = 0,430 • b2 d = 0,570 • b2
e = 0,765 • b2	f = 0,940 • b2	

Tre måleområder for a1:	200 < a1 ≤ 400	400 < a1 ≤ 800	800 < a1 ≤ 2000
			

			
--	---	--	--

For måleområderne benyttes følgende målepunktsplacering:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

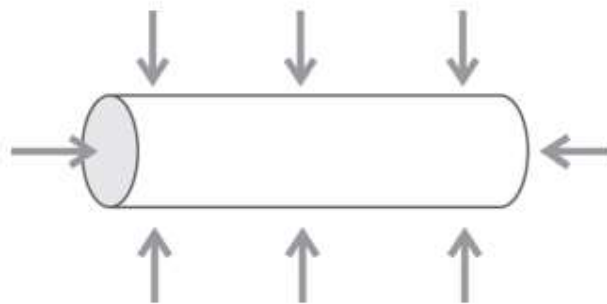
4.5.1.1 - Varmetrådsanemometer

Til traversmålingen er der anvendt et varmetrådsanemometer for at måle lufthastigheden. Princippet ved varmetrådsanemometeret er, at luften afkøler instrumentets føler (varmetråden) og omsætter det til lufthastighed. Det elektriske instrument indeholder en temperaturafhængig modstand, som måles i en Wheatstone bro, hvor varmetråden er referencen. En af de foranstaltninger, man skal være bevidst om, når man anvender varmetrådsanemometeret er, hvilke temperaturområder instrumentet skal måle over, da afkølingen er afhængig af luftens temperatur. Når man foretager målinger, skal føleren være i luftstrømmens retning⁹⁹.

4.6 - Tryk

I et ventilationsanlæg er der hovedsageligt tre tryk:

- $p_s = \text{statisk tryk [Pa]}$
- $p_d = \text{dynamisk tryk [Pa]}$
- $p_t = \text{totaltrykket [Pa]}$



Figur 8 - Illustration af statisk tryk¹⁰⁰

Det statiske tryk kan både være positivt, hvor der er overtryk i kanalen (højere end atmosfæretrykket) og negativt, hvor der er undertryk i kanalen (lavere end atmosfæretrykket).

⁹⁹ Erik Christophersen, (1976), Ventilationstekniske målinger (SBI 102), Hørsholm, Nyt Teknisk Forlag, Side 32

¹⁰⁰ <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/dk/technical/teori.pdf>, Lindab, Statisk tryk, 13-12-2018



Figur 9 - Illustration af dynamisk tryk¹⁰¹

Det dynamiske tryk er altid i luftens strømretning og er et mål for bevægelsesenergien, også benævnt den kinetiske energi. Det dynamiske tryk er afhængigt af:

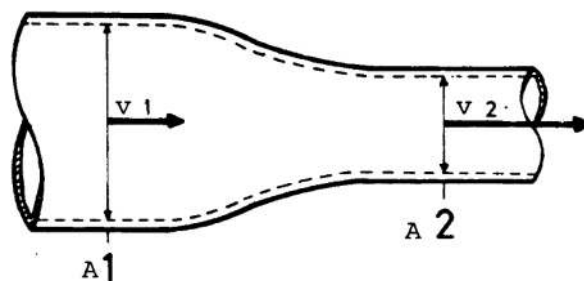
- $p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2}$
- $\rho = \text{luftens densitet } [\frac{kg}{m^3}]$
- $v = \text{luftens hastighed } [\frac{m}{s}]$

Summen af det statiske og det dynamiske tryk resulterer i det totale tryk¹⁰².

- $p_t = p_s + p_d$

Ved måling af differenstryk er de grundlæggende principper baseret på kontinuitetsligningen og Bernoulli's ligning.

Kontinuitetsligningen:



Figur 10 - Illustration af kontinuitetsligningen¹⁰³

¹⁰¹ <https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/dk/technical/teori.pdf>, Lindab, Dynamisk tryk, 13-12-2018

¹⁰² Henning Hørup Sørensen, Finn H. Ludvigsen & Ole B. Stampe (2015), Ventilations Ståbi, 2 udg. København, Nyt Teknisk Forlag, Side 228

¹⁰³ Arly Nielsen (2015), Mekanisk fysik og varmelære, Udg. 2, Odense, Nyt Teknisk Forlag, Side 141

Princippet for kontinuitetsligningen er, at et medie, i dette tilfælde er mediet luft, passerer et vilkårligt tværsnit, som er benævnt A_1 over en tidsperiode. Luften passerer videre igennem et mindre tværsnit A_2 over samme tidsperiode. I den proces ændres hastigheden.

Enhederne er ikke entydige, da størrelsen på arealet og tidsperioden kan variere. I dette tilfælde er de benævnt som nedenstående¹⁰⁴.

- $q_v = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$
- $A_1 = \text{Arealet på førtste tværsnit } [m^2]$
- $A_2 = \text{Arealet på andet tværsnit } [m^2]$
- $v_1 = \text{Hastighed 1 } \left[\frac{m}{s}\right]$
- $v_2 = \text{Hastighed 2 } \left[\frac{m}{s}\right]$

Bernoullis ligning:

Princippet bag Bernoullis ligning er, at forholdet mellem det statiske og det dynamiske tryk er konstant.

- $p_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v$
- $p_s = \text{Statisk tryk } [Pa]$
- $\rho = \text{Massefylden } \left[\frac{kg}{m^3}\right]$
- $v = \text{Hastigheden } \left[\frac{m}{s}\right]$

Trykket i et givent punkt i mediet er det statiske tryk, hvor det dynamiske tryk er bevægelses/kinetiske energi pr. m^3 eller liter (volumenenhed). Dvs. mediet har kun et dynamisk tryk ved bevægelse.

Hvis der forekommer en ændring i højden, genereres den potentielle energi ved tyngdeaccelerationen og højdeforskellen.

¹⁰⁴ Arly Nielsen (2015), Mekanisk fysik og varmelære, Udg. 2, Odense, Nyt Teknisk Forlag, Side 141

Så ser ligningen således ud:

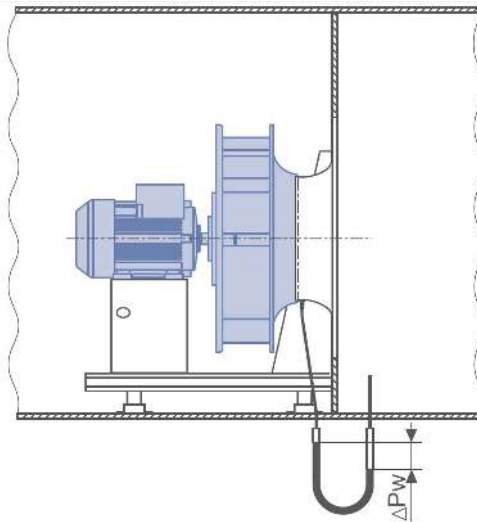
- $p_s = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v + \rho \cdot g \cdot \Delta h = \text{Konstant}$
- $g = \text{Tyngeaccelerationen } \left[\frac{m}{s^2} \right]$
- $\Delta h = h_1 - h_2$ [Måleenheden eks. cm]

Dette resulterer i¹⁰⁵:

- $E_{kin} + E_{pot} = \text{Konstant}$
- $E_{kin} = \text{Kinetisk energi}$
- $E_{pot} = \text{Potentiel energi}$

Differenstrykmåling af luftmængde:

Ved differenstrykmåling omsættes den potentielle energi, som er trykket, til den kinetiske energi, som er hastigheden. Dette sker ved en indsnævring af tværsnittet, så trykket falder, og hastigheden stiger, og der skabes derfor et differenstryk.



Figur 11 - Illustration af differenstryksmåler¹⁰⁶

Luftmængden måles ved en differenstryksmåler, som sammenligner det statiske tryk over indløbsringen¹⁰⁷.

¹⁰⁵ Arly Nielsen (2015), Mekanisk fysik og varmelære, Udg. 2, Odense, Nyt Teknisk Forlag, Side 143

¹⁰⁶ Bilag 1.

¹⁰⁷ Bilag 1.

Ligningen ser således ud:

- $q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p}$
- k = Konstanten oplyst af fabrikant. Indeholder areal og kaliberingsfaktor
- Δp = differenstrykket [Pa]

4. 7 - Måleudstyr til luftmængdemåling

TSI Air Velcocity Meter 9565-P¹⁰⁸ logger data ved målinger.

