

BEST PRACTICE

Ventilation

Syddansk Universitet i Odense

Bygning 44

Udbudsstrategi, projektoptimering og testbaseret aflevering



BYGNINGSSTYRELSEN

SDU BYGNING 44

UDBUDSSTRATEGI, PROJEKTOPTIMERING OG TESTBASERET AFLEVERING

Dato **24. februar 2016**

Udarbejdet af **Thomas Rysgaard, Bygningsstyrelsen**
Johannes Thuesen, Rambøll
Karsten Bormlund, Bravida
Henrik Errebo, Sloth Møller
Bo Nørregaard Jørgensen, SDU, Center for Energy In-
formatics
Max A. Jørgensen, SDU, Teknik

Kontrolleret af **Johannes Thuesen, Rambøll**

Godkendt af **Thomas Rysgaard og Peer Kvist, Bygningsstyrelsen**

INDHOLD

1.	FORORD	1
2.	INTRODUKTION	2
3.	UDBUDSSTRATEGI	4
3.1	Udbudsstrategi mht. energi	4
3.2	Udvælgelse af teamet til at løse opgaven	5
3.3	Udbuddets bilag 9 med krav om verificeret performance	8
3.4	Styring af forløbet i udførelsesfasen	11
3.5	After workshop	11
4.	FAKTA OM SDU OU44	12
5.	PROJEKTOPTIMERING MED FOKUS PÅ PERFORMANCE	14
5.1	Indledende workshop – starten på et godt samarbejde	15
5.2	Organisering med styregruppe	17
5.3	Fokusmøder	18
5.4	Tidsplan -> kritisk vej til installationer	19
6.	VENTILATIONSANLÆGGENE I BYGNING 44	22
6.1	Generelt	22
6.2	Aggregatopbygning	25
7.	KS – INDHOLD OG STRUKTUR	27
7.1	KS-system - tegningsmateriale som grundlag for KS	27
7.2	Proces- og slutkontrol VAV-spjæld	30
7.3	Lækagetest	33
8.	INDREGULERING	36
8.1	VAV-spjæld	36
8.2	Måling af hovedluftmængde	38
8.3	Indreguleringsprincip	41
8.4	Opsummering - fra detailprojekt til indregulering	45
9.	VENTILATION – GRÆNSEFLADER TIL AUTOMATIK	46
10.	SEL-FAKTORER	48
10.1	Projektering med fokus på lav SEL-faktor	48
10.2	Planlægning af målemetoder - hovedprojekt	49
10.3	Anvendte virkemidler til optimering af SEL-faktor	52
10.4	Målinger og verificering af SEL-faktorer	58
11.	TEMPERATURVIRKNINGSGRAD	60
11.1	Valg af temperaturvirkningsgrad	60
11.2	Planlægning af målemetoder - temperaturvirkningsgrad	61
11.3	Udførelse og fysisk indbygning af følere	63
11.4	Måling og verificering af temperaturvirkningsgrad	64
12.	FØRSTE DRIFTSPERIODE: VARMEFORBRUG	66
13.	FØRSTE DRIFTSPERIODE: VENTILATION OG OPLEVET FUNKTIONALITET	68
14.	PERSPEKTIVERING -> VIDERE UNDERSØGELSER	70

BILAG

Bilag 1. Opdateret testparadigme 2. A. Ventilation. Temperaturvirkningsgrad.

Bilag 2. Opdateret testparadigme 2.B. Ventilation. SEL-værdi.

Bilag 3. Testprotokol som indgik i den juridiske aflevering af byggeriet d. 30. oktober 2015.

Bilag kan primo marts 2016 downloades fra bygst.dk/godt-byggeri/performancetest.

1. FORORD

v. Gyrithe Saltorp, Direktør Bygningsstyrelsen

Bygning 44 på SDU er et usædvanligt vellykket byggeri. Jeg har som direktør for Bygningsstyrelsen fornøjelsen af at overdrage byggeriet til Syddansk Universitet (SDU) den 24. februar 2016. Undervisningsbygningen på SDU i Odense kan lære os alle en masse om effektivt byggeri. I Bygningsstyrelsen synes vi samtidigt, at det er spændende, at bygning 44 indgår i SDU's forskning i energieffektivitet.

Nogle af dem, der har stået for byggeriet, formidler i dette dokument en række konkrete erfaringer. Blandt andet om, hvordan byggeprocesserne blev håndteret, og hvordan kravene til den energimæssige performance styrede, hvordan processerne blev tilrettelagt og optimeret i praksis. Med Best Practice dokumentet og testprotokollen, der indgik i den juridiske aflevering af byggeriet den 30. oktober 2015, overdrager Bygningsstyrelsen et byggeri, hvor det er verificeret og dokumenteret, at kravene til Bygningsklasse 2020 er opfyldt. Hermed giver vi stafetten videre til SDU's forskere i Center for Energy Informatics, som vil analysere bygningens faktiske performance og energiforbrug under drift, hvor de mange brugere i bygningen påvirker energiforbruget.

Udbudskravene skabte grundlag for en innovationsproces. Det betød, at et godt samarbejde om byggeriet udviklede en metode for, hvordan man i praksis verificerer, at en bygnings energimæssige performance er opfyldt, inden byggeriet afleveres. Det er, så vidt vi ved, ikke før set.

I udbudsmaterialet var et første bud på en verificeringsmetode beskrevet i udbuddets bilag 9. Det var et krav, at der som led i byggeprocessen skulle etableres et samarbejde, hvor metoderne i bilag 9 blev udviklet yderligere. Kravet var, at metoderne skulle bringes til at fungere i praksis, og verificeringsmetoden skulle dokumentere, at byggeriet som helhed overholdt lavenergiklasse 2015 ved afleveringen.

Innovationsprocessen lykkedes. Verifikationsmetoden fungerede i praksis, og metoden viste, at byggeriet faktisk overholder 2020-klassens krav med hensyn til energi. Og mindst lige så interessant, smittede optimeringsprocessen af på hele byggeriet. Bygningen blev afleveret næsten uden fejl og mangler, uden overskridelser af tid og økonomi, og med installationer som fungerede fra dag 1.

I Bygningsstyrelsen er vi i gang med at indarbejde erfaringerne i vores øvrige byggerier. Metoderne har potentielt stor værdi for både Bygningsstyrelsen og resten af byggebranchen generelt. Derfor håber vi, at Bygning 44 kan inspirere andre og bidrage til at optimere byggeprocesser og skabe flere velfungerende byggerier.

God læselyst!

Gyrithe Saltorp
Direktør

2. INTRODUKTION

v. Thomas Rysgaard Jacobsen, Bygningsstyrelsen

Mange gode erfaringer er gjort i byggeriet af undervisningsbygning 44 på SDU. I dette Best Practice dokument har vi valgt at formidle nogle af erfaringerne på ventilationsområdet. Intentionen er, at erfaringerne kan bruges i andre byggerier. Tilsvarende gode erfaringer er gjort på en række andre områder, bl.a. i forhold til styring og regulering, belysning og håndtering af klimaskærmens energieffektivitet. Vi har af praktiske årsager valgt at afgrænse fokus i dette dokument til ventilationsdelen af byggeriet. Fra Bygningsstyrelsen har vi set det som vores opgave at sikre, at bygningens tekniske performance er i orden, inden den juridiske aflevering. Det har vi bl.a. gjort ved at verificere virkningsgraderne på 13 forskellige tekniske områder, hvoraf ventilation udgør 2 områder.

Dokumentet er først og fremmest en praktisk formidling af en række af de resultater, som opstod som følge af projektoptimeringen. Dokumentets målgruppe er byggeriets praktiske aktører. Det vil sige installationsentreprenører og byggeledere, samt rådgivere som håndterer planlægning, tilsyn mv. Dokumentet er opbygget af en række udklip fra de arbejdsdokumenter, som var centrale i byggeriets processer. Arbejdsdokumenterne er så forsynet med korte tekster om, hvad der blev gjort i praksis.

Det er kombinationen af detailprojektering og projektoptimering, som har lagt grundlaget for det vellykkede byggeri. Det styrende mål for denne proces var, at performance-kravene skulle verificeres som led i den juridiske aflevering. Det betød, at tidsplanen for byggeriets udførelse blev markant ændret i forhold til traditionelt byggeri. Installationsdelen af byggeriet var styrende for den samlede tidsplanlægning.

Vi er selv forundret over, at processen førte til, at bygning 44 er verificeret i 2020-klassen. Udbudskravet var, at verificering skulle dokumentere performance i 2015-klassen. Den ekstra høje performance har ikke betydet, at økonomi eller tidsramme er overskredet. Vi har med andre ord set, at energiklasse 2020 for dette byggeri ikke koster mere end lavenergiklasse 2015. Vi har også set, at det kan lade sig gøre at opføre et universitetsbyggeri, hvor alle installationer virker, som de skal, fra dag 1.

Der var juridisk aflevering fredag den 30. oktober 2015. Mandag den 2. november 2015 var alle lokaler bookede og bygningen i fuld drift. Med meget få undtagelser fungerede alle installationer, som de skulle fra dag 1, og vi kan via SDU's energiovervågningssystem se, at bygningens samlede, faktiske energiforbrug er meget lavt.

Bygning 44 påkalder sig ikke nogen særlig opmærksomhed med sin simple bygningskonstruktion. Men bygning 44 viser os, at når målet er energieffektivt byggeri, der fungerer fra dag 1, så er bygningen et spændende og inspirerende eksempel på, hvordan det kan gøres i praksis.

I dette dokument afsnit 12 og 13 er indsat de første umiddelbare registreringer mht. bygningens faktiske energiforbrug i drift. Disse første registreringer er behæftet med en række af de usikkerheder, der knytter sig til bygninger i drift, og selvom det endnu er for tidligt at konkludere noget håndfast, da synes registreringerne at vise, at det faktiske energiforbrug ligger omtrent som forventet, når der korrigeres for usikkerhederne.

Bygning 44 indgår i en større udviklingsmæssig sammenhæng, hvor det overordnede mål er, at det sikres, at det lave energiforbrug, som vi som Bygherre stiller som krav, også er det som realiseres i praksis i det færdige byggeri. En måde at sikre dette er, når byggeriets forskellige parter er forpligtet på en målt performance ved juridisk aflevering. Vores grundlæggende intention med udbuddets bilag 9 var, at adskille brugernes påvirkning fra bygningens tekniske performance,

idet de usikkerheder, der knytter sig til bygninger i drift, er for mange til, at det er rimeligt at holde entreprenører ansvarlige. Processen med bygning 44 synes at understøtte denne grundlæggende tilgang, idet vi erfarer følgende:

- At det faktiske energiforbrug i praksis bliver ca. som forventet, når performance er opfyldt på tidspunktet for juridisk aflevering.
- At verificere performance inden juridisk aflevering har en række fordele som "smitter af" på resten af byggeriet.
- At det er muligt at fastholde entreprenører på et ansvar mht. performance, når blot performance opgøres inden juridisk aflevering, og der dermed ikke er nogen brugerpåvirkning i en drift situation.
- At der knytter sig mange usikkerheder til bygningens drift, hvilket betyder, at kompleksiteten i forhold til det faktiske energiforbrug under drift er stor, og dermed vanskelig at håndtere i et aftaleforhold mellem Bygherre og entreprenør.

Bygning 44 er en vigtig erfaring, fordi den fortæller os, at det grundlæggende er det rigtige greb vi benytter os af, når vi adskiller bygningens performance fra bygningens driftsforhold. Bygning 44 viser os, at det kan lade sig gøre i praksis, og metoderne for hvordan det skal gøres i praksis er blevet forfinet i processen, sådan at de nu indgår i en række andre byggerier.

3. UDBUDSSTRATEGI

v. Thomas Rysgaard Jacobsen, Bygningsstyrelsen og Henrik Errebo, Sloth Møller

3.1 Udbudsstrategi mht. energi

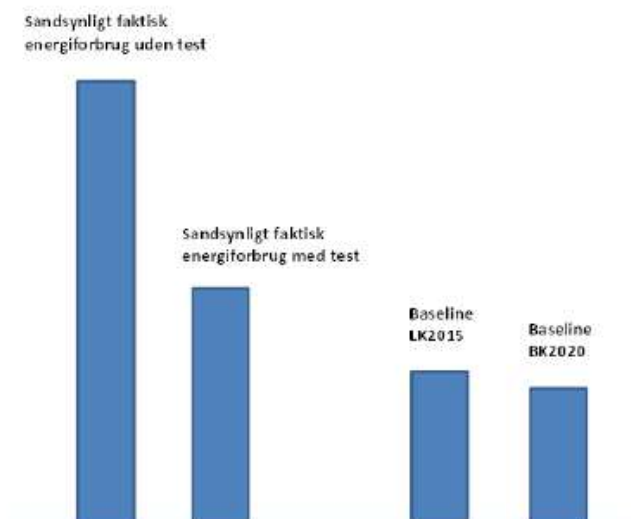
Både SDU og Bygningsstyrelsen ønskede, at bygning 44 skulle leve op til energikravene i 2020 klassen. Der var imidlertid en større usikkerhed forbundet med, hvordan dette krav ville påvirke udbuds-, tilbuds- og tildelingsprocessen, da der indgår en række andre krav end de energimæssige i bygningsklasse 2020. Bygningsstyrelsen ønskede ikke, at en evt. usikkerhed skulle påvirke entreprenørers prissætning. En analyse af forskellen mellem de energimæssige krav i lavenergi-klasse 2015 og bygningsklasse 2020 viste, at på energibundlinjen vil der ikke være den store forskel. Derimod viser en række praktiske erfaringer fra byggeri i drift, at forskellene mellem bygningers faktiske energiforbrug og de krav der blev stillet fra bygherren, ofte er store. Groft sagt, vil en bygning opført efter lavenergi-klasse 2015 iht. BR10, der performer som tiltænkt, kunne have et væsentligt lavere reelt energiforbrug end en bygningsklasse 2020-bygning, hvor der ikke er fokus på det faktiske energiforbrug.

Udbudsstrategien blev opbygget omkring, at det vigtigste var, at bygningens faktiske energiforbrug skulle være lavt. Det indebærer, at entreprenøren skulle forpligtes på det faktiske forbrug, snarere end en teoretisk energiklasse. Konsekvensen blev, at Bygningsstyrelsen og SlothMøller udformede byggeprogrammets bilag 9, som angiver, hvordan lavenergi-klasse 2015 er omsat til en målbar performance, som kan verificeres inden bygningen afleveres. Herunder er indsat et udklip af den analyse, som lå til grund for udbudsstrategien.

Den værdi som tilføres bygningen er betydelig, hvis det sikres at det beregnede energiforbrug også realiseres i praksis. Det skyldes erfaringer med disse to forhold:

- Forskellen mellem det faktiske og det beregnede energiforbrug i færdige bygninger i lavenergi-klasse er ofte langt større end forskellen mellem det beregnede energiforbrug mellem LK2015 og BK2020.
- At opnå et faktisk energiforbrug, der er tæt på det beregnede, stiller krav til at bygningens installationer fungerer optimalt. At teste om de gør det, giver en værdi udover det energimæssige, idet funktionsfejl som er svære at opdage i den daglige drift, afsløres.

Herunder er sandsynlige størrelsesforhold skitseret. Søjlerne viser hvordan forskellen mellem det faktiske energiforbrug kan afvige meget fra det beregnede. Søjlerne viser logikken i at fokusere på forskellen mellem det faktiske og det beregnede energiforbrug, hvorimod forskellene mellem LK2015 og BK2020 i praksis ikke er særlig stor.



Der var tale om et byggeri med en presset tidsplan og samtidig krav om et relativt højt kvalitetsniveau, hvis ambitionerne skulle indfries. Udbudsformen var, at det økonomisk mest fordelagtige tilbud ville vinde. Blandt tildelingskriterierne var, at entreprenørers tilbud om en proces for at opfylde udbuddets bilag 9 vægtede relativt højt. Med andre ord blev det beskrevet, at Bygningsstyrelsen og SDU ønskede et fagligt velkvalificeret team på entreprenørsiden, som i praksis kunne løfte opgaven.

Byggeprogrammet var relativt detaljeret. Der var ikke overladt mange frihedsgrader til entreprenøren i forhold til bygningens design. På installationssiden var byggeprogrammet også relativt detaljeret. Eksempelvis var der udførlige krav til CTS-installationer. Herunder er indsat et udklip fra indholdsfortegnelsen i byggeprogrammet. Bemærk f.eks. at krav til CTS fylder 9 sider.