Specifikationer:

- Kalibreret: 05-2018
- Medie: Hastighed.
- Medie: CO₂
- Måleområde: 1,27-78,7 m/s
- Måler: Øjeblikkelig, max og gennemsnittet af luftmængden.
- Indstilling af tidsperiode over hver enkelte måling.
- Måleusikkerhed: $\pm 1.5\%$

Thermoanemoter Straight Probe 946¹⁰⁹ (Varmetrådsanemoter)

Specifikationer:

- Kalibreret: 05-2018
- Længde: 136 cm.
- Måleområde: Hastighed 0-50 m/s
- Måleområde: Temperatur -18°C -93°C
- Måleusikkerhed: $\pm 3\%$

¹⁰⁸ <http://www.tsi.com/velocicalc-multi-function-ventilation-meter-9565-p/#Accessories>, TSI, Specifikationer, 14-12-2018

¹⁰⁹ <http://www.tsi.com/Products/Product-Accessories/Thermoanemometer-Straight-Probe-960.aspx>, TSI, Specifikationer, 14-12-2018

Differenstrykmåler:

Den differenstrykstransmitter, der er anvendt i CTS-systemet, stammer fra fabrikanten Ventipart.

Specifikationer:

- Output signal - 10 V DC / 4-20 mA.
- Forsyning: 24 V AC
- Måleusikkerhed: $\pm 2,5\%^{110}$ (Der anvendt værdien fra "long term stability".)

4.8- Kalibrering

Kalibrering er en afstemning af måleudstyr i forhold til et andet mere nøjagtigt vurderet måleudstyr. Kalibreret udstyr er vedligeholdt og afprøvet indenfor besluttede intervaller. Et kalibreret måleudstyr viser ikke med sikkerhed den korrekte måleværdi. Måleusikkerheden er nøjagtigt dokumenteret i en evt. kalibreringsrapport, så visningsafvigelsen er kendt¹¹¹.

4.9 - Måleusikkerhed

Usikkerhedsberegning

Ved måling af en fysisk størrelse, som kan foretages via et måleinstrument, en målekomponent eller en måleopstilling, er målingen altid forbundet med nogle måleusikkerheder, og dvs. at der forekommer en visningsafvigelse fra den korrekte værdi. Det er derfor ikke muligt at opnå den virkelige fysiske størrelse. Den nøjagtige værdi ligger i et interval, som er indenfor usikkerhedens størrelse. Det er derfor nødvendigt at kende måleusikkerhederne, da den skal indgå i resultatet af målingen¹¹².

$$(t - \Delta) < x < (t + \Delta) \rightarrow x = t \pm \Delta$$

- x = Værdi man søger at måle
- t = Værdi man aflæser på måleinstrumentet
- Δ = Usikkerheden

¹¹⁰ Bilag 14

¹¹¹ Jørgen Meinertz & Valter Loll, (2018), Måleteknik, 1 Udg., Odense, Ny Teknisk Forlag, Side 32

¹¹² Jørgen Meinertz & Valter Loll, (2018), Måleteknik, 1 Udg., Odense, Ny Teknisk Forlag, Side 42

Absolut og relativ usikkerhed

Den absolutte usikkerhed er defineret ved størrelsen af Δ .

Den relative usikkerhed er defineret ved forholdet mellem $\frac{\Delta}{x}$.

Den relative usikkerhed benævnes ofte i procent.

Usikkerhedsberegning ved anvendelse af addition og subtraktion

Når der skal bestemmes en værdi x , kan den være afhængig af to målte størrelser x_1 og x_2 .

$$x = x_1 + x_2$$

Som nævnt ovenstående, så vil værdierne ikke oplyse den nøjagtige værdi. Det er gældende for hver af de to målinger:

$$x_1 = t_1 \pm \Delta_1 \text{ og } x_2 = t_2 \pm \Delta_2$$

Ved addition er t den højeste usikkerhed: $t = t_1 + t_2 + \Delta_1 + \Delta_2$.

Ved subtraktion er Δ_y den laveste usikkerhed: $t = t_1 + t_2 - \Delta_1 - \Delta_2$.

Den samlede absolutte usikkerhed er summen af hver enkelt målings absolutte usikkerheder.

Man kan bestemme den samlede absolutte usikkerhed på en værdi ved beregning af summen eller differensen af målingerne. Differensen af målingerne er defineret ved n . Det giver anledning til følgende ligning:

$$\Delta = \sqrt{(\Delta_1)^2 + (\Delta_2)^2 + (\Delta_3)^2 + \dots + (\Delta_n)^2}$$

Ovenstående ligning bestemmer den absolutte usikkerhed på en sum af målinger eller ved differensen af flere målinger. Dette gøres ved anvendelsen af geometrisk addition af den absolutte usikkerhed for hver enkelte måling¹¹³.

¹¹³ Poul Erik Petersen (2004), Elektriske Målinger Udg. 4, Lyngby, Bogfondens Forlag, Side 198

Usikkerhedsberegning ved anvendelse af multiplikation og division

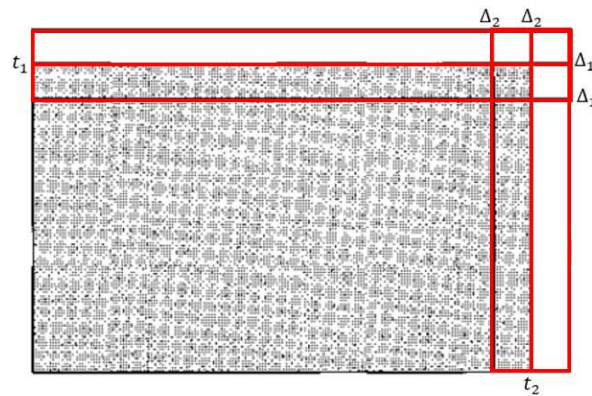
Når x er et resultat af to målte værdier x_1 og x_2 skal man ligesom ved addition og subtraktion tage højde for usikkerheden.

$$x_1 = t_1 \pm \Delta_1 \text{ og } x_2 = t_2 \pm \Delta_2$$

- t_1 & $t_2 = \text{Aflæste værdier}$

Ved multiplikation for den søgte værdi kommer følgende udtryk:

$$x = x_1 \cdot x_2$$



Figur 12 - Usikkerhedsberegning ved multiplikation¹¹⁴

Der tages udgangspunkt i en arealberegning. Ved iagttagelse af rektanglet er arealet af det grå rektangel bestemt ved t_1 og t_2 . $t = t_1 \cdot t_2$.

Den største afvigelse på arealet af rektanglet er summen af de smalle strimler, der er markeret rødt.

Ved bestemmelse af den største usikkerhed giver det ligningen:

$$\Delta = \Delta_1 \cdot t_2 + \Delta_2 \cdot t_1$$

Når der divideres med de målte værdier $t = t_1 \cdot t_2$, kan der findes den relative usikkerhed ved:

$$\frac{\Delta}{t} = \frac{\Delta_1 \cdot t_2}{t_1 \cdot t_2} + \frac{\Delta_2 \cdot t_1}{t_1 \cdot t_2} = \frac{\Delta_1}{t_1} + \frac{\Delta_2}{t_2}$$

¹¹⁴ Poul Erik Petersen (2004), Elektriske Målinger Udg. 4, Lyngby, Bogfondens Forlag, Side 199

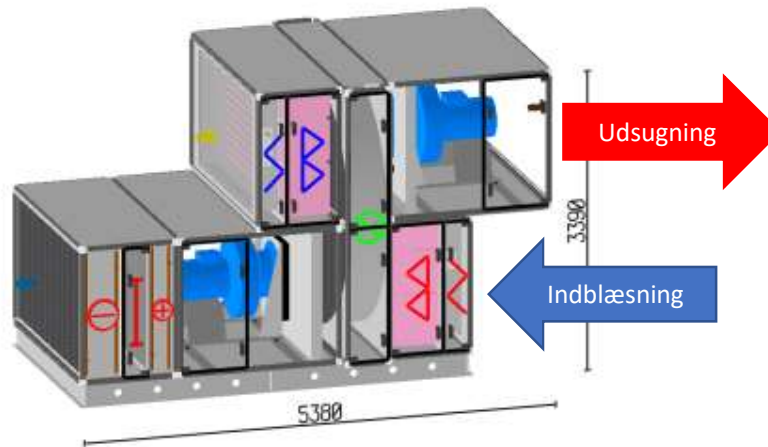
Den samlede relative usikkerhed, der er forbundet ved et resultat eller kvotienten af to eller flere målinger, kan bestemmes ved summen af de relative usikkerheder for de enkelte målinger. Der kan anvendes udtrykket:

$$\frac{\Delta}{t} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{t_2}\right)^2}$$

Den samlede relative usikkerhed, der forekommer ved en sum eller ved differensen af flere målinger, kan findes ved anvendelse af geometrisk addition af den relative usikkerhed for de enkelte målinger¹¹⁵.

¹¹⁵ Poul Erik Petersen (2004), Elektriske Målinger Udg. 4, Lyngby, Bogfondens Forlag, Side 200

4. 10 - Ventilationsanlægget Data



Figur 13 - Ventilationsaggregat¹¹⁶

Lokation:	Fortrolig
Zone:	Kontorer med reduceret driftstid ift. bygningens brugstid (komfortventilation).
Anlæg:	Danvent DV120 (Systemair)
Balanceret:	Mekanisk balanceret ventilationsanlæg
Varmegenvinding:	Roterende veksler
Anlægstype:	VAV
Driftstid:	Ventilationen er CTS-styret. Driftstid i hverdage fra 07:30-17:30 (50 timer ugentligt).
Frekvensomformer:	VLT HVAC Drive FC 102 (Danfoss)
Varmeblade/Køleblade:	Varmebatteri (luft og vand) /Kølebatteri (luft og vand)
Kanaldimension:	1200 x 1200 mm
K-faktor	789

¹¹⁶ Bilag 15

4.11 - Målinger

4.11.1 - Forudsætning

- Dato: 29-11-2018
- Måleperiode: kl. 09:14-09:56
- Målingerne er foretaget ved almindelig belastning (80-85%).
- Målemetoder: TBST¹¹⁷ funktionsafprøvning og BYGST¹¹⁸ - BMS/CTS performancetest.
- Udført af: Andreas Jonassen

TBST-fremgangsmåde:

"Målingerne foretages ved at logge optaget el-effekt og volumenstrøm. SEL-værdien beregnes for hver enkelt logning. Resultatet beregnes som den gennemsnitlige SEL-værdi for hele måleperioden.

"Vejledningen omhandler ikke beskrivelse af specifikke krav til målemetoder og måleudstyr".

"I tilfælde hvor der til funktionsafprøvninger anvendes eksternt måleudstyr, skal måleudstyret være retvisende og kalibreret".

BYGST-fremgangsmåde:

"Luftflow beregnes via målt differenstryk og k-faktor, der er specifik for hver ventilatortype. Målingerne foretages ved at logge optaget effekt over 15 minutter for hvert af de ovennævnte driftsscenarier med en opløsning på 1 minut. SEL-værdien beregnes for hver enkelt logning. Resultatet beregnes som den gennemsnitlige SEL-værdi i måleperioden".

TBST acceptkriterier:

"SEL-værdien måles til en gennemsnitlig værdi, der maksimalt overstiger kravet i bygningsreglementet med 5%".

¹¹⁷ Bilag 2

¹¹⁸ Bilag 1

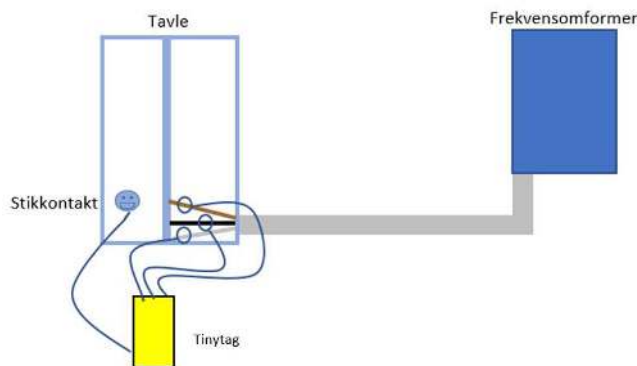
BYGST acceptkriterier:

"Testen accepteres, hvis SEL-værdien ved 100% luftmængde måles til en værdi der maksimalt overstiger udbudsmaterialet krav med 5%"

4.11.2 - Fremgangsmåde

Praktiske målinger

Effektmåling:



Figur 14 - Måleopstilling Tinytag¹¹⁹

Måleinstrumentet Tinytag er monteret på de tre faser, der forsyner frekvensomformerens i den tilhørende el-tavle. Effektforbruget bliver logget under perioden, hvor traversmålingen blev foretaget. Data fra de to målinger bliver logget på måleinstrumenterne og overført til computeren. Effektforbruget bliver logget hver 30 sekund.

Der er første målt på ventilatorens indblæsningsaggregat¹²⁰

- Tinytags måleperiode er:
kl. 09:14:47 til 09:36:47, varighed 22 minutter.

Efterfølgende er der målt på udsugningsaggregat¹²¹

- Tinytag måleperioden er:
kl. 09:41:34 til 09:55:34, varighed 14 minutter.

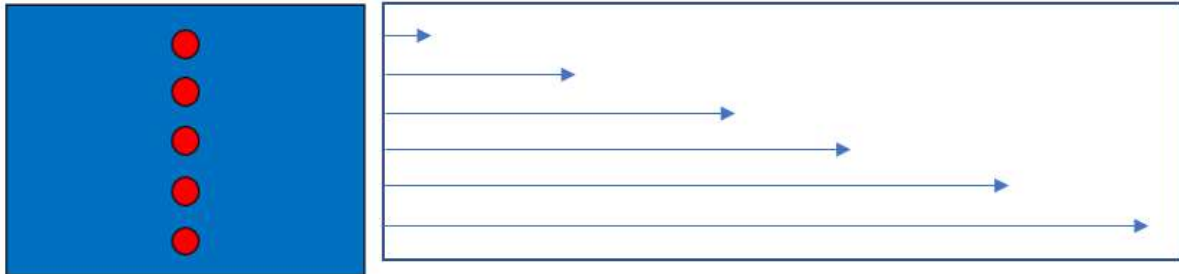
¹¹⁹ Egen tilvirkning, 15-12-2018

¹²⁰ Bilag 16

¹²¹ Bilag 17

Traversmåling:

Ved måling af luftmængden er der anvendt fabrikantens henvisning. Her er indstillet, at hver måling logges over en 10 sekunders periode. Der er yderligere indstillet kanalens dimension og temperatur af luften.



Figur 15 - Illustration på traversering af kanal¹²²

Eksisterende målepunkter i kanalen anvendes. I hvert målepunkt (rund cirkel) er der foretaget 6 målinger (se pile), for at TSI'en kan analysere luftmønstret i kanalen. Afstanden på de 6 målinger er taget ud fra Ventilations Ståbiens¹²³ henvisning. Målingen er udført på en 1200 mm kanal.

Indblæsningsmålingerne er taget på et lige stykke 5,5 gange kanalens dimension.

Udsugningsmålingerne er taget på et lige stykke, der er 4 gange kanalens dimension.

De 6 afstande er:

- $a = 70 \text{ mm}$
- $b = 280 \text{ mm}$
- $c = 515 \text{ mm}$
- $d = 685 \text{ mm}$
- $e = 920 \text{ mm}$
- $f = 1130 \text{ mm}$

¹²² Egen tilvirkning, 15-12-2018

¹²³ Henning Hørup Sørensen, Finn H. Ludvigsen & Ole B. Stampe (2015), Ventilations Ståbi, 2 udg. København, Nyt Teknisk Forlag, Side 465

Der er først målt på indblæsningsaggregatet ¹²⁴.

- TSI måleperiode er:
Kl. 09:21:56 til 09:41:29, varighed 19 minutter og 33 sekunder.

Efterfølgende er der målt på udsugningsaggregatet¹²⁵.

- TSI måleperiode er:
Kl. 09:48:10 til 10:00:06, varighed 11 minutter og 56 sekunder.

Det kan ses, at de to måleinstrumenter ikke er enige om den eksakte tid, men der er vurderet, at det er validt, da varigheden stemmer overens.

Effektloggeren blev monteret først, og efterfølgende blev der udført traversmåling. Der kan derfor være noget spildtid fra den optagne måledata af effekten til udførelsen af traversmålingen.

Ved bestemmelse af SEL-værdien vil der tages udgangspunkt i traversmålingens varighed. Ved effekt- og traversmålingen er der beregnet et gennemsnit. Middelværdien vil anvendes til at beregne SEL-værdien.

¹²⁴ Bilag 18

¹²⁵ Bilag 19

CTS - Målinger

Billede fjernet.

Figur 16 - CTS-målepunkter¹²⁶

Ovenstående billede viser CTS-en målepunkter. Se de røde markeringer.

Billede fjernet.

Figur 17 - Screenshot af måleværdier CTS

For at logge data er der taget et screenshot for hvert minut igennem funktionsafprøvningens varighed.

Det var desværre ikke muligt at indhente data på effektforbruget direkte. Men CTS'en oplyste luftmængden og SEL-værdien for indblæsningen og udsugningen, hvilket har gjort det mulig at beregne effektforbruget.