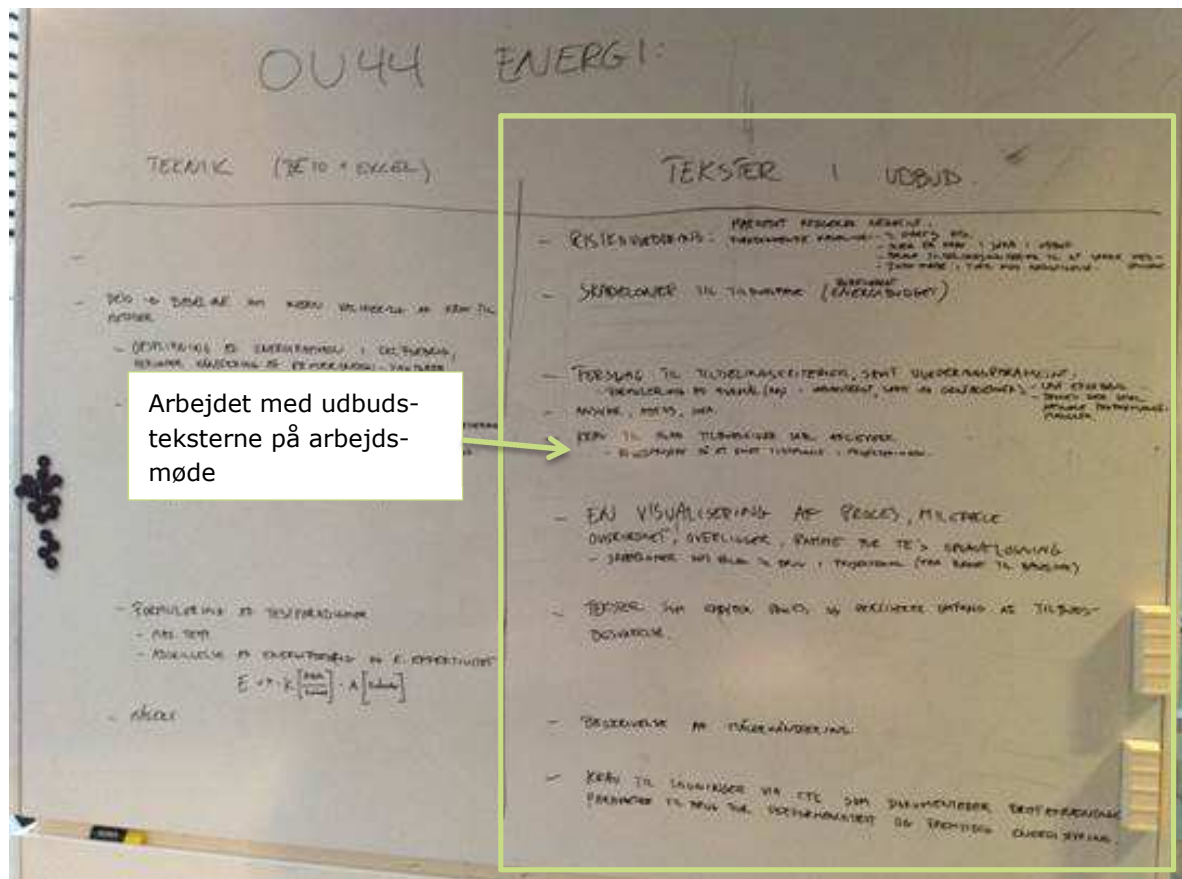
5.13.	Tekniske anlæg	32
5.13.1.	Energistyring	32
5.13.2.	Afløbsinstallationer	32
5.13.3.	Sanitet	33
5.13.4.	Vandinstallationer	33
5.13.5.	Varmeanlæg	35
5.13.6.	Ventilationsanlæg	37
5.13.7.	Sprinkling	38
5.13.8.	Stærkstrømsinstallationer	39
5.13.9.	Svagstrømsinstallationer	45
5.13.10.	IT og telefonmæssige installationer	47
5.13.11.	Elevatore	52
5.13.12.	Building Management System(BMS installationer)	53
5.13.13.	Inventar	62

3.2 Udvælgelse af teamet til at løse opgaven

Da opgaven skulle bydes ud i totalentreprise, havde vi lange drøftelser om, hvordan det ville være hensigtsmæssigt at udbyde en sag, hvor totalentreprenøren ville blive mødt med nogle nye krav om test af bygningens installationer og den tekniske performance. Det hele var rammet ind af en meget stram udbudstidsplan. Derfor ville det give rigtig stor værdi, hvis der var nogen af de bydende, som på en overbevisende måde ville kunne præsentere løsningen på opgaven.

Det endte med, at der blev udarbejdet en udbudsmodel, hvor man bad totalentreprenøren om, som et underkriterie, at svare på, hvordan opgaven skulle løses, og hvordan kravene til eksempelvis teknisk performance skulle håndteres. Besvarelsen skulle ske i form af en procesbeskrivelse.

Nedenstående foto viser, hvordan der blev arbejdet med at komme frem til det rette indhold af udbudsdokumenterne på arbejds møder forud for udbuddet.



Tildelingskriterierne for totalentreprisen blev vægtet som vist nedenfor. Energiklasse og teknisk performance blev bedømt i underkriteriet "Organisation og proces", der indgik med en vægtning på 30 %.

3. Tildelingskriterier

Tildelingskriteriet er økonomisk mest fordelagtige tilbud.

Underkriterier er:

Pris, der vægtes med 40% (bedømmelsesgrundlag er tilbudte pris iht. tilbudsformular)

Organisation og proces, der vægtes med 30% (bedømmelsesgrundlag er max. 5 sider A4 med procesbeskrivelse og max. 5 sider A4 med organisering og mini Cv'er)

Kvalitet, der vægtes med 30% (bedømmelsesgrundlag er max.

7 sider A4, med angivelse af kvalitet for hver af de udvalgte 7 bygningsdele)

Kravene til tilbuddenes indhold om håndtering af de tekniske krav i underkriteriet "organisation og proces" fremgår af nedenstående uddrag af udbudsmaterialet.

Endvidere skal beskrivelsen indeholde et afsnit om energiklasse og teknisk performance, hvori det beskrives, hvorledes totalentreprenøren vil sikre, at krav til energiklasse og teknisk performance vil blive opfyldt. Afsnittet skal som minimum indeholde en beskrivelse af:

- Milepæle og aktiviteter i de forskellige faser, i relation til sikring af energiklasse og teknisk performance.
- Hvordan og med hvilken organisation der i de forskellige faser, sker sikring af energiklasse og teknisk performance, samt hvordan der i de forskellige faser sker en koordinerende indsats for at opnå en effektiv idriftsætning af bygningen.
- Organisation og aktiviteter i forbindelse med udførelse af funktions- og performance-tests.
- Strategi for mangelfhjælpning i tilfælde af ikke accepterede resultater af funktions- og performancetests.

Ved bedømmelsen vil der blive lagt vægt på, at bygherren orienteres og inddrages med mulighed for at påvirke projektet i de forskellige faser, samt på teamets evne til at demonstrere en sammenhængende tværfaglig og effektiv proces for projektering, udførelse og idriftsætning af bygningen.

Endvidere vil der blive lagt vægt på hvordan og hvornår de forskellige aktører optræder i processen.

Endvidere vil der blive lagt vægt på teamets evne til at styre de tekniske grænseflader, omfang og kvalifikationer af de ressourcer, der indgår i organisationen til at sikre, at krav til energiklasse og teknisk performance bliver opfyldt. Endelig vil der blive lagt vægt på, hvordan der sikres en tydelig sammenhæng med aflevering og 1 års gennemgang, således at eventuelle fejl og mangler i forbindelse med gennemførelse af performance- og funktionstests kan håndteres, jf. ABT93.

Der kom fra de bydende fire meget forskellige besvarelser på emnerne om teknisk performance. En del af beskrivelserne demonstrerede ikke en overbevisende forståelse for, hvad der kræves for at løse opgaven tilfredsstillende. Det vindende tilbud indeholdt en overbevisende forståelse for problemstillingerne og en god procesbeskrivelse til at håndtere udfordringerne.

Nedenfor fremgår udvalgte statements fra bygherre- og bygherrerådgivers bedømmelse af tilbuddet fra det team, som endte med at vinde og løse opgaven. De udvalgte statements illustrerer meget godt en række af de vigtige elementer, som viste sig at få stor betydning for, at projektet er kommet så godt i mål.

- Teknisk performance og energiverificering er overbevisende velbeskrevet som en integreret del af det samlede procesforløb for projektet

- Projekterende ingeniører gennem hele forløbet

- Der afholdes opstartsworkshop

Løsningsforslaget er fyldestgørende, detaljeret og meget overbevisende beskrevet. Emnets kompleksitet virker forstået og gennemtænkt/integreret i forhold til den øvrige proces.

- Der tilbydes én entreprenør for alle teknikfagene
- Ingeniør detailprojekterer alle installationer

Ovenstående eksempel på udvælgelsesprocessen er et godt eksempel på, hvordan det lykkedes med afsæt i udbudsmaterialets krav, at få totalentreprenøren til at sammensætte et team, som formåede både at udvise forståelse for problemstillingerne om teknisk performance, beskrive en proces til løsning af problemstillingerne samt realisere en proces i praksis frem til en succesfuld idriftsættelse og aflevering af byggeriet.

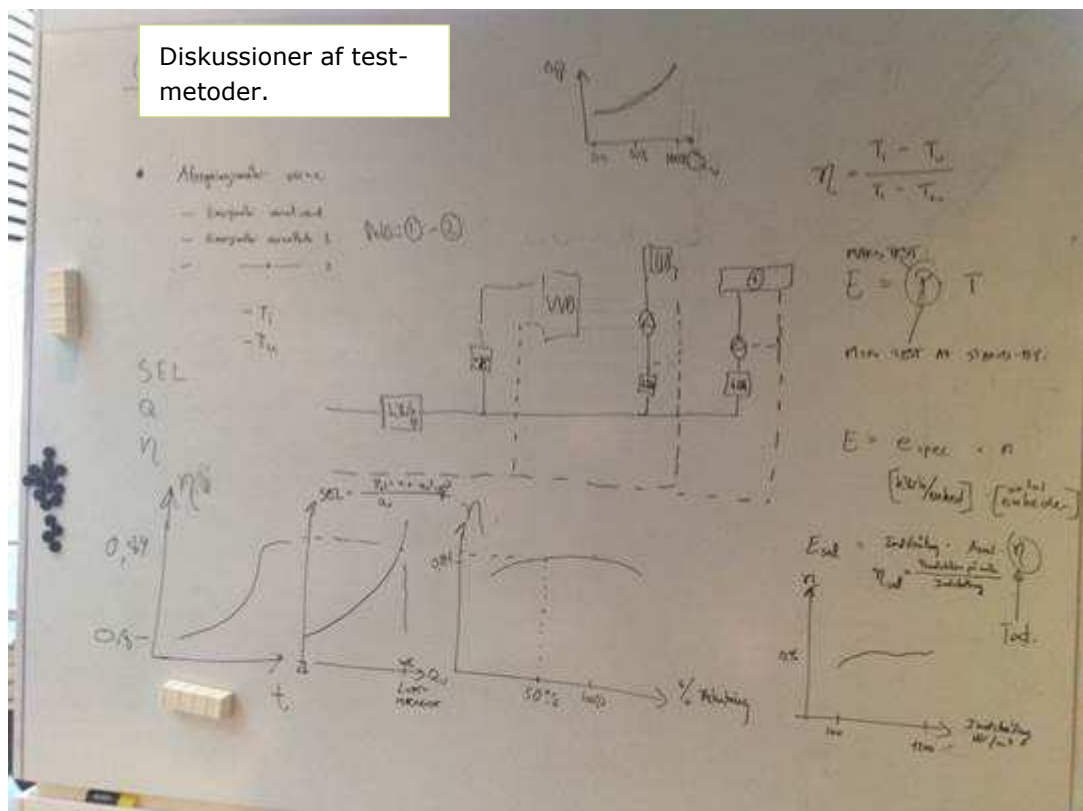
Konklusionen på udbudsstrategien og udvælgelsesprocessen er, at der kan tilføjes meget kvalitet og værdi til projektet ved at vælge den rette til at løse opgaven i forhold til eksempelvis at have for stort eller ensidigt fokus på laveste pris. I et hvert projekt bør man gøre sig udfordringerne klart inden udbud og lægge en udbudsstrategi, som kan understøtte håndteringen af udfordringerne.

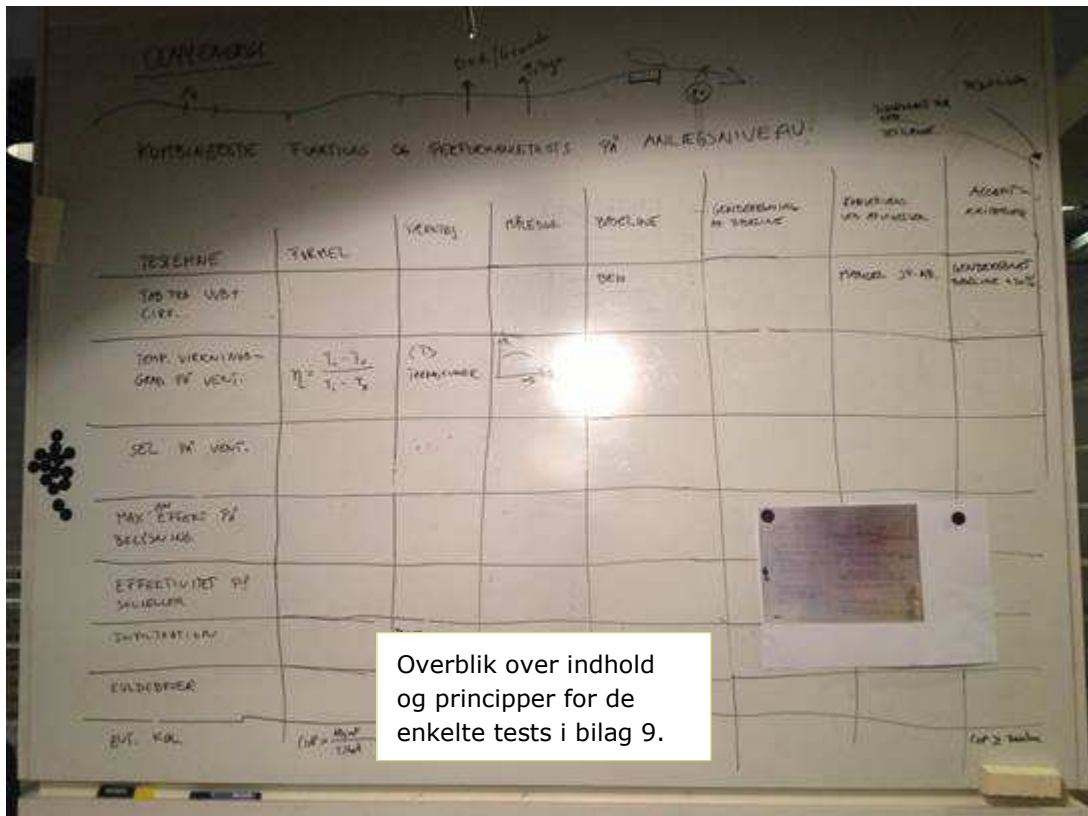
3.3 Udbuddets bilag 9 med krav om verificeret performance

Da bilag 9 blev opstillet, var det ud fra et krav om, at den energimæssige performance skulle verificeres inden juridisk aflevering, dvs. inden brugere er i bygningen. Valget om alene at fokusere på den energimæssige performance blev taget, da det hverken er muligt eller rimeligt at give entreprenøren det juridiske ansvar energiforbruget, som også afhænger af brugernes adfærd i drift situationen. Det betød, at vi skelnede mellem energiforbrug og energieffektivitet. Et energiforbrug skyldes, at der forbruges eksempelvis luft til at opretholde et godt indeklima, varmt brugsvand osv., mens energieffektiviteten er et udtryk for, hvor effektivt eksempelvis et ventilationsanlæg flytter en given luftmængde osv.

Bilag 9 beskæftiger sig med energieffektiviteten, og forpligter entreprenøren til at den samlede energieffektivitet for hele bygningen svarer til lavenergiklasse 2015. Hvis energieffektiviteten for ventilation er lidt i den dårlige ende, er det ok, når blot andre områder er tilsvarende i den gode ende. På den måde angiver bilag 9, at entreprenøren har frihed til at optimere det samlede byggeri, når blot verificeringerne af energieffektiviteten for de enkelte områder viser, at den samlede performance svarer til lavenergiklasse 2015.

Principperne for Bilag 9 blev udarbejdet i et tæt samarbejde mellem Bygningsstyrelsen og Sloth Møller på en række arbejds møder forud for udbuddet. De følgende fotos viser, hvordan processen til at få specificeret bilag 9 foregik.





Vi var klar over, at en sådan metode var ny, og at vi sandsynligvis ville løbe ind i nogle praktiske udfordringer. Vi beskrev derfor i udbuddet, at entreprenøren skulle medvirke til at præcisere og forfine de metoder for verificering, som var opstillet i bilag 9.

Bilag 9 i udbuddet består af 2 dele. Først en del, som beskriver krav til entreprenørernes funktionstest af CTS. Derefter en del, som indeholder testskabeloner for byggeriets energipreformance, baseret på evaluering via CTS. Det er således et grundlæggende princip, at CTS installationen bruges til at funktionsteste de øvrige installationer, og, efter behov, som værktøj til at fejlfinde på de øvrige installationer.

Den første del af bilag 9 er en forudsætning for at måle på byggeriets energipreformance for de installationer, som er afhængige af bygningsautomatikken, eksempelvis ventilationsanlæg, belysningsanlæg og varmtvandsproduktion.

Program for funktionstest af CTS blev indarbejdet i udbuddet som nogle tests, der skulle gennemføres efter, at entreprenørerne havde udført deres egenkontrol. Funktionstests skulle herefter gennemføres som en stikprøvegennemgang af anlæggene med bygherrens- og brugernes deltagelse. Programmet for CTS-funktionstest er vist nedenfor.

CTS funktionstest inden <u>før afleveringen</u>	
09:00	Entreprenørens fremvisning og gennemgang af egen dokumentation for kvalitetssikring af CTS installationer.
10:00	Stikprøvekontrol på ventilationsanlæg, herunder naturlig ventilation. Anlæg betjenes via CTS brugerfladen og funktioner observeres i de relevante teknikrum. Følere påvirkes og reaktioner observeres via CTS brugerfladen.
11:00	Stikprøvekontrol på varmestyringer. Anlæg betjenes via CTS brugerfladen og funktioner observeres i de relevante teknikrum. Følere påvirkes og reaktioner observeres via CTS brugerfladen.
12:00	Frokost.
13:00	Stikprøvekontrol på andre installationer. Anlæg betjenes via CTS brugerfladen og funktioner observeres i de relevante teknikrum. Følere påvirkes og reaktioner observeres via CTS brugerfladen.
14:00	Opsummering og referat. Bygherre forfatter referat.
15:00	Afslutning

Tilsvarende er der udført et program for funktionstest af IBI-styringer og funktionsbeskrivelser på rumniveau.

Forud for testene var det en betingelse, at entreprenøren havde gennemført egenkontrol og funktionsafprøvning af alle CTS/KNX-punkter. Nedenstående uddrag af første del af bilag 9 er et eksempel på, hvad der skal testes for hver blandesløjfe. Tilsvarende er der i bilag 9 stillet krav til test af alle øvrige CTS/IBI punkter og funktioner.

Punkt	Testemne	Måleværdier	Alarmer	Komponentstyringer	Driftsformer	Regulering	Anlægsstyring	Forbrugsregistrering
	Blandesløjfer							
3.1	Temperaturfølere	K						
3.2	Trykfølere	K						
3.3	Motorventiler			K		K	K	
3.4	Pumper			K		K	K	
3.5	Frostalarm		K		K		K	
3.6	Energimåler							K
3.7	Vinterdrit				K	K	K	
3.8	Sommerdrift (stoppet)				K	K	K	
3.9	Vejrkompensering				K	K	K	

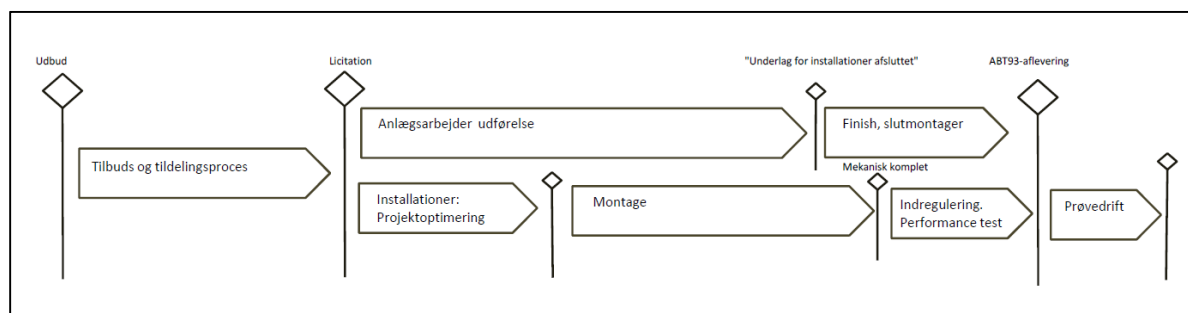
Nedenstående oversigt, viser omfanget af de performancetests, som blev indarbejdet i udbuddet.

- Punkt 1. Effektivitet af varmtvandsproduktion
- Punkt 2. Tab i varmtvandssystem.
- Punkt 3. Ventilation, temperaturvirkningsgrad (under forudsætning af tilstrækkelig temperaturforskel).
- Punkt 4. Ventilation, specifikt elforbrug SEL.
- Punkt 6. Belysningsanlæg, standby effekt.
- Punkt 7. Belysningsanlæg, maksimal effekt.
- Punkt 8. Solceller, effektivitet og ydelse (kun hvis bygningen forsynes med solcelleanlæg)
- Punkt 9. Måling af klimaskærmens tæthed
- Punkt 10. Linjetab i konstruktioner
- Punkt 11. Kuldebroer i klimaskærmen

Testbilagene for ventilation er vedlagt som bilag til dette dokument.

3.4 Styling af forløbet i udførelsesfasen

Forløbet efter licitation var styret via en styregruppe for performance kravene i bilag 9, samt via en proces, hvor vi som bygherre deltog mere end sædvanligt. Denne organisering var nødvendig for at sikre, at de mange små som store beslutninger kunne træffes hurtigt. Via denne organisering lykkedes det at sikre at processen kom i mål, både hvad angår at verificere den energimæssige performance, og i forhold til at kvalificere selve metoden for verificering. I praksis har processen indeholdt en projektoptimering, en grundig detailprojektering, samt elementer af innovation i forhold til, hvordan energimæssig performance verificeres i praksis, inden juridisk aflevering. Herunder er indsat en forsimplet illustration af princippet i, hvordan udførelsen blev tilrettelagt.



Fasen med projektoptimering indeholdt også en detailprojektering, samt en detaljeret planlægning af dels montagefasen og dels fasen med indregulering. Det var via projektoptimeringen og detailprojekteringen, at byggeriets succes blev grundlagt.

3.5 After workshop

Umiddelbart efter den juridiske aflevering blev processen rundet af via en after-workshop. Her var det gennemgående tema, at alle parter have oplevet en god proces. Fra Bygningsstyrelsen hæfter vi os bl.a. ved, at entreprenører udtrykker, at det er en fordel for dem, at planlægningen af byggeriet gjorde det muligt at afslutte alle de komplekse indreguleringer osv. inden aflevering, sådan at det ikke er nødvendigt at vende tilbage til byggeriet for udbedring af fejl og mangler, samt involveres i klager fra brugere, fejlfinding osv.

4. FAKTA OM SDU OU44

FAKTA OM OU44	
Bygherre	Bygningsstyrelsen
Lejere	Syddansk Universitet
Formål	Undervisning, ingeniørstuderende
Areal	7466 m ² opvarmet etageareal samt 2004 m ² kælder
Totalentreprenør	TC Anlæg
Underrådgiver, arkitektfag	Cubo
Underrådgiver, ingeniørfag	Rambøll
Underentreprenør, installationsfag	Bravida, Schneider
Byggeperiode	24. september 2014 til 30. oktober 2015
Anlægssum	Ca. 125 mio kr.



BYGNINGSSTYRELSEN

Undervisningsbygning OU 44

Bygherre: BYGNINGSSTYRELSEN

Lejer: SYDDANSK UNIVERSITET

Bygherre rådgiver: ARKITEMA ARCHITECTS
SlothMøller

TC/ANLÆG

TC Anlæg A/S udfører i Totalentreprise Undervisningsbygning OU 44

Arkitekt: CUBO

Ingeniør: RAMBOLL

Jord/Kvalitet: TLF: 7023 2069 CVR: 26564751	Beton: TLF: 7023 2069 CVR: 26564751	Murer: TLF: 7023 2069 CVR: 26564751	Betonelementer: TLF: 8711 1000 CVR: 30724032
Byggeselskab: TLF: 3524 0977 CVR: 33640077	Beton, Overfladebehandling: TLF: 7010 1520 CVR: 14880534	Kompositbjælker: TLF: 4320 7070 CVR: 28480547	Stål: TLF: 6618 9600 CVR: 13397144
Bygghjælp: TLF: 6595 7555 CVR: 13832999	Glas/Elev: TLF: 6614 7913 CVR: 75955510	Indv. Glaserier: TLF: 7551 7722 CVR: 6674517	Solafskærmning: TLF: 4859 0777 CVR: 25270200
Bygghjælp: TLF: 8655 2102 CVR: 28497555	Installationer: TLF: 6568 3300 CVR: 14760005	Tæpper udf.: HELDHERMAN TLF: 2028 3381 CVR: 35382845	Tæpper/lozetter: TLF: 6615 2200 CVR: 35061202
Bygghjælp: TLF: 2028 7597 CVR: 33384920	Gulve, Marmorsplit: TLF: 6544 2081 CVR: 18347806	Gulve, Linoleum: TLF: 6615 6255 CVR: 10862508	Plantevægge: TLF: 7020 2726 CVR: 38488851
Bygghjælp: TLF: 7452 8822 CVR: 13801945	Inventar: TLF: 4870 2980 CVR: 33754906	Kalken: TLF: 6315 3230 CVR: 15277092	Lynefader: TLF: 7010 8888 CVR: 09111517

Energimærkningsrapport

Campusvej 55
5230 Odense M



Bygningens energimærke:



Gyldig fra 13. november 2015
Til den 13. november 2025.

Energimærkningsnummer 311145201

5. PROJEKTOPTIMERING MED FOKUS PÅ PERFORMANCE

v. Johannes Thuesen, Rambøll

I dette afsnit omtales forhold omkring proces, samarbejde, organisering og tidsplanlægning.

Projektet blev udbudt og løst i totalentreprise af TC Anlæg, med Rambøll og Cubo som underrådgivere og Bravida som samlet underentreprenør for de tekniske fag.

I tilbudsfasen var TC Anlæg-konsortiet opmærksom på de særlige krav til performancetests og energiverificering, som Bygningsstyrelsen havde inkluderet i udbudsmaterialet, jævnfør afsnittet "Udbudsstrategi".

Konsortiet tilrettelagde derfor en proces, der havde til formål at sikre, at de udbudte tests vedr. energiverificering og performancetest kom godt i mål – og at disse aktiviteter blev berammet og indsat i den samlede tidsplan for byggeriet:

Væsentlige fokuspunkter =>

- Konsensus omkring de udbudte tests blandt parterne i forhold til fagligt indhold og omfang, samt konsekvenser af eventuelle afvigelser.
- At de enkelte aktører var klar over egen rolle.
- At performancetests og energiverificeringen kunne afvikles tidsmæssigt på en måde, så byggeriet – trods en i forvejen meget stram tidsplan – kunne afleveres til tiden.

SDU OU44 - Bilag 9 - Energiperformance #4

Versionstyring af dokument: Opdateret 21. oktober 2015.

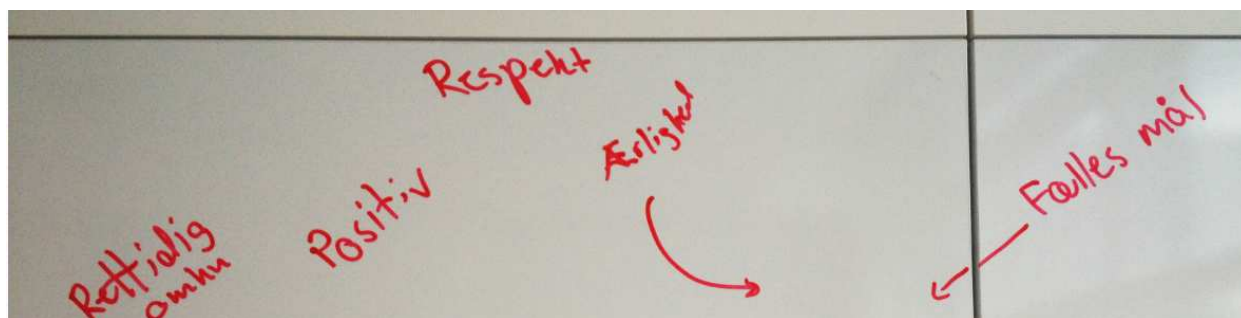
Punkt 4 – Ventilation, SEL-værdi	
Formål og definition	Kontrol af at det specifikke elforbrug (SEL-værdien) på ventilationsanlægget ikke overstiger de projekterede værdier. SEL-værdien er defineret som energiforbruget til at transportere en luftenhed: $SEL = P / q_v$ hvor: • SEL – Specifikt elforbrug [kJ/m³] • P – Optagen effekt [kW] • q_v - Luftmængde [m³/s]
Målere/målepunkter	• Elmåler til ventilationsanlæg, placeret i ventilationstavle
Principskitse	
Testindikatorer	• Fejl i projektering af trykforhold ventilationsanlæg • Fejl i udførelse af ventilationsanlæg • Fejl i indregulering af ventilationsanlæg

Testparadigmer blev gransket i tilbudsfasen og på efterfølgende på fokusmøder.

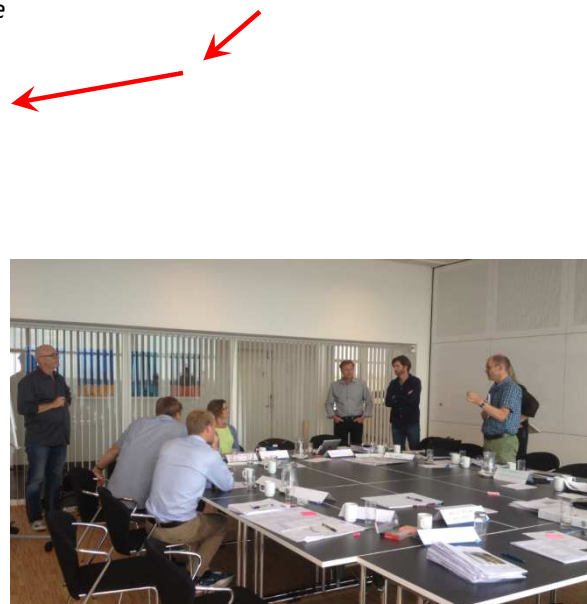
5.1 Indledende workshop – starten på et godt samarbejde

I forbindelse med opstart af projekteringen blev afholdt en fælles workshop for projektdeltagerne med overnatning hos Sinatur i Nyborg. Blandt deltagerne på workshoppen var repræsentanter fra bygherre (Bygningsstyrelsen), brugere (SDU), bygherrerådgiver (Arkitema og Sloth-Møller) samt TC Anlæg inkl. underrådgiverne Cubo (arkitektarbejder) og Rambøll (ingeniørarbejder).

I forbindelse med denne workshop blev der drøftet en lang række aspekter omkring byggeriet og den forestående byggeproces. På workshoppen blev der opstillet fælles mål for projektet:



Fra workshoppen: Tilgange til det forestående arbejde

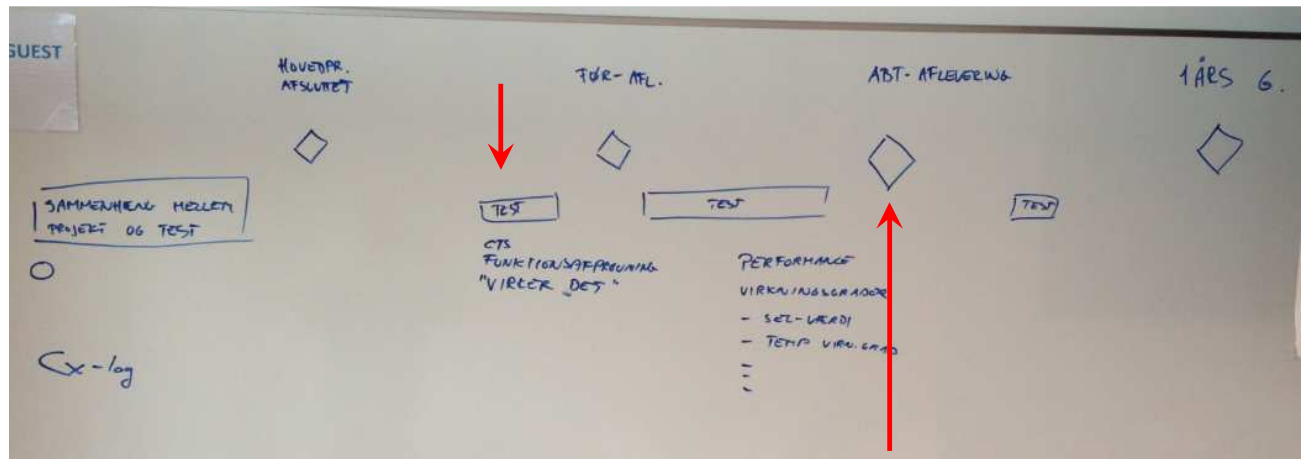


Fra workshoppen: De fælles opstillede mål

Et af de temaer, der blev bearbejdet allerede på denne indledende workshop, var de udbudte performancetests og energiverificeringen. Ikke på specifikt fagligt plan, men overordnet - i forhold til bygherrens syn på vigtigheden af disse forhold, konsortiets oplæg til fremgangsmåde, samt det fremtidige samarbejde omkring dette.

De udbudte performancetests blev blandt deltagerne markeret som ét af de 6 vigtigste mål, der især skulle tilgodeses i byggeriet.

Et af de temaer, der allerede på denne workshop blev taget op af bygherren, var tidsplanen i relation til de udbudte tests. Dette bidrog fra "dag 1" til at styrke den fælles bevidsthed om vigtigheden af denne del af arbejdet. Det affødte drøftelser og overvejelser om, hvorledes dette kunne muliggøres indenfor den meget stramme tidsplan for byggeriet.



Efter færdiggørelse og aflevering af byggeriet blev d. 14/12 2015 afholdt en "after-workshop", som afslutning på samarbejdet omkring byggeprojektet. En af de ting, der gentagne gange blev markeret fra deltagere på denne after-workshop var, at netop den *indledende* workshop havde haft stor betydning for processen samt det konstruktive samarbejde parterne imellem.

Parterne lærte hinanden at kende på en god måde. Det blev skabt et fokus på byggeriets mål - der netop var *fælles*, selv om deltagerne i workshoppen organisatorisk sad på "forskellige sider af bordet", og havde forskellige roller.

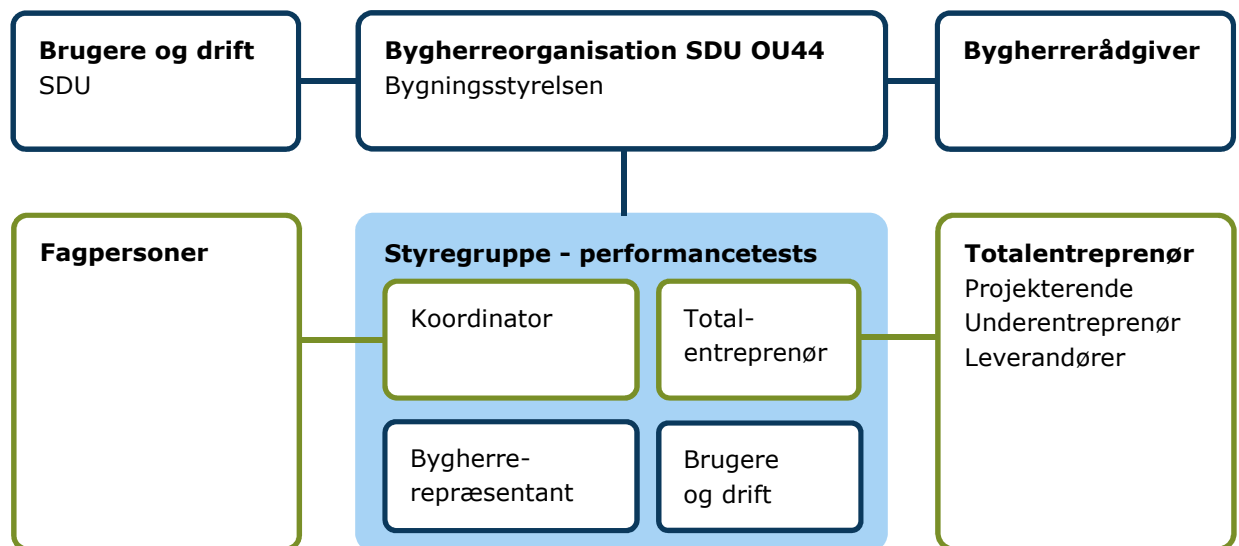
5.2 Organisering med styregruppe

I og med at de udbudte tests på en række områder afveg fra gængs praksis, blev der dannet en særskilt styregruppe til at varetage den del af processen, der omhandlede energiverificering og performancetests. Det lå klart, at vejen til at nå i mål med den stramme tidsplan var:

1. Et tidligt fokus på det faglige indhold i performancetests
2. Rettidig implementering og synliggørelse i tidsplanen
3. Et godt og smidigt samarbejde, der levede op til intentionerne i den indledende workshop

Styregruppen blev organiseret med repræsentanter fra

- Bygningsstyrelsen (bygherre)
- Syddansk Universitet (SDU)
- Sloth-Møller (bygherrerådgiver)
- TC Anlæg (Totalentreprenør)
- Bravida (underentreprenør til TC Anlæg vedr. tekniske fag)
- Rambøll (underrådgiver til TC Anlæg vedr. ingeniørdiscipliner samt koordinering af tests)



5.3 Fokuspåmøder

Sideløbende med projekteringsprocessen blev der afholdt en række fokuspåmøder, hvor relevante ressourcepersoner deltog, som regel også med deltagelse af den samlede styregruppe. Formålet med disse møder var primært at granske, afklare og planlægge håndteringen af de udbudte performancetests.