¹²⁶ Bilag 20 - Se for større format.

$$SEL_{Indblæsning} = \frac{P_{indblæsning\ gennemsnit}}{q_{indblæsning\ gennemsnit}} = 1219 = \frac{P_{indblæsning\ gennemsnit}}{\frac{28885}{3600}}$$

 $\Updownarrow$

$$P_{indblæsning\ gennemsnit} = 9780,782\ W$$

$$SEL_{Udsugning} = \frac{P_{udsugning\ gennemsnit}}{q_{udsugning\ gennemsnit}} = 1235 = \frac{P_{udsugning\ gennemsnit}}{\left(\frac{26725}{3600}\right)}$$

 $\Updownarrow$

$$P_{udsugning\ gennemsnit} = 9168,16\ W$$

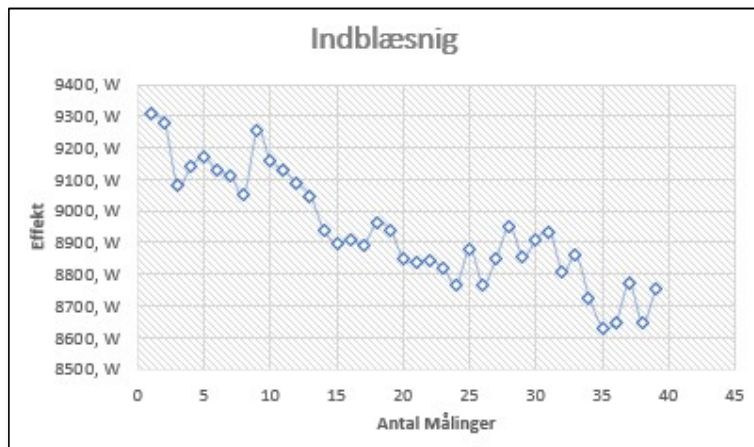
Beregningen af effekt er foretaget i Excel og ligger i bilagsrapporten¹²⁷¹²⁸.

Ved bestemmelse af SEL-værdien, vil der tages udgangspunkt i traversmålingens varighed. Der er beregnet gennemsnittet for luftmængden og effektforbruget. Middelværdien vil anvendes til at beregne SEL-værdien.

¹²⁷ Bilag 21

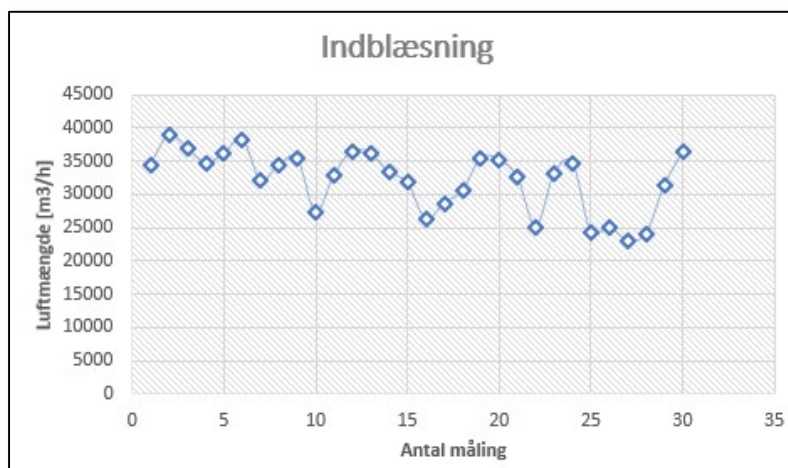
¹²⁸ Bilag 22

4.11.3 - Praktiske målinger (Funktionsafprøvning)



Figur 18 - Indblæsningens effektforbrug (Tinytag)¹²⁹

$$P_{\text{Indblæsningpraktisk gennemsnit}} = 8936,8 \text{ W}$$

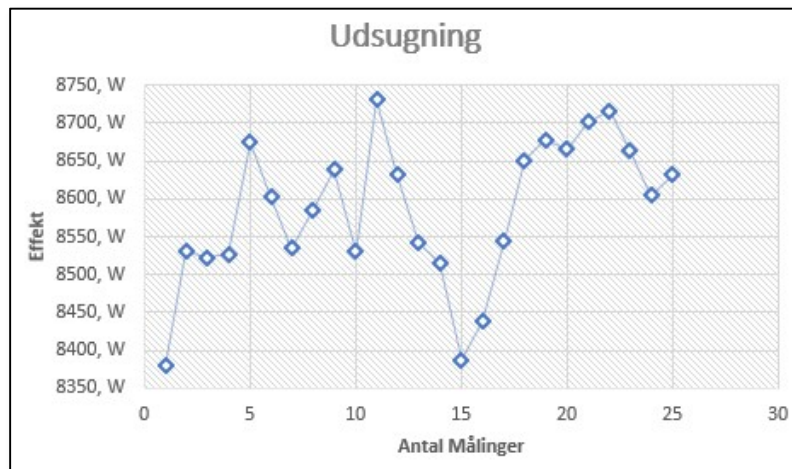


Figur 19 - Indblæsningens luftmængde (TSI)¹³⁰

$$q_{\text{indblæsnin Praktisk gennemsnit}} = 32178 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

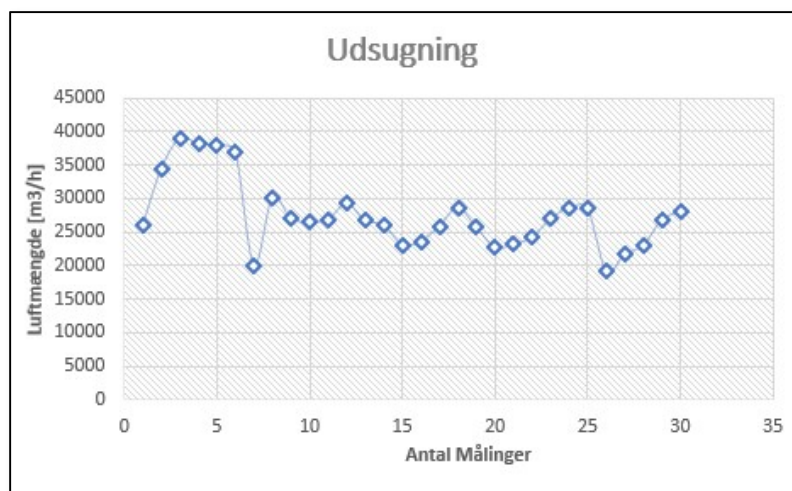
¹²⁹ Bilag 16

¹³⁰ Bilag 18



Figur 20 - Udsugningens effektforbrug (Tinytag)¹³¹

$$P_{\text{udsugning praktisk gennemsnit}} = 8585 \text{ W}$$



Figur 21 - Udblæsningens luftmængde (TSI)¹³²

$$q_{\text{udsugning gennemsnit}} = 27526 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

¹³¹ Bilag 17

¹³² Bilag 19

4.11.4 - Beregning af SEL-værdi praktiske målinger (Funktionsafprøvning)

$$SEL_{\text{Indblæsning}} = \frac{P_{\text{indblæsning gennemsnit}}}{q_{\text{indblæsning gennemsnit}}} = \frac{8936,8}{\left(\frac{32178}{3600}\right)} \approx 999,8285 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{\text{Udsugning}} = \frac{P_{\text{udsugning gennemsnit}}}{q_{\text{udsugning gennemsnit}}} = \frac{8585}{\left(\frac{27526}{3600}\right)} \approx 1122,793 \frac{J}{m^3}$$

$$q_{\text{indblæsning Praktisk gennemsnit}} > q_{\text{udsugning Praktisk gennemsnit}}$$

$$32178 \frac{m^3}{h} > 27526 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\text{max gennemsnit}} = q_{\text{indblæsning Praktisk gennemsnit}}$$

$$SEL_{\text{Praktisk}} = \frac{P_{\text{indblæsning Praktisk gennemsnit}} + P_{\text{udsugning Praktisk gennemsnit}}}{q_{\text{max gennemsnit}}} =$$

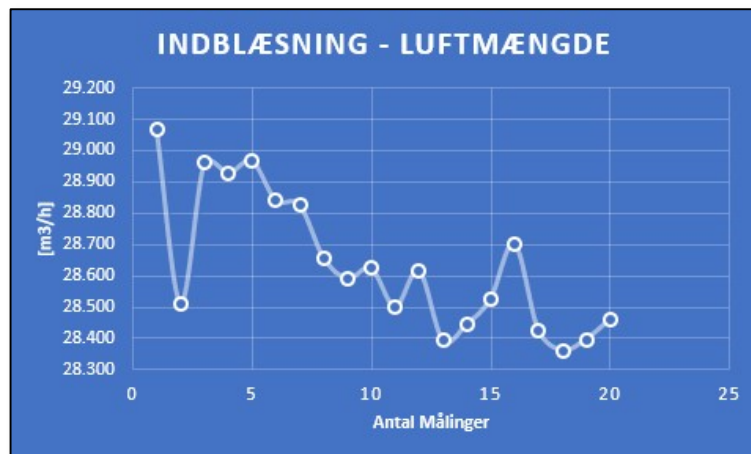
$$\frac{8936,8 + 8585}{\left(\frac{32178}{3600}\right)} \approx \underline{\underline{1960,298 \frac{J}{m^3}}}$$

4.11.5 - CTS-målinger (Performancetest)



Figur 22 - Indblæsningens effektforbrug (CTS)¹³³

$$P_{\text{indblæsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}} = 9655,9W$$