Samlet blev afholdt 17 af disse møder, hvoraf

- 2 møder havde fokus på ventilation i forhold til indregulering og energimæssig performance.
- 6 møder omhandlende BMS (Building Management Systems, automatik), blandt andet forhold vedr. styring og regulering af ventilationsanlæg dels på anlægsniveau (CTS), og dels på rumniveau (IBI vha. knx).

På møderne blev drøftet spørgsmål til de udbudte performancetests, der i nogle tilfælde affødte justeringer af testbilagene. Justeringerne af testparadigmerne blev foretaget med god konsensus i styregruppen. Der var enighed om, at det afgørende i projektet var at følge udbuddets *intention* om energiverificering og performancetests – og at det skulle ske på en måde, der var operationel – tanken var ikke at anlæggene skulle testes under "laboratorielignende" forhold.

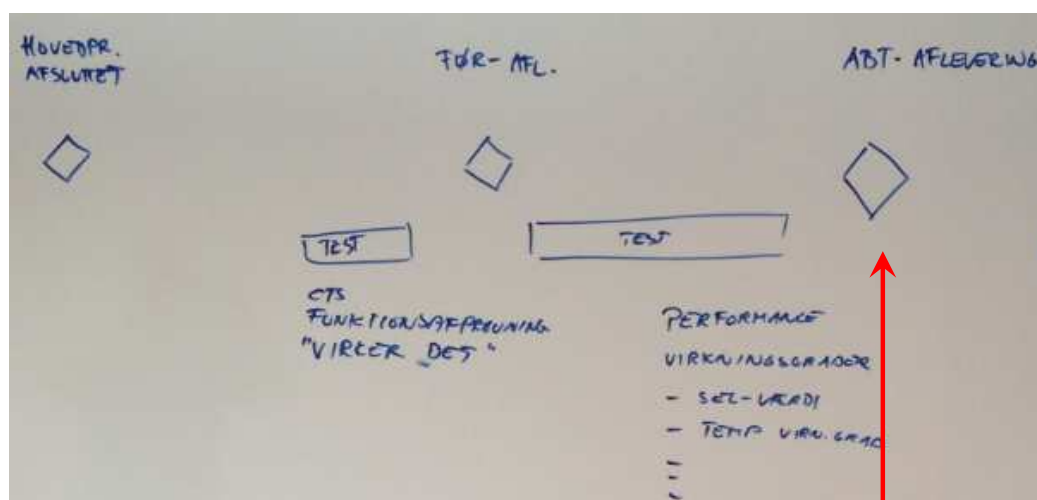
RAMBOLL		BYGGERI
REFERAT		
Projekt	SDU OU44	
Emne	Fokuspåmøde #7 – VENT	
Dato	13/11 2014	
Sted	Rambøll, Englandsgade, Odense	
Møde nr.	7	
Referent	Johannes Thuesen, Rambøll	
Deltagere	Thomas Rysgaard Jacobsen, Bygningsstyrelsen Henrik Errebo, Sloth-Møller Peter Norup, TC Anlæg Johannes Thuesen, Rambøll Troels Køhler, Bravida Karsten Bormlund, Bravida	
Kopi til	Mødedeltagere samt: Jens Kappel, SDU Henrik Mulvad, Arkitema Lone Køhler, Bygningsstyrelsen Henrik Kjersgaard Johansen, Rambøll Annette Olsen, Rambøll	
Næste møde	Jævnfør afsnit 7 i dagsorden	
Dagsorden	1. Tidsplan og kritisk vej for installationer 2. E3 – temperaturvirkningsgrad – afklaringer 3. E4 – SEL-faktorer – afklaringer 4. H3 – indregulering af luftmængder 5. A3 – DS428-4 – proces vedr. kontrol og godkendelse 6. Proces, skemaer, egenkontrol 7. Eventuelt	
		Dato 2014-11-21 Rambøll Englandsgade 25 DK-5100 Odense C T +45 5161 1000 F +45 5161 1001 www.ramboll.dk Ref. Document ID Version

5.4 Tidsplan -> kritisk vej til installationer

Tidsplanen har været et tilbagevendende punkt på stort set alle fokusråd, fordi det stod klart, at det var afgørende at afsætte den nødvendige tid til de aktiviteter, der i sidste ende skulle bidrage til, at bygningen og de tekniske anlæg kunne leve op til de stillede krav.

Der blev derfor, med involvering af respektive fag, udført et tværfagligt granskningsarbejde for at udrede dels hvor lang tid de enkelte aktiviteter ville tage, og dels hvilke *afhængigheder* disse aktiviteter havde i forhold til hinanden. Visse ting kunne tidsmæssigt udføres parallelt, men langt fra alle. Eksempelvis var det ikke muligt at indregulere automatikken før ventilationen var hydraulisk indreguleret i forhold til luftmængder.

Afsættet for granskning af tidsplanen var de drøftelser omkring performance, der fandt sted allerede på den indledende fælles workshop:



Spørgsmål blev stillet:

Hvilke forudgående aktiviteter skal til for at nå i mål med performancetests?

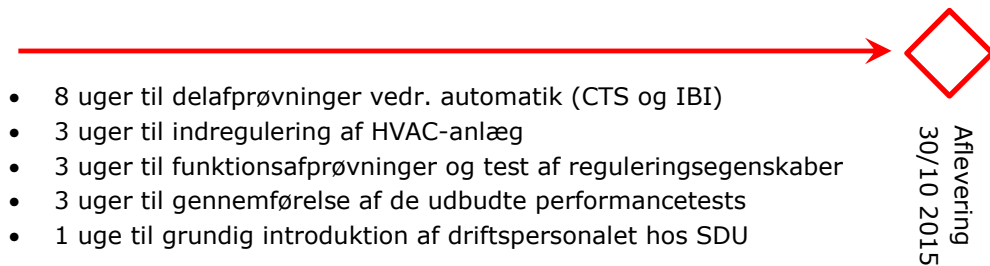
Hvor lang tid tager de enkelte nødvendige forudgående arbejder?

Hvordan er de indbyrdes afhængigheder?

På fokusrådene blev ovenstående vendt, og via drøftelser med byggeledelse og projektledere for de respektive teknikfag blev forhold omkring tid til de enkelte aktiviteter i første omgang be-rammet tidsmæssigt.

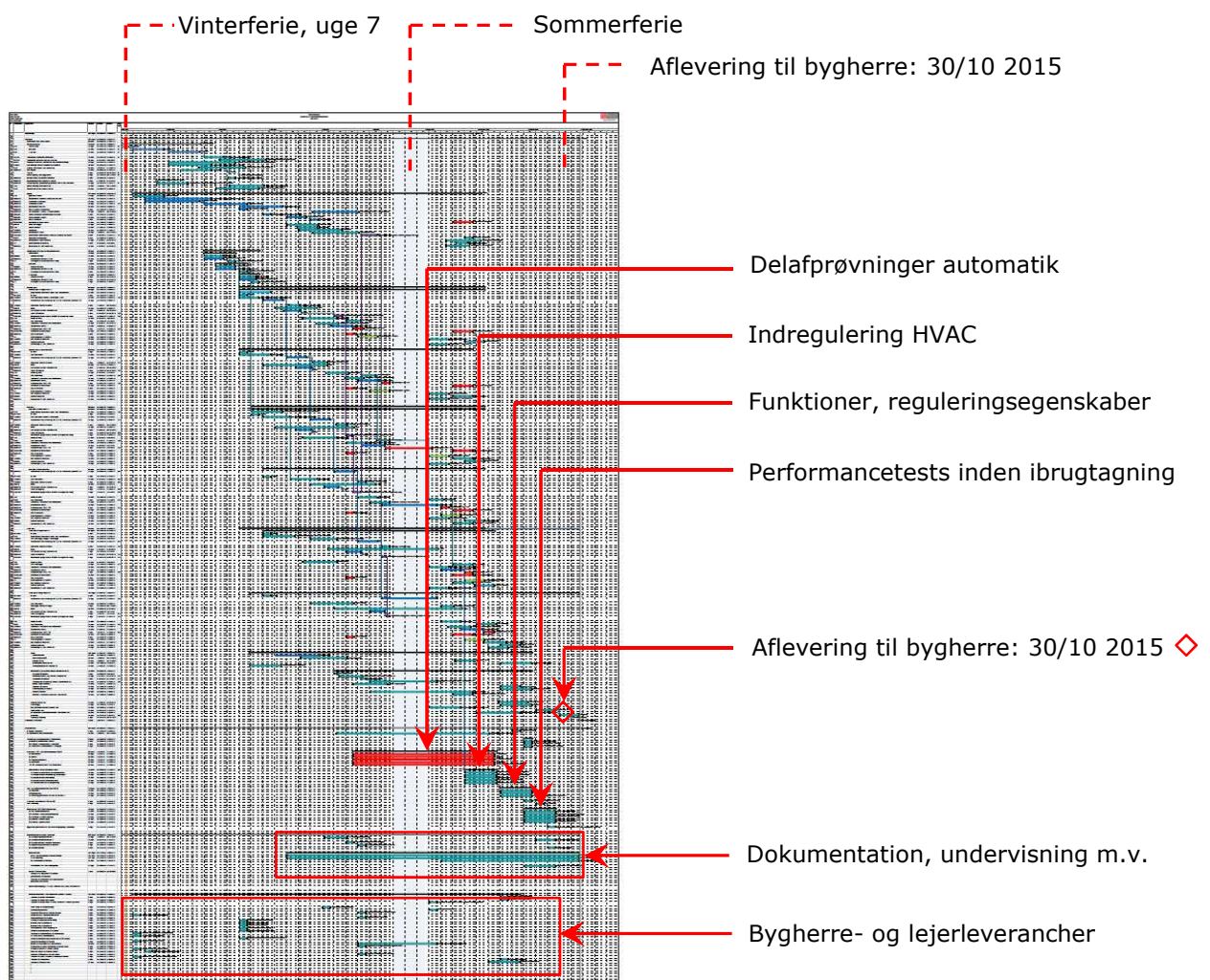
Processen blev planlagt "omvendt" – anskuet bagfra, så at sige – idet udgangspunkt var at der 30/10 2015 ville stå et færdigt byggeri, testet iht. byggeprogram inkl. en række udfyldte og godkendte testbilag. Den sidste del af tidsplanen omfattende månederne før aflevering blev således undersøgt, gransket og efterfølgende detaljeret.

Der blev i første omgang i dialog med teknikfagene afsat følgende tidsrum til aktiviteter, der var vigtige ikke blot i forhold til selve performancetests, men også forudgående aktiviteter såsom funktionsafprøvninger af automatik og indregulering af HVAC-anlæggene:



Bearbejdningen havde i høj grad til formål at synliggøre nødvendig tid til eksempelvis idriftsættelses- og indreguleringsaktiviteter, performancetests, energitests osv. – aktiviteter, som erfaringsmæssigt bliver klemte tidsmæssigt i mange byggerier.

Ovenstående blev bearbejdet på skitseplan parallelt med, at byggeledelsen arbejdede med den "store" tidsplan – hovedtidsplanen - for byggeriet. Herefter blev elementerne implementeret i hovedtidsplanen, som er visualiseret herunder:

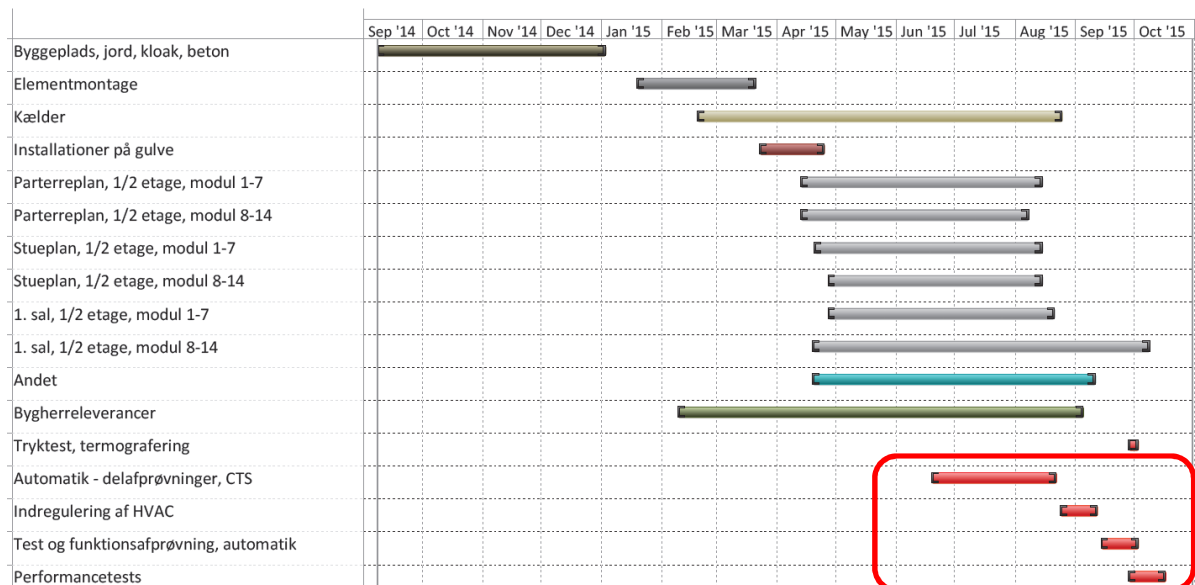


Arbejdet med opgørelse af tidsforbruget til især delafprøvninger for automatik, hydraulisk indregulering af HVAC-anlæg, funktionstesttest og afsluttende performancetest samt energiverificering bevirkede i realiteten, at en tidlig version af hovedtidsplanen for færdiggørelse af det "fysiske" byggeri blev gjort 2-3 måneder kortere, så der var den fornødne tid til disse aktiviteter.

Men den fremkomne tidsplan synliggjorde også til sidst i forløbet, at det ikke havde været muligt at nå i mål med et færdigt, funktionsafprøvet og testet byggeri, hvis ikke disse skridt havde været taget.

Erfaringerne i de sidste måneder frem mod aflevering bekræfter dette. De nødvendige forberedelser for installationsfagene frem mod performancetest og aflevering kunne næppe have været udført på kortere tid, end der blev afsat.

Herunder er vist en simplificering af tidsplanen for OU44, idet der fokuseres på den kritiske vej for delafprøvninger vedr. automatik, indregulering, test og funktionsafprøvning, og afsluttende performancetests.

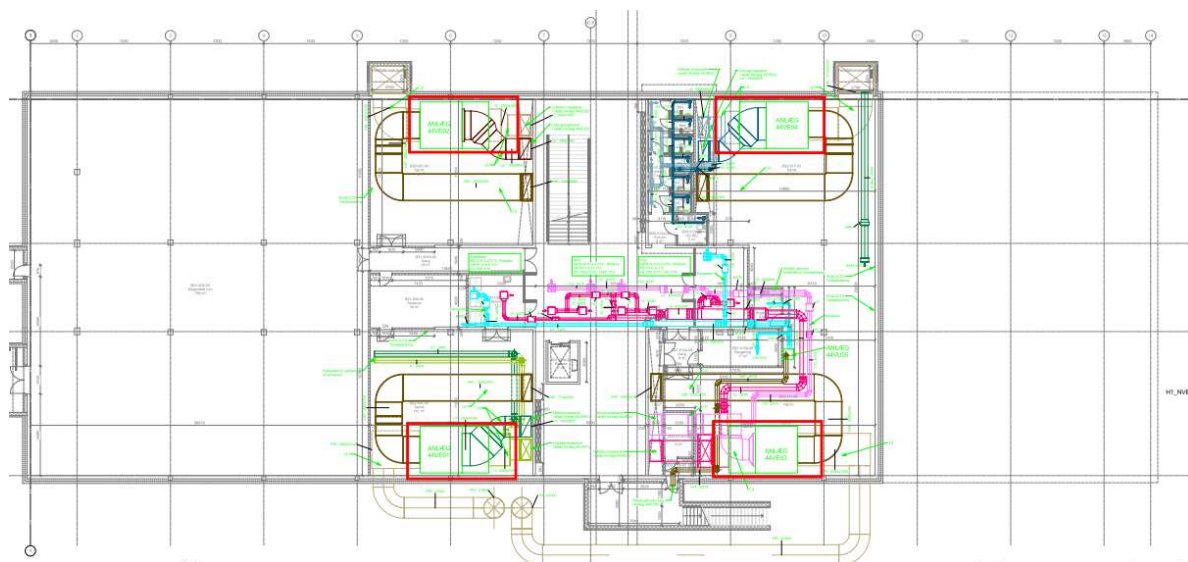


6. VENTILATIONSANLÆGGENE I BYGNING 44

V. Johannes Thuesen, Rambøll

6.1 Generelt

Bygningen ventileres af i alt 4 stk. ventilationsanlæg (VE01, VE02, VE03 og VE04), der er placeret i hver sit teknikrum i kælderniveau – vist på udsnit af kælderplan herunder. Hver rød firkant markerer et ventilationsaggregat:



Anlæggene ventilerer auditorier, undervisningslokaler, kontorer, mødenicher, kopirum, toiletter og gange.