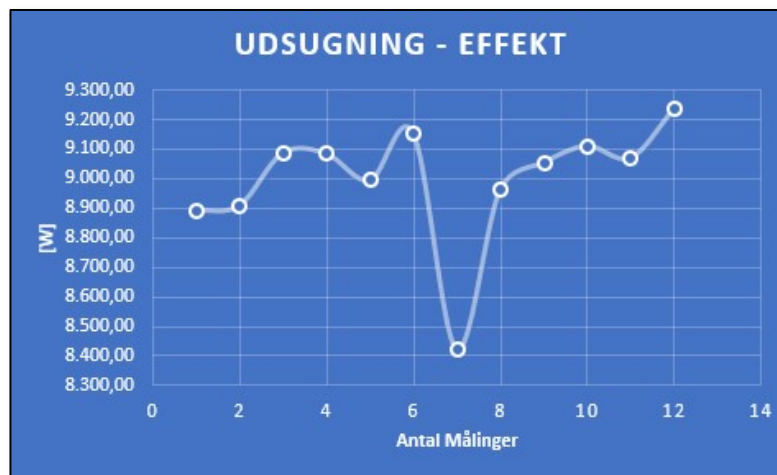


Figur 23 - Indblæsningens luftmængde (CTS)¹³⁴

$$q_{\text{indblæsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}} = 28640 \frac{m^3}{h}$$

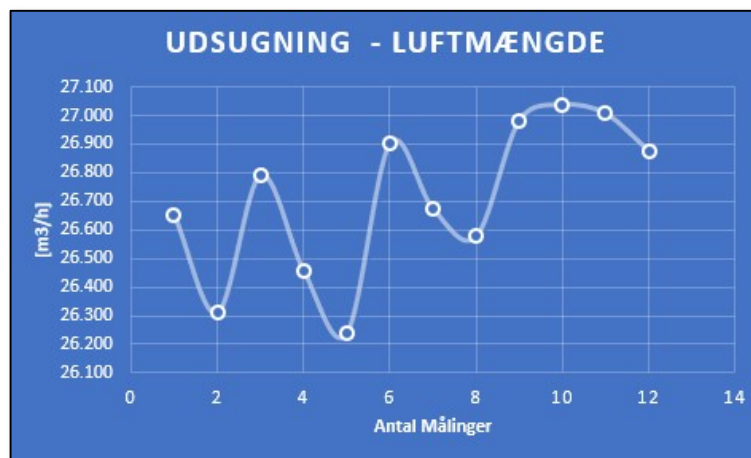
¹³³ Bilag 21

¹³⁴ Bilag 21



Figur 24 - Udsugningens effektforbrug (CTS)¹³⁵

$$P_{udsugning_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 8998,1 \text{ W}$$



Figur 25 - Indblæsningens luftmængde (CTS)¹³⁶

$$q_{udsugning_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 26709 \frac{m^3}{h}$$

¹³⁵ Bilag 22

¹³⁶ Bilag 22

4.11.6 - Beregning af SEL-værdi ved CTS-målinger (Performancetest)

Indblæsning:

$$P_{\text{Indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 9655,9 W$$

$$q_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 28640 \frac{m^3}{h}$$

Udsugning:

$$P_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 8998,1 W$$

$$q_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 26709 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} > q_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}}$$

$$28640 \frac{m^3}{h} > 26709 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\text{max}_{\text{gennemsnit}}} = q_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}}$$

$$SEL_{CTS} = \frac{P_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} + P_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}}}{q_{\text{max}_{\text{gennemsnit}}}} =$$

$$\frac{9655,9 + 8998,1}{\left(\frac{28640}{3600}\right)} \approx 2344,8 \frac{J}{m^3}$$

4.11.7 - Sammenligning af SEL-værdien ved to metoder

$$SEL_{Praktisk} = 1960,3 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{CTS} = 2344,8 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{Forskel} = SEL_{CTS} - SEL_{Praktisk} = 2344,8 - 1960,3 = 384,5 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{Forskel} \text{ i } \% = \frac{1960,3}{2344,8} \cdot 100 \approx 83,6 \rightarrow \underline{\underline{16,4\%}}$$

Projekteret krav:BYGST¹³⁷ acceptkriterier:

$$SEL_{PK5\%afvigelse} = 1800 \cdot 1,05 = 1890 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{PK5\%afvigelse} > SEL_{Praktisk}$$

$$1890 \frac{J}{m^3} < 1960,3 \frac{J}{m^3} \rightarrow \text{Ikke godkendt.}$$

$$SEL_{PK5\%afvigelse} > SEL_{CTS}$$

$$1890 \frac{J}{m^3} < 2344,6 \frac{J}{m^3} \rightarrow \text{Ikke godkendt.}$$

¹³⁷ Bilag 1

BR10 Krav

TBST¹³⁸ acceptkriterier:

$$SEL_{BR10\%afvigelse} = 2100 \cdot 1,05 = 2205 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{BR10\%afvigelse} > SEL_{Praktisk}$$

$$2205 \frac{J}{m^3} > 1960,3 \frac{J}{m^3} \rightarrow \text{Godkendt.}$$

$$SEL_{BR10\%afvigelse} > SEL_{CTS}$$

$$2205 \frac{J}{m^3} < 2344,8 \frac{J}{m^3} \rightarrow \text{Ikke godkendt}$$

¹³⁸ Bilag 2

4.12 - Måleusikkerheder

4.12.1 - Måleusikkerhed ved praktiske målinger:

Nedenfor er vist hvilke måleusikkerheder, der er forbundet med effektmålingen.

- Tinytag Energy Logger TGE-001 har en måleusikkerhed på $\pm 2\%$
- Støj på elnettet fra frekvensomformerer
- Effekttab i kablet der forsyner frekvensomformerer
- Ikke identisk spænding fra måleinstrument
- Kalibreringsafvigelse
- Målemetode

Ved bestemmelsen af SEL-værdien er målt følgende effekter:

$$P_{\text{Indblæsning}_{\text{praktisk gennemsnit}}} = 8936,8 \text{ W} \pm 2\% \rightarrow 8936,8 \text{ W} \pm 178,736 \text{ W}$$

$$P_{\text{udsugning}_{\text{praktisk gennemsnit}}} = 8585 \text{ W} \pm 2\% \rightarrow 8585 \pm 171,7 \text{ W}$$

$$\Delta P_{\text{relprk}} = \sqrt{\Delta P_{\text{ind}}^2 + \Delta P_{\text{ud}}^2} = \sqrt{178,736^2 + 171,7^2} \approx 247,8456 \text{ W}$$

SEL-værdien tager kun udgangspunkt i den største luftmængde fra indblæsnings- og udsugningsaggregatet. Der vil kun foretages usikkerhedsberegningen af $q_{\text{max}_{\text{gennemsnit}}}$.

Nedenfor vises hvilke måleusikkerheder, der er forbundet med luftmængdemålingen:

- TSI Air Velcocity Meter 9565-P har en måleusikkerhed på $\pm 1.5\%$
- Thermoanemometer Probe 964 har en måleusikkerhed på ± 3
- Målemetode
- Turbulens
- Kalibreringsafvigelse

$$q_{indblæsnin \text{ Praktisk } gennemsnit} > q_{udsugning \text{ Praktisk } gennemsnit}$$

$$32178 \frac{m^3}{h} > 27526 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\max \text{ gennemsnit}} = q_{indblæsnings \text{ gennemsnit}}$$

$$\Delta q_{abs \text{ prak}\%} = \sqrt{\Delta TSI^2 + \Delta THER^2} = \sqrt{1,5^2 + 3^2} \approx 3,354102\%$$

$$\Delta q_{rel \text{ prak}} = \frac{q_{udsugning \text{ Praktisk } gennemsnit}}{100} \cdot \Delta q_{abs \text{ prak}\%} =$$

$$\frac{32178}{100} \cdot 3,354102 \approx 1079,283 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\max \text{ gennemsnit}} = 32178 \frac{m^3}{h} \pm 3,354102\% \rightarrow 32178 \frac{m^3}{h} \pm 1079,283 \frac{m^3}{h}$$

$$SEL_{\text{Praktisk}} = 1960,298 \frac{J}{m^3}$$

For at beregne den samlede relative usikkerhed ved bestemmelsen af SEL-værdien anvendes nedenstående formel:

$$\frac{\Delta}{t} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{t_2}\right)^2} = \frac{\Delta}{SEL_{\text{prak}}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{rel \text{ prak}}}{\Sigma P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q_{rel \text{ prak}}}{q_{\max \text{ gennemsnit}}}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta}{1960,298} = \sqrt{\left(\frac{247,8456}{8936,8 + 8585}\right)^2 + \left(\frac{\left(\frac{1079,283}{3600}\right)}{\left(\frac{32178}{3600}\right)}\right)^2} \rightarrow \Delta = 71,3581 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{\text{prak}} = 1960,298 \frac{J}{m^3} \pm 71,3581 \frac{J}{m^3} \rightarrow \underline{\underline{1960,298 \pm 3,540166\%}}$$

4.12.3 - Måleusikkerheder ved CTS- målinger

Nedenfor vises hvilke måleusikkerheder, der er forbundet med CTS-målinger:

Målefejl:

- CTS-trykfølere ikke nulstillet
- Forkert / for stort måleområde for trykfølere
- Dipswitch i tryktransmitter stillet forkert
- Måleslanger for tryktransmittere der er bukket eller ikke er monteret korrekt
- Fejl i forbindelse med måling af effekt peak og min værdier
- Kalibreringsafvigelse
- Usikkerhed på k-faktor
- Frekvensomformer har en måleusikkerhed på $\pm 5\%$.
- Differenstryk føler har en måleusikkerhed på $\pm 2,5\%$.

$$P_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 9655,9 W \pm 5\% \rightarrow 9655,9 W \pm 482,795 W$$

$$P_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} = 8998,1 W \pm 5\% \rightarrow 8998,1 W \pm 449,795 W$$

$$\Delta P_{rel_{CTS}} = \sqrt{\Delta P_{ind}^2 + \Delta P_{ud}^2} = \sqrt{482,795^2 + 449,905^2} \approx 659,9284 W$$

SEL-værdien tager kun udgangspunkt i den største luftmængde fra indblæsningens og udsugningsaggregatet. Der vil kun foretages usikkerhedsberegningen af den $q_{\text{max}_{gennemsnit}}$.

$$q_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}} > q_{\text{udsugning}_{CTS} \text{ gennemsnit}}$$

$$28640 \frac{m^3}{h} > 26709 \frac{m^3}{h}$$

$$q_{\max_{\text{gennemsnit}}} = q_{\text{indblæsning}_{CTS} \text{ gennemsnit}}$$

$$q_{\max_{\text{gennemsnit}}} = 28640 \frac{m^3}{h} \pm 2,5\% \rightarrow 28640 \frac{m^3}{h} \pm 716 \frac{m^3}{h}$$

$$SEL_{CTS} = 2344,8 \frac{J}{m^3}$$

$$\frac{\Delta}{t} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_1}{t_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_2}{t_2}\right)^2} = \frac{\Delta}{SEL_{CTS}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P_{rel_{CTS}}}{\Sigma P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q_{rel_{CTS}}}{q_{\max_{\text{gennemsnit}}}}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta}{2344,9} = \sqrt{\left(\frac{659,9284}{9655,9 + 8998,1}\right)^2 + \left(\frac{\left(\frac{716}{3600}\right)}{\left(\frac{28640}{3600}\right)}\right)^2}$$

$$\Updownarrow$$

$$\Delta = 101,5792 \frac{J}{m^3}$$

$$SEL_{CTS} = 2344,9 \frac{J}{m^3} \pm 101,5792 \frac{J}{m^3} \rightarrow \underline{\underline{2344,9 \pm 4,33192\%}}$$

4.13 - Driftsøkonomi

Beregning af den årlige driftsøkonomi tager udgangspunkt i effektmålingerne.

- Driftstid pr. uge: 50 Timer
- Pris pr. kWh: 2,25 kr. pr kWh¹³⁹

$$\text{Årligt}_{brugstid} = 50 \cdot 52 = 2600 \text{ timer}$$

$$P_{\text{Indblæsning}_{\text{praktisk}} \text{ gennemsnit}} = 8936,8 \text{ W}$$

$$P_{\text{udsugning}_{\text{praktisk}} \text{ gennemsnit}} = 8585 \text{ W}$$

$$\Sigma P_{\text{praktisk}} = P_{\text{Indblæsning}_{\text{praktisk}} \text{ gennemsnit}} + P_{\text{udsugning}_{\text{praktisk}} \text{ gennemsnit}}$$

$$8936,8 + 8585 = 17521,8 \text{ W}$$

$$\text{Årligt } kWh_{\text{forbrug}} = \Sigma P \cdot \text{Årligt}_{brugstid} = \left(\frac{17521,8}{1000} \right) \cdot 2600 = 45.556,68 \text{ kWh}$$

$$\text{Årligt}_{\text{forbrug}} = \text{Årligt } kWh_{\text{forbrug}} \cdot \text{Pris}_{\text{prkWh}} = 45.556,68 \cdot 2,25 \approx \underline{\underline{102.502,5 \text{ kr.}}}$$

$$P_{\text{Indblæsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}} = 9655,9 \text{ W}$$

$$P_{\text{Indb æsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}} = 8998,1 \text{ W}$$

$$\Sigma P_{\text{praktisk}} = P_{\text{Indblæsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}} + P_{\text{Indb æsning}_{\text{CTS}} \text{ gennemsnit}}$$

$$9655,9 + 8998,1 = 18654 \text{ W}$$

$$\text{Årligt } kWh_{\text{forbrug}} = \Sigma P \cdot \text{Årligt}_{brugstid} = \left(\frac{18654}{1000} \right) \cdot 2600 = 48.500,4 \text{ kWh}$$

$$\text{Årligt}_{\text{forbrug}} = \text{Årligt } kWh_{\text{forbrug}} \cdot \text{Pris}_{\text{prkW}} = 48.500,4 \cdot 2,25 = \underline{\underline{109.125,9 \text{ kr.}}}$$

¹³⁹ <https://www.nettopower.dk/hvad-koster-1-kwh>, Pris pr. kWh, Nettopower, 16-12-2018

Forskellen på det årlige forbrug:

$$Forskel = \text{Årligt}_{\text{pris}_{\text{CTS}}} - \text{Årligt}_{\text{pris}_{\text{prak}}} = 109.125,9 - 102.502,5 = \underline{\underline{6.623,4 \text{ kr.}}}$$

4.14 - Præsentation af resultaterne

Praktiske målinger (Funktionsafprøvning) i forhold til krav				
Beregnet SEL-værdi	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$1960,298 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Godkendt</u>

Tabel 3- Funktionsafprøvning i forhold til krav

CTS-målinger (Performancetest) i forhold til krav				
Beregnet SEL-værdi	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$2344,8 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>

Tabel 4 - Performancetest i forhold til krav

Sammenligning af de to metoder			
Praktisk SEL-værdi	CTS SEL-værdi	Afvigelse	Afvigelse i %
$1960,298 \frac{J}{m^3}$	$2344,8 \frac{J}{m^3}$	$384,5 \frac{J}{m^3}$	16,4 %

Tabel 5 - Sammenligning af de to metoder

Praktiske målinger (Funktionsafprøvning) med måleusikkerheder				
Beregnet SEL-værdi	Den samlede relative usikkerhed	Den samlede relative usikkerhed i %	Beregnet SEL-værdi min	Beregnet SEL-værdi max
$1960,298 \frac{J}{m^3}$	$71,3581 \frac{J}{m^3}$	$\pm 3,540166\%$	$1888,94 \frac{J}{m^3}$	$2031,656 \frac{J}{m^3}$

Tabel 6 - Funktionsafprøvning med måleusikkerhed

CTS-målinger (Performancetest) med måleusikkerheder				
Beregnet SEL-værdi	Den samlede relative usikkerhed	Den samlede relative usikkerhed i %	Beregnet SEL-værdi min	Beregnet SEL-værdi max
$2344,8 \frac{J}{m^3}$	$101,5792 \frac{J}{m^3}$	$\pm 4,33192 \%$	$2243,221 \frac{J}{m^3}$	$2446,379 \frac{J}{m^3}$

Tabel 7 - Performancetest med måleusikkerheder

Praktiske målinger i forhold til krav med måleusikkerhed min.				
Beregnet SEL-værdi min	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$1888,94 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Godkendt</u>

Tabel 8 - Funktionsafprøvning i forhold til krav med måleusikkerhed min.

Praktiske målinger i forhold til krav med måleusikkerhed max.				
Beregnet SEL-værdi max	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$2031,656 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Godkendt</u>

Tabel 9 - Funktionsafprøvning i forhold til krav med måleusikkerhed max.

CTS-målinger i forhold til krav med måleusikkerhed min.				
Beregnet SEL-værdi min	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$2243,221 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>

Tabel 10 - Performancetest i forhold til krav med måleusikkerhed min.

CTS-målinger i forhold til krav med måleusikkerhed max.				
Beregnet SEL-værdi max	Projekteret SEL-værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt Projekteret SEL-værdi + acceptkriterier	BR10 SEL-Værdi inkl. acceptkriterier 5%	Godkendt BR10 SEL-værdi acceptkriterier
$2446,379 \frac{J}{m^3}$	$1890 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>	$2205 \frac{J}{m^3}$	<u>Ikke godkendt</u>

Tabel 11 - Performancetest i forhold til krav med måleusikkerhed max.