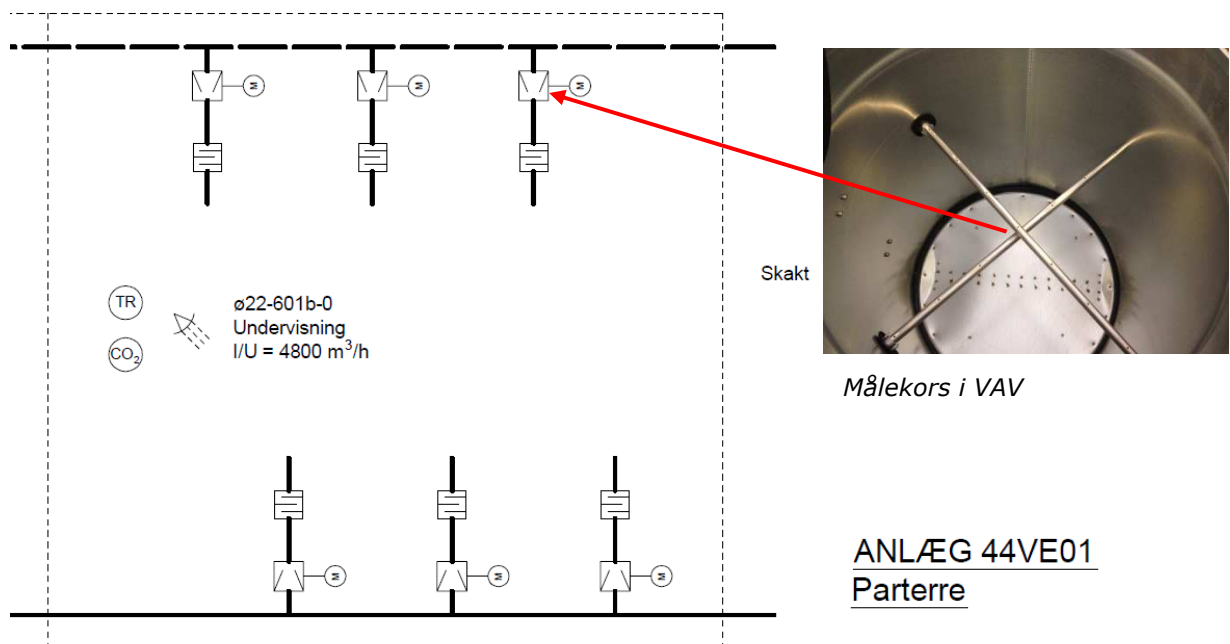
OU44 er opdelt i 4 kvadranter med stort set samme kanalføring og samme størrelse ventilationsaggregater. Kanaler er ført fra aggregater i kælder via installationsskakte til de enkelte etager, hvorfra kanaler er ført rundt på etagerne over nedhængte lofter.

De enkelte lokaler ventileres med opblandingsventilation. Indblæsning sker gennem indblæsningsarmaturer monteret i nedhængte lofter. Der suges over nedhængte lofter via sugeplader i nedhængte lofter.

Anlæggene er af typen VAV (Variable Air Volume). Luftmængderne reguleres trinløst og behovsstyret via CO₂-følere samt temperaturfølere i langt hovedparten af rummene, herunder også énmandskontorer.

Parterre og stue er opdelt i zoner med ét eller flere VAV-spjæld. 1. sal er opdelt på samme måde, men yderligere er der 4 kontorområder, hvor kontorerne er forsynet med VAV-spjæld og fælles udsugning med et trykholdespjæld, som regulerer den samlede udsugning i forhold til den samlede indblæsning.

Foranstående undervisningslokale er herunder vist som princip i form af et udsnit af PI-diagram for ventilation VE01, med CO₂-føler, rumtemperaturføler, PIR-føler og VAV-spjæld inkl. målekors:



Friskluftsindtag sker gennem skorstene placeret ved øst facaden (VE01 og VE03) og gennem "lyskasser" ved vest facaden (VE02 og VE04).



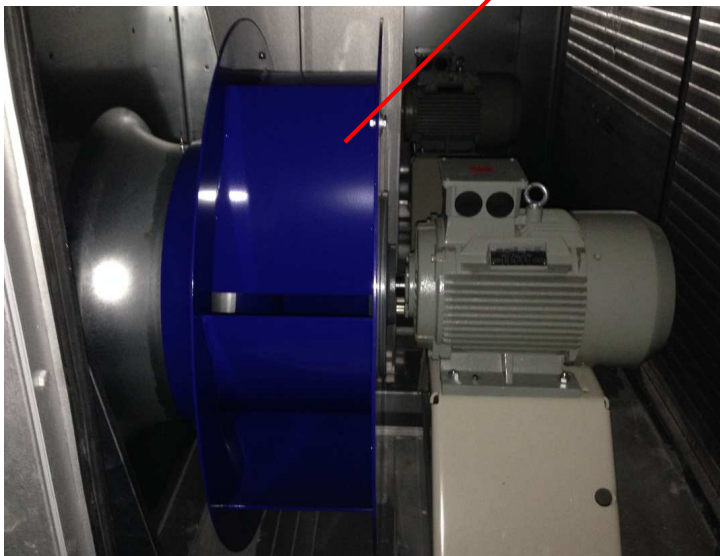
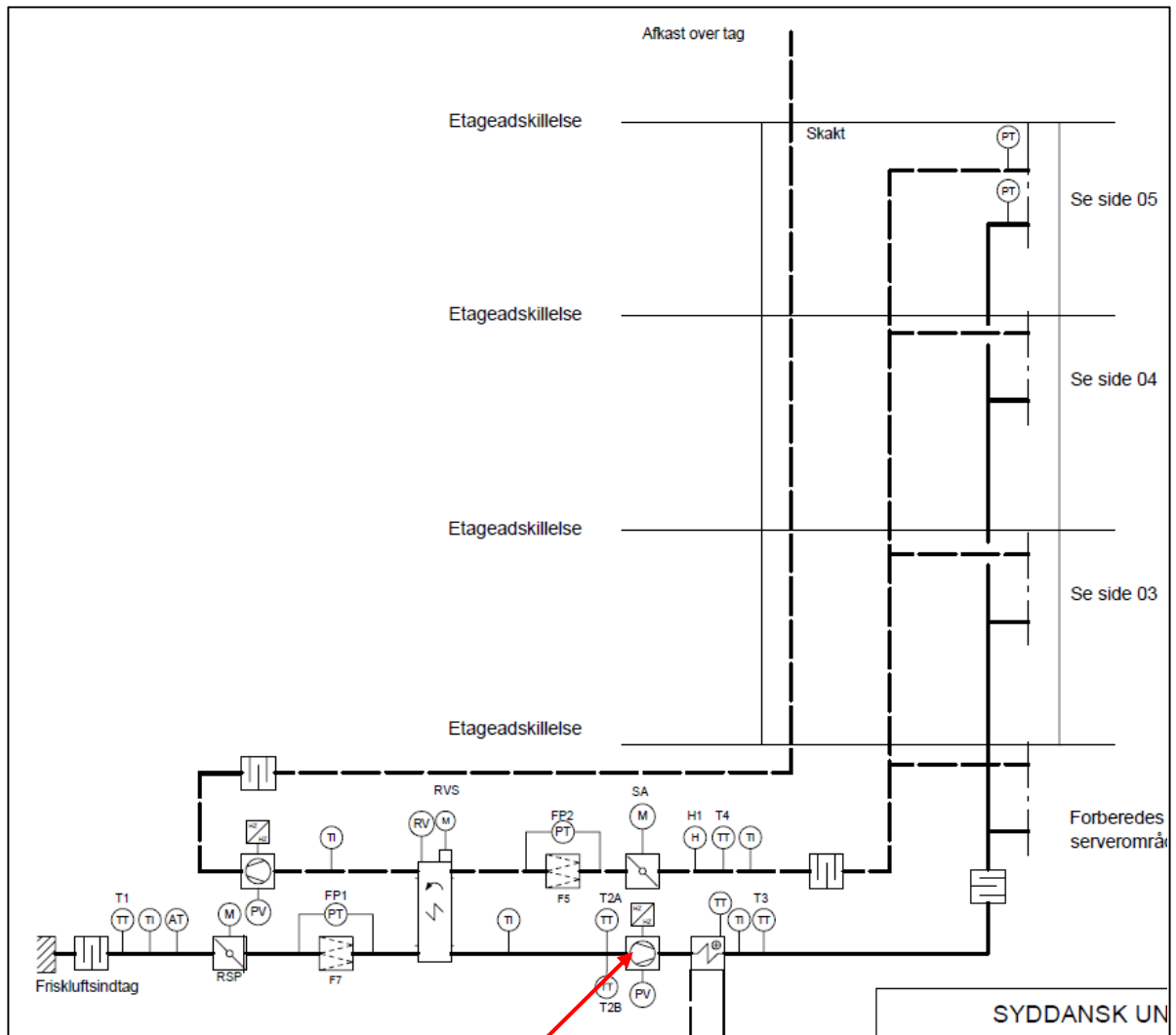
Luftindtag via skorstene for ventilationsanlæg VE01 og VE03 (fra byggefasen)

Afkast er ført over tag gennem installationsskaktene. På tag er afkast afsluttet med "svane Hals" og trådnæt.

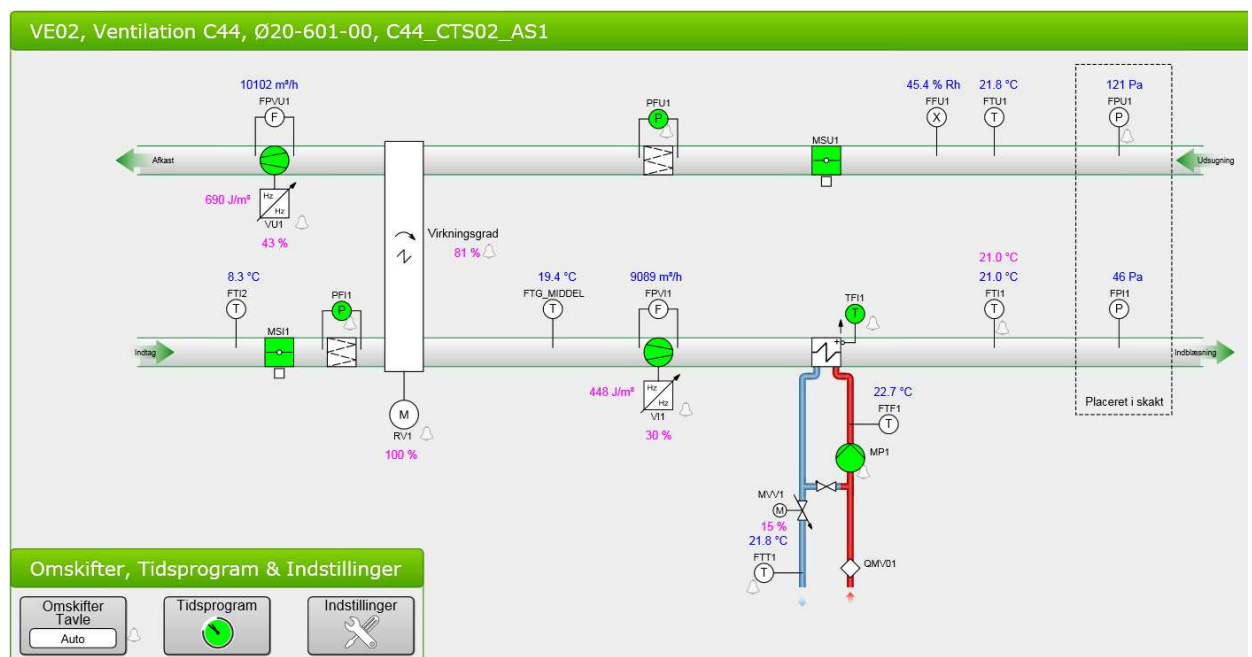
Atrium ventileres hovedsageligt naturligt, ved oplukkelige ovenlysvinduer og luftindtag for erstatningsluft. I vintermånederne er Atriet dog mekanisk ventileret (Anlæg VE03).

6.2 Aggregatopbygning

Aggregatopbygningen samt hovedkanaler i skakte er illustreret herunder:



Direkte drevne kammerventilatorer med bagudkrummede skovle. I hvert aggregat arbejder 2 ventilatorer parallelt hvor hhv. indblæsning og udsugning, dvs. 4 ventilatorer pr. aggregat.



CTS-brugerflade, her for anlæg VE02, der illustrerer automatikbestyknig

Som det fremgår, er der tale om traditionelle ventilationsaggregater med varmegenvinding via roterende varmeveksler. Ventilatorhastighed reguleres via konstanttryksregulering.

Et særligt forhold ved aggregaterne er, at varmefladerne er udlagt til et lavt temperatursæt på 45/30 °C, idet de efter ønske fra bygherre er forberedt for eventuel fremtidig drift med varmepumpeanlæg. Et forhold, der alt andet lige øger tryktabet i aggregatet med risiko for øget SEL-faktor til følge.

Anlæggene er ikke med EC-motorer, men derimod med traditionelle AC motorer og direkte drevne kammerventilatorer, kombineret med frekvensomformere, idet en "delt" løsning (motorer/ventilatorer samt separate frekvensomformere) var ønsket af SDU.

7. KS – INDHOLD OG STRUKTUR

v. Karsten Bormlund, Bravida

7.1 KS-system - tegningsmateriale som grundlag for KS

Bravida er ISO 9001 certificeret, og vi benytter en projektspecifik kvalitetshåndbog udarbejdet med udgangspunkt i udbudsmaterialet, bekendtgørelse nr. 1117 af d. 23.09.2010 om kvalitets-sikring af byggearbejder, delvist ISO 9001/2008, samt eksisterende generelle kvalitetshåndbøger.

Da ventilation er den del, der rumligt fylder mest i et projekt som OU44, valgte vi, at Bravida i forbindelse med detailprojekteringen tegnede ventilationen op i 3D via AutoCad og overbygning MagicCad. Via dette program lagde vi samtlige installationer ind i ventilationsprojektet, og vi fik et fantastisk overblik over mulige kollisioner.

Disse tegninger blev en del af KS for alle installationer: El, VVS, sprinkler, automatik samt ventilation.



Følgende er den faste del i KS-journalen:**PLANLÆGNING AF KONTROL:**

Planlægningen af kontrol af arbejdet udføres af den fagansvarlige iht. procedure nr. 1.08.01. Kontrolplanen opbevares i kontroljournalen. Kopi udleveres til kunden.

UDARBEJDELSE AF KONTROLPLANER:

Kontrolplanerne udarbejdes af den fagansvarlige iht. procedure nr. 1.08.01.

UDARBEJDELSE AF KONTROLSKEMAER:

Kontrolskemaer udarbejdes af den fagansvarlige med alle relevante kontrolpunkter iht. procedure nr. 1.08.01.

MODTAGEKONTROL:

Modtagekontrollen udføres af formanden. Al modtagekontrol udføres elektronisk i BRAVIS eller direkte på følgesedlerne, som arkiveres i kontroljournalen.

PROCES- OG SLUTKONTROL - KONTROLSKEMAER:

De nødvendige kontrolskemaer udarbejdes og proces- og slutkontrollen udføres af den fagansvarlige eller en af ham udpeget person iht. procedure nr. 1.08.01. De udfyldte kontrolskemaer indsættes i kontroljournalen. Kopi udleveres til kunden.

ØVRIGE FORTRYKTE FORMULARER:

Øvrige formularer forsynes med et formular nummer udenfor rammen som XXXXYY-ZZ. XXXX er den pågældende procedures nummer dog uden standardens nummer. YY er formulærens nummer til den pågældende procedure. ZZ er formulærens udgave nummer.

AFVIGELSER:

Mindre afvigelser, fejl og mangler, der konstateres under arbejdets udførelse udbedres omgående. Større samt gentagne afvigelser, fejl og mangler, der konstateres under arbejdets udførelse udbedres løbende, men registreres på en afvigelsesrapport. Afvigelser, fejl og mangler kan vise sig ved modtage-, proces- eller slutkontrol, påpeges af den projektansvarlig, den fagansvarlige, den kvalitetsansvarlige.

KONTROLJOURNALEN:

Alle kvalitetsregistreringer vedr. projektet samles i en kontroljournal, en for hvert fag. Følgende er eksempler på kvalitetsregistreringer:

- Kontrolplaner
- Følgesedler
- Materialecertifikater, attester og godkendelser
- Kontrolskemaer inkl. tegninger med områdeangivelse
- Afvigelsesrapporter
- Anden kvalitetsrelateret dokumentation
- Underentreprenørers/-leverandørers kvalitetshåndbøger

Dette vil være fokusområde i denne redegørelse

	PLANLÆGNING AF KONTROL PROCES- OG SLUTKONTROL Kontrolplaner og kontrolskemaer	Procedure/Afsnit nr.: 1.08.01	
KVALITETSSTYRING		Udgave/Dato: 00/22.10.2014	
		Udarbejdet af/afd.: Karsten Bormlund / Afd. 211	
Segment: BRAVIDA DANMARK		Projekt navn: SDU OU44 Ventilation Sags nr.: 2114164	
FORMÅL:	At sikre, at kontrollen af det udførte arbejde planlægges korrekt mht. kvalitet og funktionsdygtighed. At sikre, at kontrollen udføres korrekt.		
ANSVAR:	Den fagansvarlige er ansvarlige for planlægning samt udførelsen af kvalitetskontrollen. Den fagansvarlige kan uddelegere opgaven med kontrol af arbejdet til formanden eller en montør.		
GYLDIGHED:	Denne procedure er gældende for alle fag i projektet.		
PROCEDURE:	Den fagansvarlige definerer, hvad der skal kontrolleres og laver en plan for eget fagområde til det specifikke projekt. Planen skal afspejle hvad der skal kontrolleres på det pågældende projekt. Den fagansvarlige udvælger kontrolområder i et for projektet repræsentativt omfang. Der udarbejdes de nødvendige kontrolskemaer til at kontrollen af arbejdet kan udføres iht. krav. Som minimum skal lov- og kunde krav altid overholdes. Alle kontrolskemaerne nummereres fortløbende for hvert fag.		
	Proceskontrollen udføres løbende under selve arbejdet og i hele projektets løbetid. Slutkontrollen er en afprøvning af anlægget samt en funktionsprøve. Kontrollen udføres som visuel kontrol, målekontrol eller særlig prøvning, hvilket fremgår af kontrolskemaerne. Omfanget fremgår desuden af kontrolskemaerne. Alle aktuelle felter på kontrolskemaerne skal udfyldes inkl. dato og signatur. Felter, som ikke er relevante markeres med IR (Ikke Relevant). Kontrolområderne markeres/nummeres på en tegning eller et tegningsudsnit, når kontrollen udføres og vedlægges de udfylder kontrolskemaer.		
	Der oprettes en kontroljournal for hvert fag, som indeholder de for faget gældende og udfyldte kontrolplan, kontrolskemaer, etc.		
	Planlægningen samt kvalitetskontrollen vedrørende væsentlige underentreprenørers arbejde er udlagt til underentreprenørerne, som følger egne kvalitetsstyringssystemer/kvalitetshåndbøger. Underentreprenørens kvalitetsstyringssystem/-håndbog efterses og godkendes. Såfremt underentreprenøren ikke selv har et kvalitetssystem vil de indgå i Bravida Danmark når det er nødvendigt.		
AFVIGELSER:	Ved afvigelse, fejl og mangler udfyldes en afvigelsesrapport, se procedure nr. 1.08.02 og afvigelsen, fejlen eller manglen udbedres snarest.		
DOKUMENTATION:	Prøveresultaterne registreres på et kontrolskema af den person, der udfører kontrollen. Ved særlig prøvning udfyldes de respektive prøveresultatblade. Kontrolskemaer inkl. evt. tegninger samt prøveresultatblade arkiveres sammen med den øvrige kvalitets dokumentation i kontroljournalen. Kontrolskemaer m.m. samt evt. drifts- og vedligeholdelsesmanualer afleveres til kunden når projektet er afsluttet såfremt det er et krav.		