Sammenligning af de to metoder			
Årligt forbrug Praktisk	Årligt forbrug CTS	Afvigelse	Afvigelse i %
102.502,5 kr.	109.125,9 kr.	6.623,4 kr.	6,07 %

Tabel 12 - Sammenligning af de to metoder årligt effektforbrug

4.15 - Diskussion af validiteten, reliabiliteten og kildekritik

Der ikke er defineret klare retningslinjer om, hvordan man måler SEL-værdien fra BR10 og DS 447. På den baggrund opstod der en undring om, hvad måleresultaterne ville være ved anvendelse af BYGST- og TBST-målemetoder.

Det har været udfordrende at følge BYGST- og TBST-anvisninger 100%. Forudsætningen om, at ventilationsanlægget skal være maksimalt belastet og være låst på driftspunktet, imens målingen foretages, har ikke været muligt. På baggrund af dette kan måleresultaterne ikke ses som et retvisende billede, når det bliver sat op imod kravene. Kravene bliver dog stadig anvendt som reference til analyse af de to SEL-værdier.

Både funktionsafprøvningen og performancetesten forudsætter rene filtre mm., hvilket ikke har været muligt at overholde. I vejledningen af BYGST-performance test beskrives, at elforbruget logges via en el-bimåler. Bimåleren på målelokationen er forbundet til to anlæg. Data stammer derfor fra frekvensomformerer.

En udfordring mere viste sig at være anskaffelse af de nødvendige måleinstrumenter og et anlæg at måle på. Først efter stor ihærdighed og kontakter til tre forskellige anerkendte virksomheder kom måleinstrumenterne i hus.

Måleinstrumentet Tinytag, der er anvendt til effektmåling til de praktiske målinger, måler kun en fasespænding og forsinker spændingen med en tredjedel og to tredjedele for at kunne generere en trefaset effektmåling. Det betyder, at målingen tager udgangspunkt i en identisk spænding. Når der er en frekvensomformer på nettet, genererer den støj i form af harmoniske strømme og spændinger. Denne støj kan påvirke effektmålingen.

Til at beregne måleusikkerheden er der adskillige metoder. I bogen "*Måleteknik*" er beskrevet forskellige systematiske metoder, men alle metoder viste sig at være bundet op på standardafvigelsen for målinger og kunne ikke anvendes på grund af manglende låst driftspunkt. Dette kan ses via graferne, der illustrerer en tendens, til at belastningen pendler. Den valgte metode tager derfor udgangspunkt i usikkerhedsberegningen fra elektronik bog 2 "*Elektriske målinger*".

I begge metoder beskrives beregning af SEL-værdien ud fra hver enkelt logning. Antallet af logninger ved de praktiske målinger stemmer ikke overens, da tidsintervallet for logningerne ikke er det samme. Det er derfor ikke muligt at beregne SEL-værdi ud fra hver enkelt logningsberegning. Den er i stedet foretaget på baggrund af den gennemsnitlige effekt og transporterede luftmængde.

Resultaterne af målingerne fra henholdsvis TBST- og BYGST-målemetode vurderes at være gyldige til besvarelsen af underspørgsmål 2, da målingerne er foretaget ud fra samme forudsætninger.

4.16 - Delkonklusion

Denne delkonklusion fremkommer af de indsamlede primære data fra målingerne, målemetoderne og beregning af driftsøkonomien.

Setuppet ved at foretage en funktionsafprøvning og en performancetest er en omfattende proces med mange indvirkningsfulde forudsætninger.

Det kan konstateres, at der er en bemærkelsesværdig forskel på de to måleresultater. Forskellen i tal er $384,5 \frac{J}{m^3}$ omregnet til procent 16,4%. Her er det værd at fremhæve, at SEL-værdien, der er foretaget ved praktiske målinger, overholder BR10 krav, hvorimod CTS-målinger ikke overholder kravet og har en afvigelse på 5,96%. De to SEL-værdier er ikke godkendt i henhold til de projekterede krav.

Ved de praktiske målinger ligger den samlede relative usikkerhed på $\pm 3,54\%$. Hvis denne usikkerhed tillægges SEL-værdien på $1960,298 \frac{J}{m^3}$, vippes værdien sådan at den bliver godkendt i forhold til de projekterede krav. Uanset om den relative usikkerhed tillægges CTS'ens SEL-værdi kommer den værdi aldrig under BR10's eller de projekterede krav og kan derfor ikke godkendes.

Det kan konkluderes, at driftsøkonomien for størrelsen af et sådant ventilationsanlæg ligger i den tunge ende. De to målingers årlige omkostninger er på over 100.000 kr. Forskellen på de to målinger er 6.623,4 kr., som udgør 6,07%

Kapitel 5 - Konklusion

I dette afsnit vil der blive konkluderet på spørgsmål 1 og spørgsmål 2.

Hvordan påvirker ændringer i byggeriets faser overholdelsen af SEL-værdien?

Det kan konstateres at bygninger bliver solgt på arkitektens design, fremfor funktionalitet.

Fra idéoplægget til det overdragede byggeri foretages der mange ændringer, der resulterer i adskillige nye tiltag, der har direkte og indirekte indflydelse på SEL-værdien.

Den indirekte indflydelse er at SEL-værdi ikke medtages løbende i beslutningsgrundlaget ved ændringer. Samtidig er der manglende kontrol og sporbarhed, hvilket medvirker til at SEL-værdien bliver glemt i processen. Derfor kan det konkluderes at beslutningerne tages uden hensyntagen til overholdelsen af SEL-værdien.

Den direkte indflydelse er at udbudsmaterialet ikke er fyldestgørende, hvilket betyder at når entreprenøren skal færdigdimensionere ventilationsanlægget opstår der ændringer. Det resulterer i uhensigtsmæssig montage af ventilationskanaler, hvilket generer øget tryktab i systemet og derved opstår der vanskeligheder med at overholde SEL-værdien. Da der igennem byggeriets faser allerede er justeret ned på SEL-værdien forstærkes disse vanskeligheder.

Hvad er resultatet ved måling af SEL-værdien ved brug af henholdsvis en performancetest og en funktionsafprøvning og hvad er driftøkonomien?

Det kan konkluderes at selvom målingerne er foretaget under de samme forsætninger, er der en bemærkelsesværdig afvigelse på 16,4%.

- Funktionsafprøvning (praktisk måling): $1960,298 \frac{J}{m^3}$
- Performancetest (CTS-måling): $2344,8 \frac{J}{m^3}$

Det kan konkluderes at BYGST-performancetest ikke kan godkendes i forhold til de projekterende- og BR10's krav.

Funktionsafprøvningens SEL-værdi er godkendt i henholdt til BR10's krav, men opfylder ikke de projekterende krav.

Begge målinger er behæftet med en usikkerhedsberegning. Funktionsafprøvning samlede relative usikkerhed er på $\pm 3,54\%$, hvor performancetesten er på $\pm 4,33\%$. Igen er det værd at fremhæve at anvendes måleusikkerheden bliver funktionsafprøvningen godkendt jævnfør de projekterede krav.

Performancetesten $\pm 4,33\%$ måleusikkerhed bliver ikke godkendt på nogen af kravene.

Som det tidligere er beskrevet i kapitlet, er der mange parametre der kan påvirke målingerne. Derfor kan det ikke konkluderes, hvilken SEL-værdi der er den korrekte.

Forskellen på de to målinger i årligt forbrug er 6.623,40 kr., hvilket ved beregning af den årlige driftsøkonomi beløber sig henholdsvis til 102.502,50 kr. for funktionsafprøvningen og til 109.125,90 kr. for performancetesten.

Opsummering.

Opgavens konklusion påviser tydeligt at SEL-værdien har svært ved at leve op til lovkravene ved de mange ændringer i byggeriet. Yderligere er det et faktum, at de to målinger der er foretaget på samme ventilationsanlæg under samme forudsætninger, resulterer i at performancetesten ikke godkendes, hvor funktionsafprøvningen kan justeres ind og blive godkendt. Forskellen på det årlige forbrug beløber til 6.623,40 kr. ud fra effektmålingerne.

5.1 - Perspektivering

Denne rapport, giver et fyldestgørende og nuanceret billede af begrebet SEL-værdi, fra tegnebræt til målinger.

Af den grund må opgavens perspektivering tage udgangspunkt i klima og den grønne omstilling, der sætter dagsordenen for tiden. SEL-værdien kan ikke siges at have den store bevågenhed hverken fra byggebranchen eller fra lovgivere. Vil man den grønne omstilling med en SEL-værdi i byggeriet kalder det på ressourcer, til at udarbejde nye retningslinjer. Hvor der skal udvikles metoder til løbende kontrol igennem byggeriet og standard målinger af SEL-værdien.

Litteraturliste

Bøger

Lotte Rienecker, (2015), Problemformulering På Videregående Uddannelser, 4 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

Lotte Rienecker & Peter Stray Jørgensen (2017), Den Gode Opgave, 5 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

Ib Andersen (2013), Den Skinbarlige Virkelighed, 5 udg., Frederiksberg, Samfundslitteratur

Torben Naldal, (2011), Byggeriets Faser og Organisering, 2 udg., Valby, Nyt Teknisk Forlag

Sven Brinkmann (2014), Det Kvalitative Interview, 1 Udg., København, Hans Reitzers Forlag

Henning Hørup Sørensen, Finn H. Ludvigsen & Ole B. Stampe (2015), Ventilations Ståbi, 2 udg. København, Nyt Teknisk Forlag

Jørgen Meinertz & Valter Loll, (2018), Måleteknik, 1 Udg., Odense, Ny Teknisk Forlag

Arly Nielsen (2015), Mekanisk fysik og varmelære, Udg. 2, Odense, Nyt Teknisk Forlag

Poul Erik Petersen (2004), Elektriske Målinger Udg. 4, Lyngby, Bogfondens Forlag

Bjarne Kousholt, (2015), Projekt Ledelse - Teori og praksis, 6 Udg. Odense, Praxis,

Web-adresser

<https://www.bolius.dk/energiberegning-af-nye-huse-19092/>, Energiramme, Bolius Boligejernes Videncenter, 22-10-2018

https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id105/0/42, Energiramme, BR10, 22-10-2018

<https://sbi.dk/anvisninger/Pages/213-Bygningers-energibehov-4.aspx>, Energibehovsberegning , SBI, 22-10-2018

<https://ordnet.dk/ddo/ordbog?query=servitut>, Servitut, Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, 18-11-2018

<http://www.aku-aalborg.dk/dk/forside/5-hurtige/hvad-er-forskellen-paa-brutto-og-nettoareal/>, Netteareal, AKU-Aalborg, 18-11-2018

https://ordnet.dk/ddo/ordbog?entry_id=11003707&def_id=21005499&query=??&lpage=2, Bebyggelsesprocent, Det Danske Sprog- og Litteraturselskab, 18-11-2018

<https://www.bsf.dk/media/1496/ekstern-granskning-af-byggeprojekter-1.pdf>, side 5, Granskning, SBI, 18-11-2018

<https://kmedok.dk/showpage.php?pageid=445309&sid=445337>, Formkrav, MSK's bekendtgørelse 18-11-2018

<https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/>, Bloom's Taxonomy, Vanderbilt University, 18-11-2018

<http://library.au.dk/studerende/referencehaandtering/harvard-referencing-system/>, Kildehenvisning, Aarhus Universitet, 18-11-2018

<https://campusnet.msk.dk/cnnet/filessharing/Overview.aspx?folderId=19619&elementId=4077> ,

Kildehenvisning, MSK, 18-11-2018

https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_04_id124/0/42, SEL-værdi, Bygningsreglementet,

23-10-2018

https://www.danskeark.dk/sites/default/files/2018-07/YBL_2018_final.pdf FRI & Danske Arkitekt

Virksomheder, Ydelsesbeskrivelse for Byggeri og Land, 04-11-2018

<https://www.trafikstyrelsen.dk/DA/Bolig/Byfornyelse/Bygningsfornyelse/Guide-til-byfornyelse-i-andelsboligejendomme/Entrepriseformer.aspx>, Entrepriseformer, Trafikstyrelsen, 29-10-2018

<https://www.danskbyggeri.dk/for-medlemmer/jura/byggeriets-love-og-regler/ab-18/>, AB18, Dansk

Byggeri, 04-11-2018

<https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=113858>, Tilbudsloven, Retsinformation, 01-

11-2018

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/?uri=celex%3A32014L0024>, EU-udbudsdirektiv,

EUR-Lex

01-11-2018

<https://udbudsportalen.dk/udbudsguiden/ret-regler/tilbudsloven/>, Underhåndsudbud,

Udbudsportalen, 02-11-2018

https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id105/0/42, Energiramme, BR10, 01-12-2018

https://historisk.bygningsreglementet.dk/br10_05_id124/0/42, SEL-værdi, BR10, 01-12-2018

<https://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-energy-data-logger/tge-0001>, Gemini,

Måleinstrument til at logge effektforbrug, 12-12-2018

<http://www.tsi.com/velocicalc-multi-function-ventilation-meter-9565-p/>, TSI Group,

Måleinstrument til måling af luftmængde 12-12-2018

<http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2653-9800-0112.pdf>, Gemini, Billede af Tinytag, Side

7, 13-12-2018

<http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2653-9800-0112.pdf>, Gemini, Måling af effekt Tinytag,

Side 36,

13-12-2018

<http://gemini2.assets.d3r.com/pdfs/original/2751-ttenegylogger2016.pdf>, Gemini, Tintag

specifikationer, Side 3,

13-12-2018

<http://drives.danfoss.dk/products/vlt/low-voltage-drives/vlt-hvac-drive-fc-102/#/>, Danfoss,

Frekvensomformer, 13-12-2018

<https://www.nettopower.dk/hvad-koster-1-kwh>, Pris pr. kWh, Nettopower, 16-12-2018

Artikler

https://www.licitationen.dk/article/view/591435/niels_bohr_bygningen_forsinkes_igen, Morten

Munk Andersen, Niels Bohr Bygningen forsinkes - igen, Nordiske Medier, 22-10-2018

<https://ing.dk/artikel/tvisternes-taarn-bliver-dyrere-dyrere-209773>, Ulrik Andersen, Tvisternes tårn

bliver dyrere og dyrere, 22-10-2018

[https://ing.dk/artikel/efter-niels-bohr-byggeskandale-statens-bygherre-faerdig-med-naiv-tiltro-](https://ing.dk/artikel/efter-niels-bohr-byggeskandale-statens-bygherre-faerdig-med-naiv-tiltro-214867)

[214867](https://ing.dk/artikel/efter-niels-bohr-byggeskandale-statens-bygherre-faerdig-med-naiv-tiltro-214867), Ulrik Andersen, Efter Niels Bohr-byggeskandale: Statens bygherre er færdig med naiv tiltro, 22-10-2018

Rapporter

Lennart Jagemar & Niels. C. Bergsøe (2003), Lavt elforbrug til ventilation - Tillæg Rapport 1 udg., Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut, Side 5

SBI-anvisninger:

Peter Olufsen (1995), SBI-188, Ventilationsanlæg med lavt elforbrug, Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut

Erik Christophersen (1976), SBI-102, Ventilationstekniske målinger, Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut

Standarder

Dansk Standard, DS 447 - Ventilation i bygninger – Mekaniske, naturlige og hybride ventilationssystemer,

Figurliste

- Figur 1 – Byggeriets Fase, eksempel, Egen tilvirkning
- Figur 2 – Sammenspillet mellem de tre faktorer, Egen tilvirkning
- Figur 3 - Ishikawa diagram, Egen tilvirkning
- Figur 4 - Sankey diagram, Egen tilvirkning
- Figur 5 - Tinytag Energy Logger TGE-001
- Figur 6 - VLT HVAC Drive FC 102 (Danfoss)
- Figur 7 - Målinger i rektangulær/kvadratisk kanal
- Figur 8 - Illustration af statisk tryk
- Figur 9 - Illustration af dynamisk tryk
- Figur 10 - Illustration af kontinuitetsligningen
- Figur 11 - Illustration af differenstryksmåler
- Figur 12 - Usikkerhedsberegning ved multiplikation
- Figur 13 - Ventilationsaggregat, Datablad
- Figur 14 - Måleopstilling Tinytag
- Figur 15 - Illustration på traversering af kanal
- Figur 16 - CTS-målepunkter
- Figur 17 - Screenshot måleværdier CTS
- Figur 18 - Indblæsning effektforbrug (Tinytag)
- Figur 19 - Indblæsning luftmængde (TSI)
- Figur 20 - Udsugning effektforbrug (Tinytag)
- Figur 21 - Udblæsning luftmængde (TSI)
- Figur 22 - Indblæsning effektforbrug (CTS)
- Figur 23 - Indblæsning luftmængde (CTS)

Figur 24 - Udsugning effektforbrug (CTS)

Figur 26 - Indblæsning luftmængde (CTS)

Tabelliste

Tabel 1 - Tabel over belastninger målinger skal foretages ved og krav fra BR10

Tabel 2 - Tabel over belastninger målinger skal foretages ved og krav fra arbejdsbeskrivelsen

Tabel 3- Funktionsafprøvning i forhold til krav

Tabel 4 - Performancetest i forhold til krav

Tabel 5 - Sammenligning af de to metoder

Tabel 6 - Funktionsafprøvning med måleusikkerhed

Tabel 7 - Performancetest med måleusikkerheder

Tabel 8 - Funktionsafprøvning i forhold til krav med måleusikkerhed min.

Tabel 9 - Funktionsafprøvning i forhold til krav med måleusikkerhed max.

Tabel 10 - Performancetest i forhold til krav med måleusikkerhed min.

Tabel 11 - Performancetest i forhold til krav med måleusikkerhed max.

Tabel 12 - Sammenligning af de to metoder årligt effektforbrug