Dette afsnit vil, for at begrænse omfanget, udelukkende behandle proces- og slutkontrol af enkelte **udvalgte områder**, der fremgår af det efterfølgende:

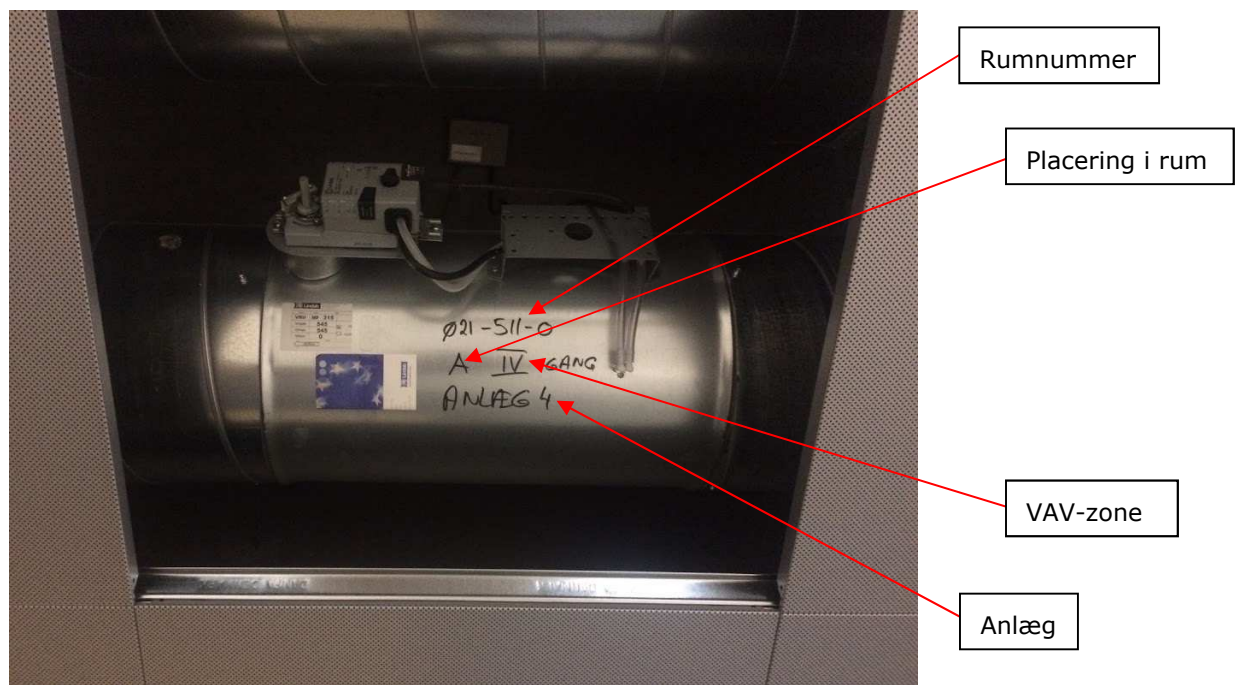
- **VAV-spjæld**
 - Brand/røgspjæld
 - Kanalsystem med henblik på den air-dynamiske montage samt kontrol af udførelse i forhold til tegninger da der er trangt med plads flere steder.
 - Isolering
 - Huller
 - Brand og røgtætning af huller
- **Lækagekontrol**
 - Lydmåling
- **Eftervisning af SEL-faktor på ventilationsanlæg**
- **Eftervisning af temperaturvirkningsgrad på roterende varmeveksler**
 - Kontrol og eftervisning af ventilation i x-feltrum
 - Kontrol og eftervisning af splitkøl i serverrum

Eftervisning af SEL-faktor og temperaturvirkningsgrad på rotorveksler behandles i særskilte kapitler i denne redegørelse.

7.2 Proces- og slutkontrol VAV-spjæld

VAV-spjæld er et stort fokusområde i dette projekt, da vi har med store luftmængder at gøre samt et stort antal spjæld, der skal konfigureres og "spille sammen".

For at få kontrol over samtlige spjæld er disse nummereret på følgende måde:



Dette giver en unikt overblik og sporbarhed på alle VAV-spjæld.

Eksempel på proceskontrol af VAV Anlæg 4 Parterre:

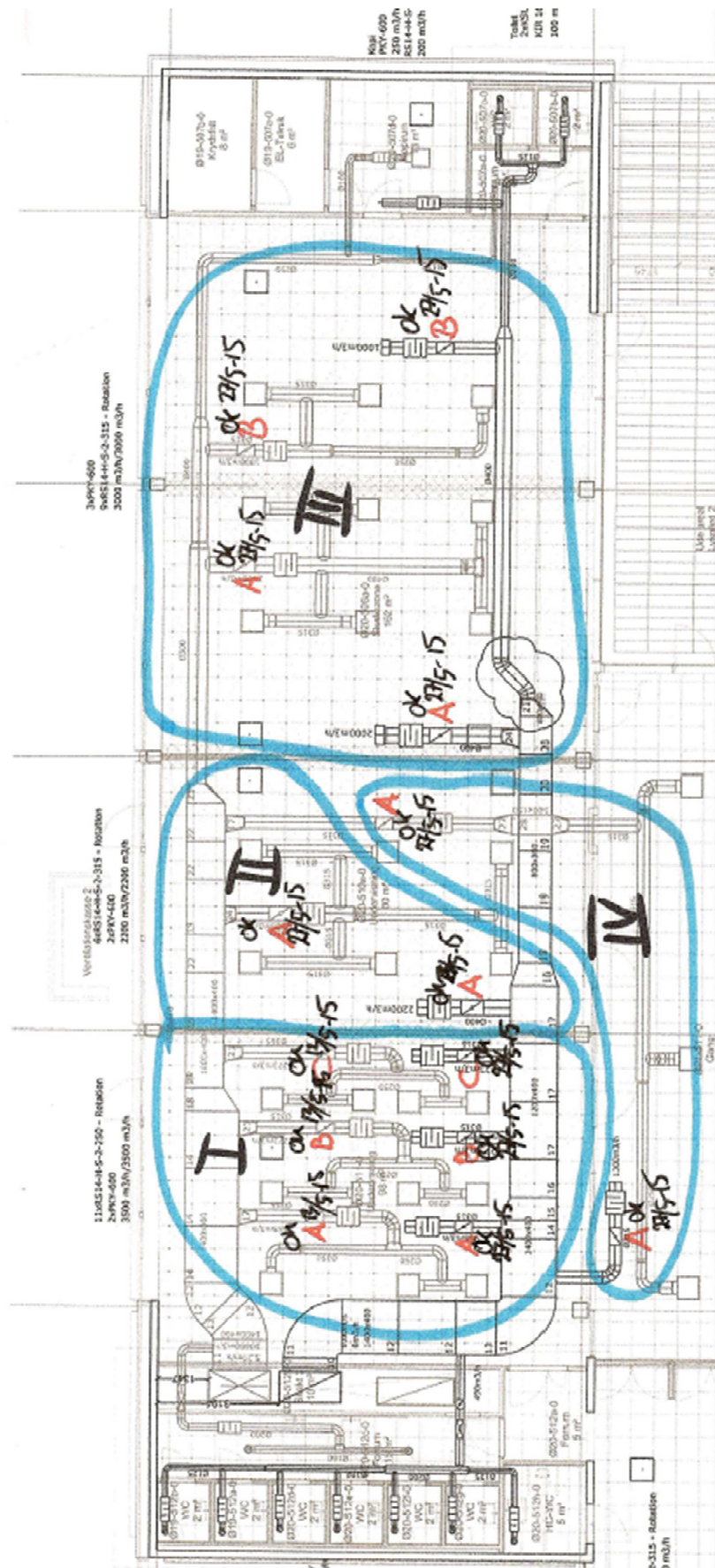
bravida		PROCESKONTROL VENTILATION		Skema nr.: VE 01 Udg./Dato: 00/05.01.2015 Side 1 af 1	
Sagsnavn: SDU OU44			Sagsnr.: 2114154		
Område nr./sted: PARTERRE 8-14 VAV			Udført af/Dato: B/S-2015		
Reference dokument: SE VEDLÆGGE			Metode/omfang: Visuelt/ 5%, hvis ikke andet er angivet.		
Tegn. nr.: _____ Dato: _____					
EMNE	Kanaler	Type			
		Dimension			
		Placering			
		Montage inkl. samlinger			
		Bæring/Fastgørelser			
		Gennemføringer			
		Inspektions- og renselemme			
		Mærkning			
		Overflader og maling			
		Armaturer	Type		
	Dimension				
	Placering				
	Montage				
	Aggregater	Type			
		Størrelse			
		Placering			
		Montage			
		CE-mærkning			
	100% kontrol	Overensstemmelseserklæring			
Andet: Skriv arten VAV-REG	Type			GODKENDELSE SES PÅ VEDLÆGGE TEGNINGER	
	Placering				
	Størrelse				
	Montage				
Kontrollen afsluttet: Dato: 6/9-2015 Underskrift: <i>[Signature]</i>					
Eventuel afvigelse overført til afvigelsesrapport nr.: _____ Afvigelse afsluttes på afvigelsesrapporten.					
Dato: _____ Underskrift: _____					

Eksempel herpå følger på næste side

VAV-zone

Anlæg 4 - parterre		2-10V		
		Interval	str.	stk.
1	Ø20-511-0, Undervisning			
	Ø20-511-0-A	287-955	VRU-315	2 ✓
	Ø20-511-0-B	382-1273	VRU-315	2 ✓
	Ø20-511-0-C	382-1273	VRU-315	2 ✓
2	Ø20-510a-0, Undervisning			
	Ø20-510a-0-A	660-2200	VRU-400	2 ✓
3	Ø20-508a-0, Studiezone			
	Ø20-508a-0-A	600-2000	VRU-400	2 ✓
	Ø20-508a-0-B	300-1000	VRU-315	2 ✓
4	Ø21-511-0, Gang			
	Ø21-511-0-A	390-1300	VRU-315	2 ✓

ANLÆG 4 PARTERRE



7.3 Lækagetest

Til eftervisning af kanaltæthed benyttede vi os af Lindabs lækagemåler.

Kravet var kategori C.

Her er et eks. på lækagetest stue anlæg 4.



STUE ANLÆG 4



Det vi gjorde var, at påsætte endebunde vist med blåt
 Beregne overfladearealet ved hjælp af AutoCad
 Indtaste data i instrument
 Sætte instrument til kanalsystem og lade måleren køre.

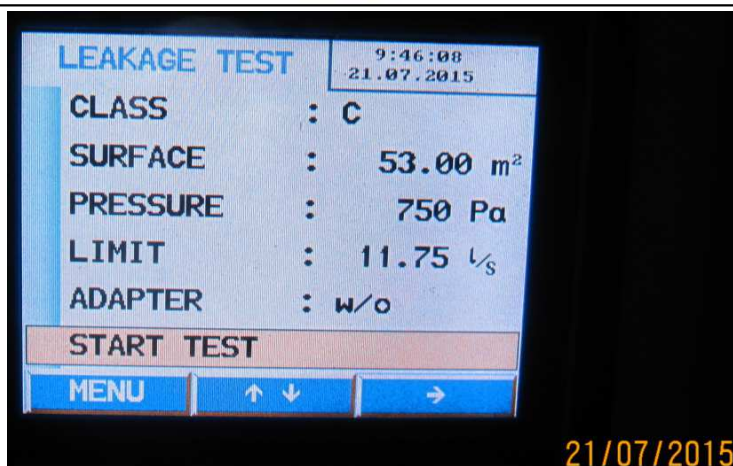
Herunder er beregning af overfladen, som giver 53 m².

MagiCAD HPV - Bill of materials

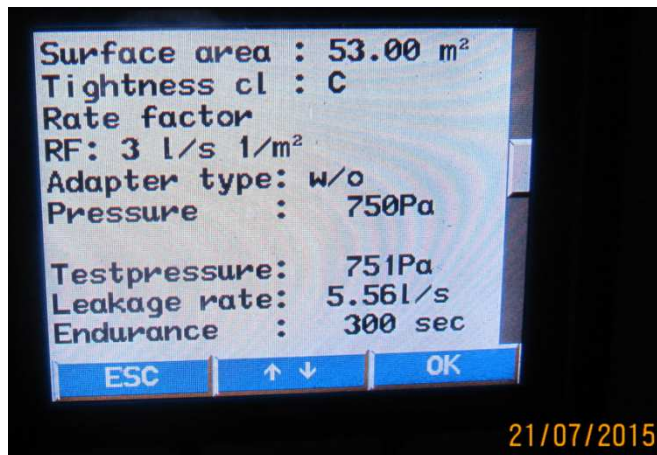
Project:
Date: 18.06.2015
Range:

Class	Size	Series	Product	N	L\m	Surface\area [m2]
Duct		125 1 LindabSafe	SR-125	5	3.6	1.429
Duct		160 1 LindabSafe	SR-160	3	1.9	0.945
Duct		200 1 LindabSafe	SR-200	3	6.4	3.998
Duct		250 1 LindabSafe	SR-250	3	2.1	1.611
Duct		315 1 LindabSafe	SR-315	21	19.9	19.654
Duct		400 1 LindabSafe	SR-400	5	8.2	10.392
Duct		500 1 LindabSafe	SR-500	3	7.8	12.254
Bend-15		250 1 LindabSafe	BU-250-15	1		0.052
Bend-15		315 1 LindabSafe	BU-315-15	1		0.081
Bend-30		160 1 LindabSafe	BU-160-30	1		0.043
Bend-90		125 1 LindabSafe	BU-125-90	3		0.295
Bend-90		160 1 LindabSafe	BU-160-90	1		0.161
Bend-90		200 1 LindabSafe	BU-200-90	1		0.251
Bend-90		250 1 LindabSafe	BU-250-90	1		0.393
Bend-90		315 1 LindabSafe	BU-315-90	2		1.247
Outlet	200/160	1 LindabSafe	PSU-200-160	1		0.053
Outlet	315/315	1 LindabSafe	PSU-315-315	6		1.081
Outlet	400/315	1 LindabSafe	PSU-400-315	3		0.668
Outlet	500/400	1 LindabSafe	PSU-500-400	1		0.347
Joint part		200 1 LindabSafe	NPU-200	1		0.004
Joint part		315 1 LindabSafe	NPU-315	4		0.028
Joint part		400 1 LindabSafe	NPU-400	1		0.009
Joint part		500 1 LindabSafe	NPU-500	2		0.022
Joint part		160 1 LindabSafe	MF-160	1		0.048
Reduction	160/125	1 LindabSafe	RCU-160-125	1		0.018
Reduction	200/160	1 LindabSafe	RCU-200-160	1		0.024
Reduction	315/250	1 LindabSafe	RCU-315-250	2		0.099
Reduction	400/315	1 LindabSafe	RCU-400-315	1		0.068
Reduction	500/400	1 LindabSafe	RLU-500-400	1		0.278
Reduction	200/125	1 LindabSafe		1		0.143
Reduction	400/200	1 LindabSafe	RLU-400-200	1		0.391
Reduction	500/1000x400	2 Lindab Rekt	LORU-1000-400-500-450-2-L	1		1.260
Supply air	200 I-11		RS14-H-S-2-200 - Rotation	1		
Supply air	315 I-11		RS14-H-S-2-315 - Rotation	12		
Supply air	160 I08		KIR 160 - 4-way	1		
Flow damp	315 S-07		REACTa 315	1		0.457
Flow damp	400 S-07		REACTa 400	1		0.732
Silencer	125 LD-01		SLU 125 600 50	1		0.236
Silencer	160 LD-01		SLU 160 600 50	1		0.301
Silencer	315 LD-05		SLU 315 600 100	1		0.594
Silencer	400 LD-05		SLU 400 600 100	1		0.756
						52.926

NB! ENDEBUNDE ER IKKE MEDREGNET, SÅ AREAL ER FAKTISK STØRRE



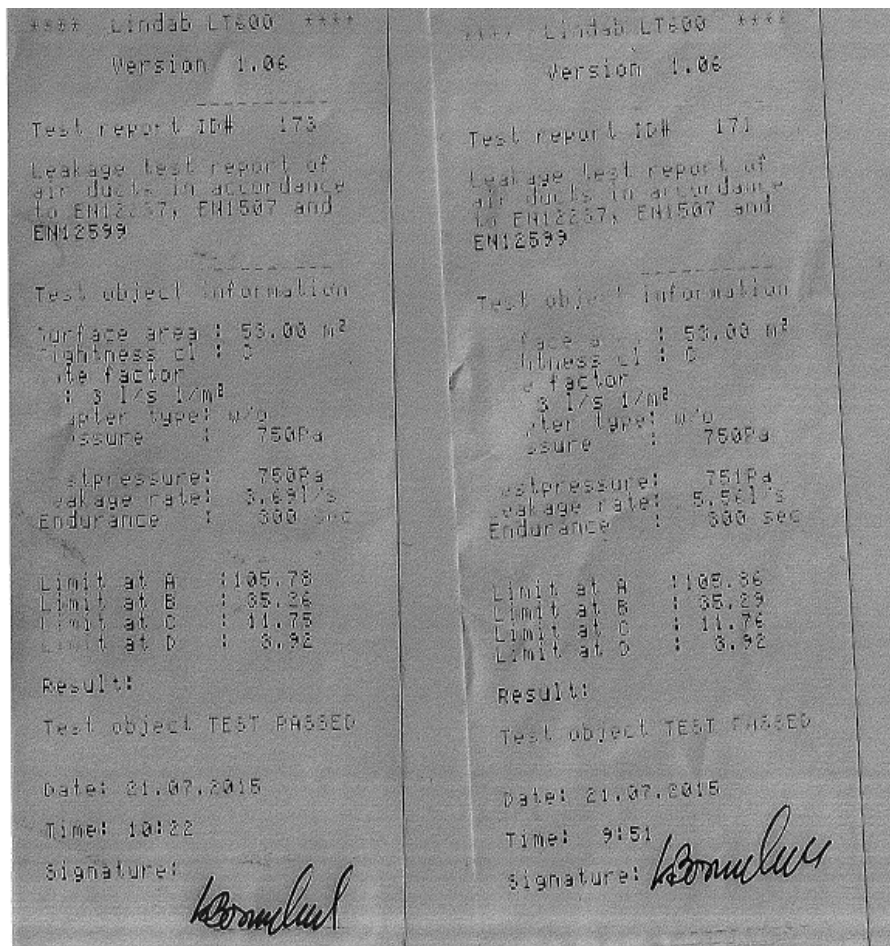
Vi taster data ind i systemet og lækagemåleren klarer resten. Klasse C ved 750 Pa og 53 m², må lækagen være 11,75 l/s



Resultatet blev 5,56 l/s =>
Testen er godkendt

Selve testen tager 300 sek, så tiden med lækage er faktisk kun det at afblænde et kanalstræk med endebunde.

Herunder er en udskrift fra lækagetester med den fulde dokumentation.



8. INDREGULERING

v. Karsten Bormlund, Bravida

8.1 VAV-spjæld

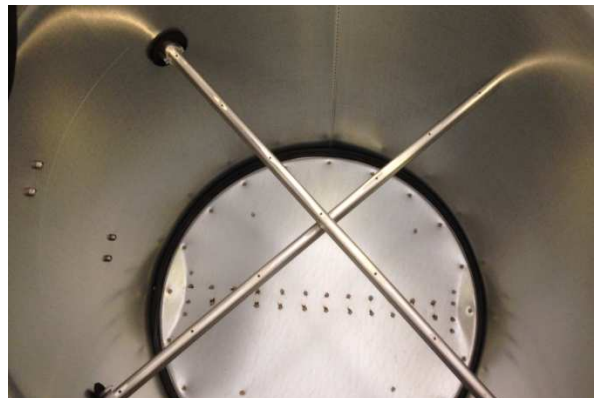
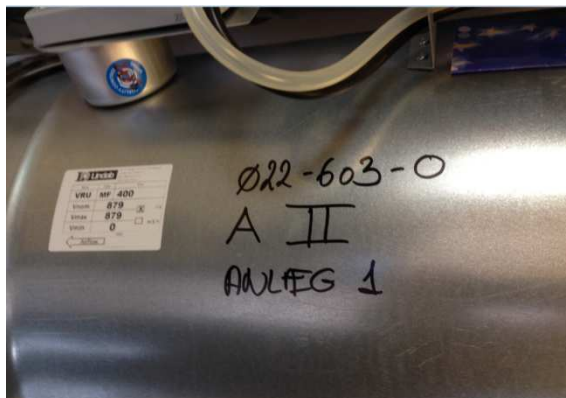
Ventilationsanlæggene i bygning 44 er af typen VAV (Variable Air Volume) i modsætning til CAV (Constant Air Volume).

Vi tager udgangspunkt i indregulering af Anlæg 1, som betjener kvadrant syd/øst, der igen betjener tre etager benævnt parterre, stue og 1. sal.

Stue og parterre er opdelt i zoner med et eller flere VAV-spjæld. 1. sal på samme måde, men yderligere er der et kontorområde hvor kontorerne er forsynet med VAV-spjæld og fælles udsugning med et trykholdespjæld som regulerer den samlede udsugning i forhold til den samlede indblæsning.

Ud fra Rambølls termiske simuleringer (B-sim) er luftmængderne valgt til hver zone. Hver zone kan så regulere fra 30-100 % på luftmængden, afhængig af CO₂-niveau og temperatur. Ingen aktivitet i rum => 0 m³/h.

VAV-spjæld er valgt fabr. Lindab type VRU, som er cirkulære volumenstrømsregulatorer. Spjældmotor er fabr. Belimo, som kan programmeres via en lille håndterminal eller en pc'er. Det letteste er håndterminalen med Belimo type ZTH-EU.



VRU volumenstrømsregulatorer har en max. luftmængde, som ses på nedenstående bilag.

VRU/FRU

$\Delta p@V_{nom}$ with non standard Velocity (Over 7 m/s)

Choose size

Flow Unit

Calculate after

Flow m³/h

Velocity in the duct [m/s]

$\Delta p@V_{nom}$ Pa

! NOTE !

To Low Velocity in the duct



VRU/FRA



VRU/FRU

Standard	Flow [m³/h]	Flow [l/s]	$\Delta p@V_{nom}$	Velocity [m/s]
VRU/FRU 100	198	55	70	7
VRU/FRU 125	309	86	67	7
VRU/FRU 160	506	141	56	7
VRU/FRU 200	791	220	56	7
VRU/FRU 250	1236	343	53	7
VRU/FRU 315	1963	545	47	7
VRU/FRU 400	3165	879	54	7
VRU/FRU 500	4946	1374	53	7
VRU/FRU 630	7851	2181	52	7

VAV-spjæld er sat til at regulere fra 2-10V, hvor 2V er sat til 30% af den dimensionerende luftmængde og 10V svarer til 100% luftmængde.

Hvis spændingen er $\leq 2V$ er spjældet lukket.

8.2 Måling af hovedluftmængde

Vi har i ventilationsanlæggene mulighed for at måle hovedluftmængderne ved trykmåling i indløbsringene til ventilatorerne.

Dette princip vinder mere og mere frem og er særdeles anvendeligt, da det ofte er vanskeligt at måle hovedluftmængder med et varmetrådsanemometer, eksempelvis på grund af kanalføring.

Vi har i dette projekt eftervist nøjagtigheden af hovedluftmåling målt i anlægget og hovedluftmåling foretaget med et varmetrådsanemometer på en 10 m lige strækning.

Sag: OU44, Ventilation

Verificering af hovedluftmængde ved måling i kanal med varmetråds-anemometer contra måling via trykudtag ved ventilatorers indløbsringe samt beregning af flow

Dato: 07-10-2015

Tid: 13:40



Varmetrådsanemometer:

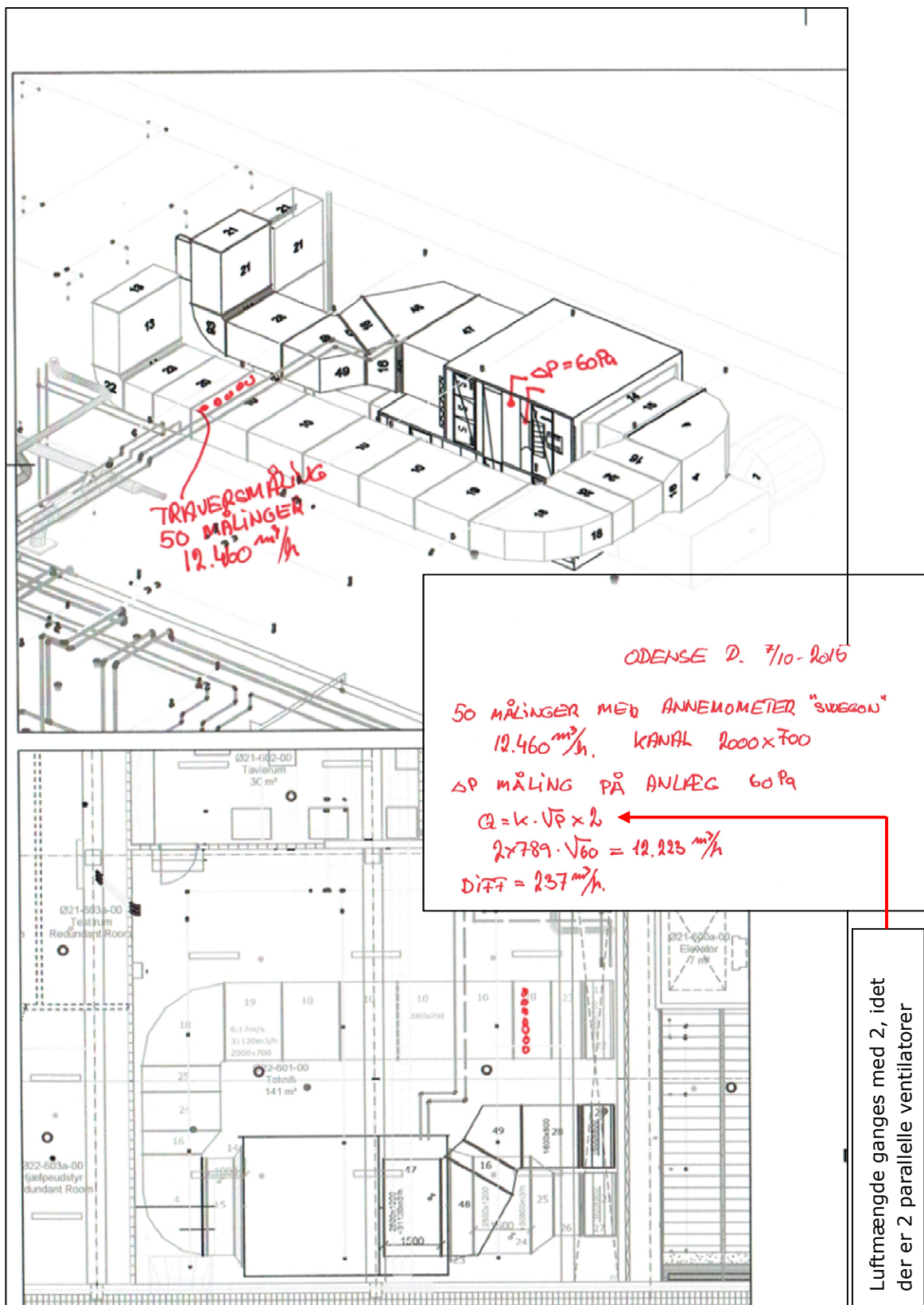
50 målinger ~ **12.460 m³/h.**

Trykmåling:

60 Pa

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

Der var således god overensstemmelse ved måling af hovedluftmængde ved de to metoder.



Ventilatorleverandørens anvisning af hovedluftmåling

High-performance centrifugal fans

Measuring device for determining air volume

The differential pressure compares the static pressure in front of the inlet ring with the static pressure in the inlet ring of the narrowest point. The differential pressure between the static pressures is related to the air volume via the energy conservation rate as follows:

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_w}$$

where k takes into account the specific ring characteristics.

If the fan is operating at a temperature other than 20°C, the following equation can be used to determine the volumetric flow:

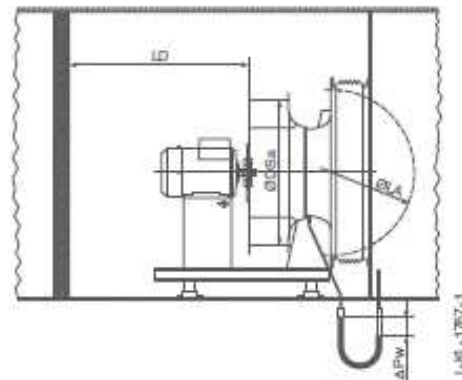
$$q_v = \sqrt{\frac{\rho_{20}}{\rho_{\text{Betr}}}} \cdot k_{20} \cdot \sqrt{\Delta p_w}$$

ρ_{Bet} = air density at operating temperature

Nozzle coefficients

Type	k-factor*
RH22C	47
RH25C	60
RH28C	75
RH31C	95
RH35C	121
RH40C	154
RH45C	197
RH50C	252
RH56C	308
RH63C	381
RH71C	490
RH80C	620
RH90C	789
RH10C	999
RH11C	1233

* $\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$



Example:

Example: If an active pressure of 700 Pa is measured for the frame size ER630 the air flow rate can be calculated

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_w} = 381 \cdot \sqrt{700} = 10080 \text{ m}^3/\text{h}$$

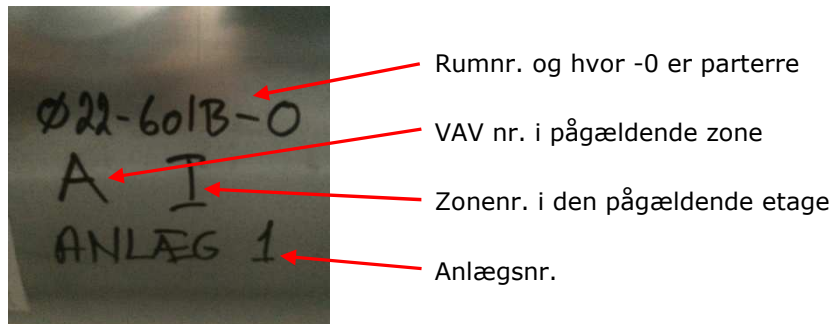
The corresponding active pressure / air flow rate curves can be downloaded from our website under the product information section in the download area.

Vi opererer med ventilator RH90C, hvor k-faktor er 789.

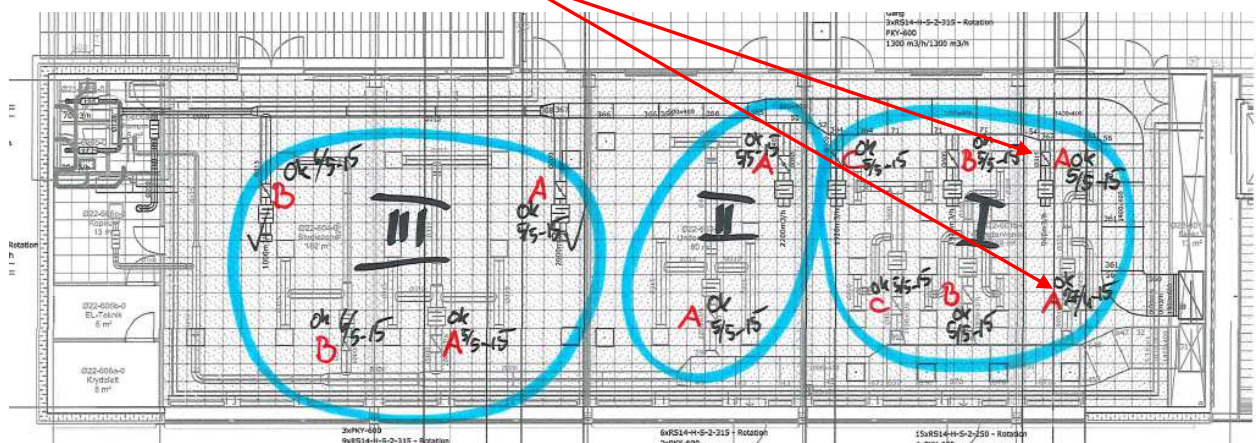
8.3 Indreguleringsprincip

Inden VAV-regulator er opsat, er de programmeret med min. og max. luft på et givent kontor. VAV-regulator er sat til at regulere mellem 2V og 10V, hvor 2V = 30% af max. luft og 10V = 100% luft.

På VAV spjæld er noteret hvilket rum det tilhører samt et bogstav der fortæller hvor i rummet dette VAV sidder, romertal for den zone VAV tilhører samt hvilket anlæg det betjenes fra.



Ovenstående VAV er herved at finde på i KS notat, Anlæg 1 Parterre Syd



Skema fra KS mappe med påtegning af antal VAV pr. rum samt hvad de er programmeret til:

Anlæg 1 - parette		2-10V		
1	Ø22-601b-0, Undervisning	Interval	str.	stk.
	Ø22-601b-0-A	288-960	VRU-315	2
	Ø22-601b-0-B	576-1920	VRU-400	2
	Ø22-601b-0-C	576-1920	VRU-400	2
2	Ø22-603-0, Undervisning			
	Ø22-603-0-A	660-2200	VRU-400	2
3	Ø22-604-0, Studiezone			
	Ø22-604-0-A	600-2000	VRU-400	2
	Ø22-604-0-B	300-1000	VRU-315	2

Anlæg er opstartet med en given frekvens på 38 Hz.
Alle VAV har fået 10V som giver max. luftmængde.

VAV finder sit leje og vi tjekker hovedluftmængden på ventilationsanlæg som viser max. luftmængde.

Herefter er alle VAV gennemgået med Belimo ZTH og luftmængder er noteret i en rapport.



Den zone, hvor spjæld står næsten åben, er så vores reference. Vi sætter så frekvens ned på anlæg til referencespjæld står 100 % åben.

Vi aflæser tryk på tryktransmitter via CTS, og dette tryk bliver reference i systemet. Dette gøres på både indblæsning og udsugning, og det er ikke nødvendigvis samme zone, som er reference.

Nu styres trykket i kanalsystemet via frekvensomformer. Trykket holdes nu konstant uanset antal åbnede VAV-spjæld. Jo flere åbne spjæld, jo mere power på ventilator, og jo færre åbne spjæld, jo mindre power på ventilator.

Før projektet blev igangsat montagemæssigt, blev der foretaget en tryktabsberegning. Denne beregning viste, at vi skulle finde kritisk vej på stueetage og ikke på 1. sal, som var mest naturligt. En ting er teori og en anden er praksis. Den praktiske eftervisning viste dog også, at vi befandt os i stueetagen men ikke lige i det samme rum som teorien sagde.

Men ved at gennemgå alle VAV'er med ovennævnte instrument kunne vi altså aflæse luftmængde, differenstryk over spjæld samt spjældstilling.

På efterfølgende skema ser vi alle VAV-stillinger på anlæg 1, stue. Da alle VAV er i drosle-mode på nær tre, som er markeret med rød, ved vi at der skal lidt mere tryk på anlægget.

Vores opgave er så følgende: At en mand står i teknikrum og skruer op på frekvensomformer indtil spjæld begynder at lukke, og vi tjekker på Belimo-instrument, at luftmængden er til stede. Dette gøres for både indblæsning og udsugning.

Tryk aflæses på tryktransmitter, og vi har nu indreguleret dette anlæg.

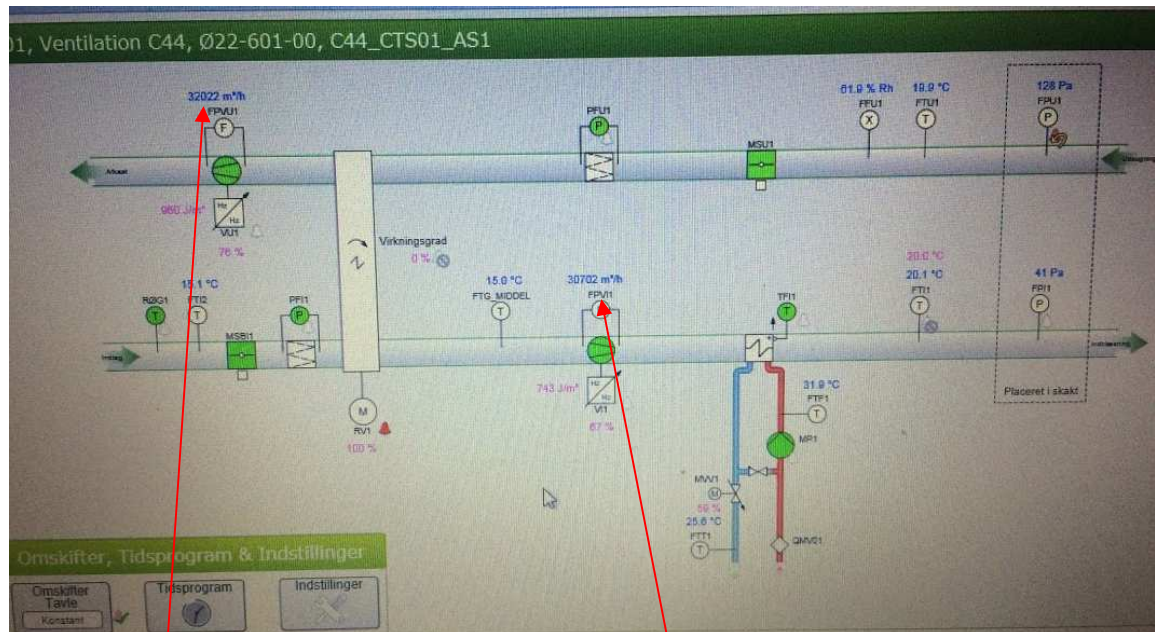
Målerapport Armatur / Volustat



Kunde	TC Anlæg	Arkiv Nr.:	2114164	Skema nr.	VE-01
Sted	Projekt navn	Anlæg	VE-01	Udført af	kab
Bygning	44	Placering	Stue	udført dato	Uge 37-2015
AO Nummer	Projektnummer	Side / Af		indbl. / Uds.	

Rum nr.	Vol. Nr.	Proj. m³/h	Målt Ind	Målt Ud	Diff ind	Diff Ud	afv.% ind	afv.% ud
Ø22-601b-1	A	1260	1230 ¹⁹ / ₄₂	1265 ²⁰ / ₆₈				
	B	1680	1630 ¹⁵ / ₈₈	1670 ¹⁵ / ₆₂				
	C	1680	1645 ¹⁵ / ₇₈	1675 ¹⁵ / ₆₈				
	D	1680	1650 ¹⁴ / ₇₉	1675 ¹⁵ / ₇₁				
Ø22-603-1	A	2200	2165 ²⁵ / ₉₃	2185 ²⁴ / ₆₈				
Ø22-604-1	A	2000	1716 ¹⁶ / ₁₀₀	1400 ¹⁰ / ₁₀₀				
	B	1000	995 ¹³ / ₇₇	890 ¹⁰ / ₁₀₀				
Ø22-606c-1	Kopi	200/250	205	290				
Ø21-606c-1	Toilet 1	0/70		28 ⁷ / ₇₈				
Ø21-606b-1	Toilet 2	0/70		28 ⁷ / ₇₈				
Ø21-606a-1	Forrum	100/0	100 ¹ / ₁₁₈					
Sum ind		11800	11354					
Sum ud		11890		11206				

Skærbillede af anlæg 1 kørende i 100 % Det vil sige, at alle zoner kalder på max. luftmængde, hvilket igen vil sige, at VAV-regulatorer får 10 Volt.

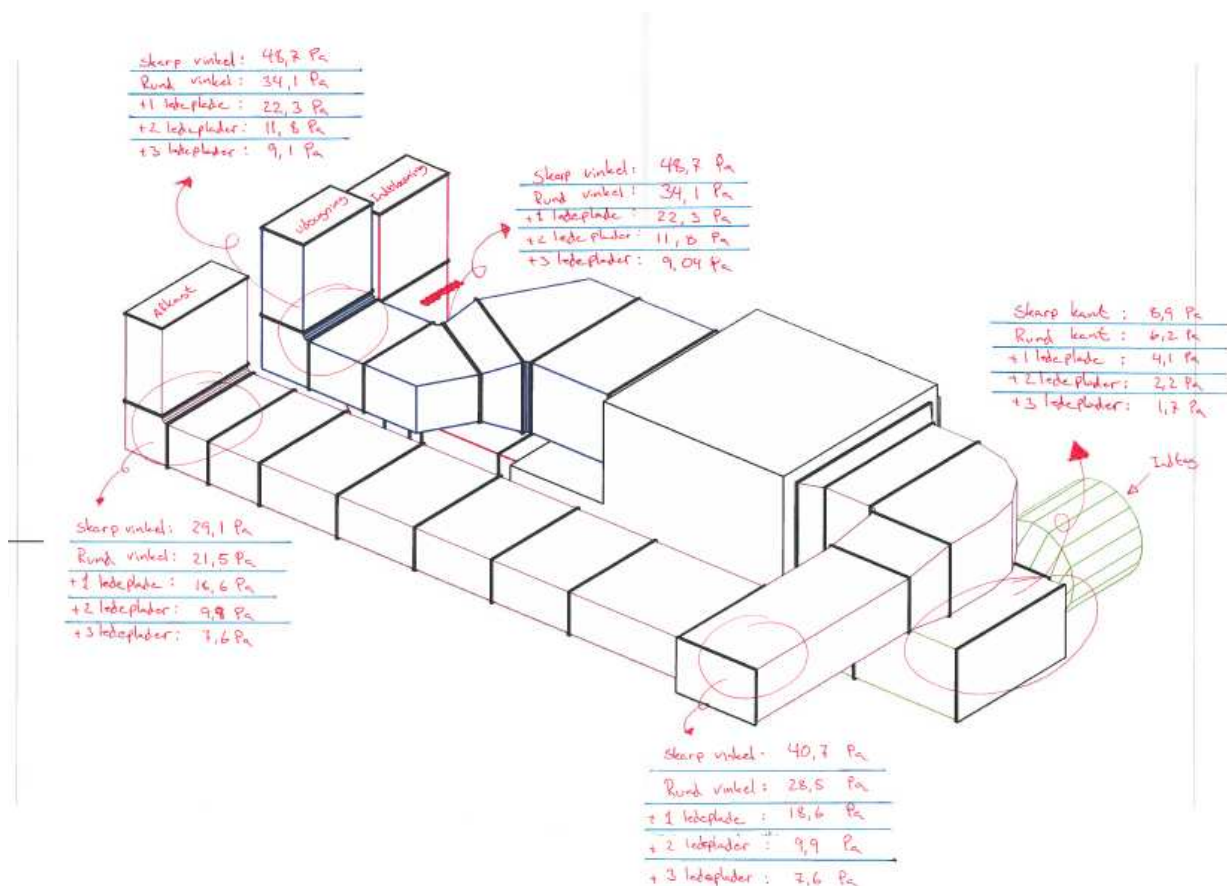


Afkast:
32.022 m³/h

Friskluft:
30.782 m³/h

8.4 Opsummering - fra detailprojekt til indregulering

- 1) Autocad-tegning som danner grundlag for projektering i 3D med alle installationer så "99 %" af kollisioner tages på tegnebrættet.
- 2) Teoretisk tryktabsberegning sammenholdt med cad-programmets beregning
- 3) Finjustering af kanalsystem så tryktab minimeres både på de enkelte etager men også på hovedkanaler i teknikrum. Her er et eksempel på vurdering af ledeplader i teknikrum.



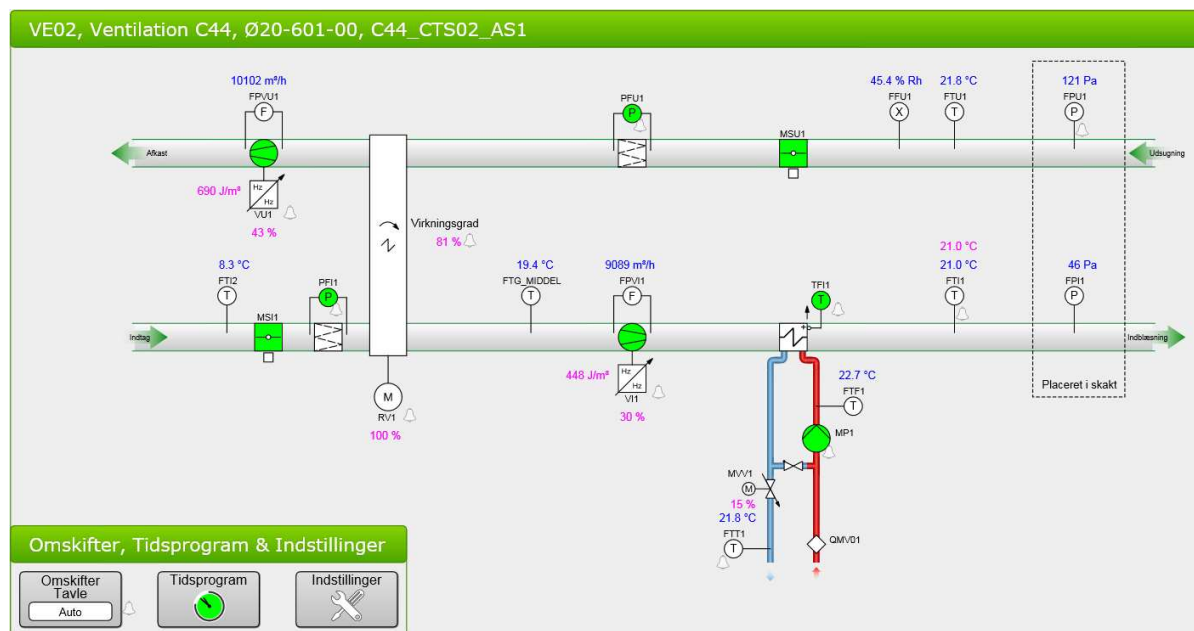
- 4) VAV-spjæld programmeres og spjældene KS-mærkes, så de er enstydige.
- 5) Efter montage trykprøves en del af kanalsystemet for lækagetjek.
- 6) Når alle armatur er monteret, opstartes anlæg og der holdes et konstant tryk med alle VAV-spjæld påsat 10V, svarende til den maksimale luftmængde.
- 7) Herefter skal alle VAV gennemgås med Belimo ZTH-instrument for at kontrollere om max-luftmængde er opnået, samt aflæse spjældstilling.
- 8) Den zone, hvor VAV er nærmest de 100 % åben stilling, er vores referencespjæld.
- 9) Opgaven er nu at drosle på ventilatoren via frekvensomformer, til spjældet nærmer sig de 100 %. Herved har vi fundet driftspunktet, og vi aflæser tryktransmitterens værdi. Dette tryk vil nu være konstant uanset luftmængden, der kaldes på i de enkelte zoner.
- 10) Til slut skal vi gennemgå samtlige VAV-spjæld igen og aflæse spjældstilling for eftervisning af, at ingen spjæld står 100 % åbne med det til følge, at der ikke er den projekterende luftmængde til stede.

9. VENTILATION – GRÆNSEFLADER TIL AUTOMATIK

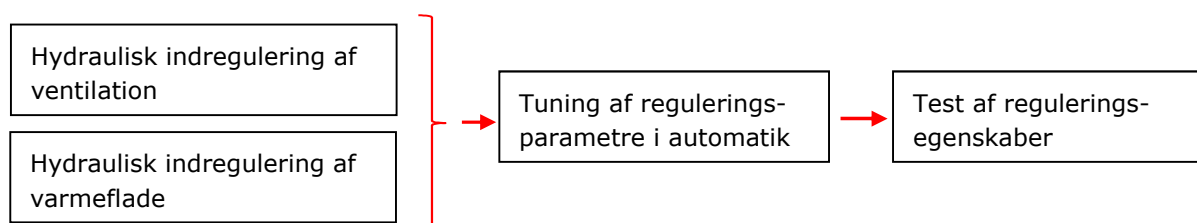
v. Johannes Thuesen, Rambøll

Bygningsautomatik er ikke valgt som tema i forbindelse med nærværende redegørelse. Men arbejdet med bygningsautomatik og grænsefladerne til de øvrige tekniske fag har spillet en meget stor rolle i projektforsløbet, og bygningsautomatikken har været afgørende i forbindelse med planlægning og udførelse af performancetests.

I det efterfølgende er valgt at vise et lille udpluk af dette arbejde: Reguleringsegenskaber for et enkelt af ventilationsaggregaterne, VE02.



En væsentlig parameter for et godt indeklima er, at indlæsningstemperaturen er relativt stabil. Ligeledes er det væsentligt, at trykkene i hovedkanalerne holdes stabile, så der ikke finder pendling sted i ventilatorernes omdrejningstal og kanaltrykket. Disse forhold blev testet efter at hydraulisk indregulering for ventilation og varmeblæser samt funktionsafprøvninger for automatikken var på plads:

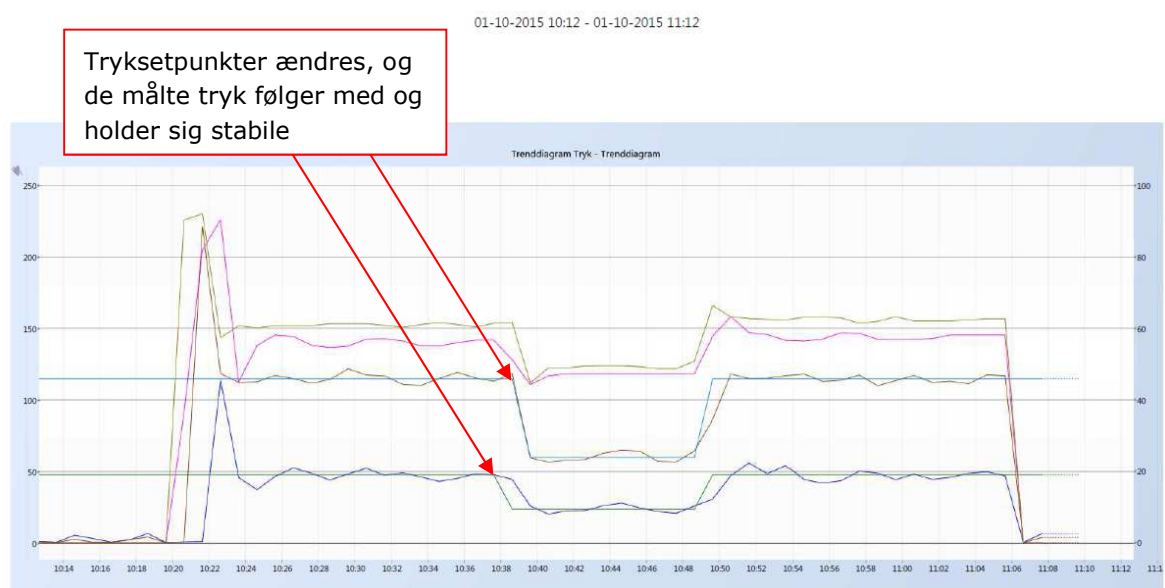


Den hydrauliske indregulering af luftmængderne for ventilationen er omtalt i forrige afsnit. Indregulering af varmeblæden for ventilation foregik ved indstilling af pumpetryk, strengreguleringsventiler og trykdifferensregulatorer på varmekredsen. Herefter blev foretaget justering af reguleringsparametre i CTS, med efterfølgende trimning.

Nedenstående kurve viser et eksempel fra testforløbet, hvor der blev udført stepresponse for indblæsningstemperaturen for at se, om den holdt sig stabil. Ønsketemperaturen (grøn kurve) hæves fra 18 til 23 °C. Rotorveksleren aktiveres (lyseblå kurve), herefter aktiveres motorventil til varmeplade (magenta kurve), og den målte temperatur (blå kurve) svinger ind og bliver stabil.



Tilsvarende blev reguleringsegenskaber for tryk undersøgt via stepresponse, for at sikre at anlægget i tilstrækkelig grad kunne reagere på trykændringer i kanalsystemet, og reguleringssigt være stabil efter eventuelle trykændringer.



10. SEL-FAKTORER

v. Johannes Thuesen, Rambøll og Karsten Bormlund, Bravida

10.1 Projektering med fokus på lav SEL-faktor

Følgende minimumskrav blev stillet til SEL-faktorer i forbindelse med projektering.

4.1.7	Projektering Iht. kap. 2 + 3 i nærværende arbejdsbeskrivelse. Aggregaterne og ventilatorer skal dimensioneres for: Maximalt specifik ventilatoreffekt, SFP og $SEP_{80\%}$ for ventilatorer i aggregater på henholdsvis 1800 J/m³ og 1725 J/m³.
--------------	--

Men ud over dette havde konsortiet interesse i at SEL-faktoren – inden for rimelige grænser – blev lav, idet der herved kunne reduceres på antallet af solceller på taget, da elforbruget til ventilation havde væsentlig betydning for det samlede energiregnskab for byggeriet.

Derfor blev allerede tidligt i projekteringsforløbet undersøgt, hvorledes de stillede krav til SEL-faktor kunne tilgodeses, og hvad der havde betydning, såvel i teori som i praksis. Det var desuden ønsket, at der var en vis sikkerhed indbygget i forhold til udfaldet af især performancetesten vedr. SEL-faktor.

Spørgsmål	Fokus
Hvad har betydning?	Med afsæt i teorien bag definering af SEL-faktor: $SEL = \frac{P_{ind} + P_{ud}}{qv} \quad [W/m^3/s \text{ eller } J/m^3]$ og effektforbrug P for ventilatorer: $P = \frac{qv \Delta p_{tt}}{\eta_{vtot}} \quad [W]$ blev fokus lagt på følgende i projekteringen: - En lav samlet trykstigning for ventilatorerne (=> lave tryktab internt i aggregater samt eksternt i luftindtag og -afkast, kanalsystemer, armaturer, VAV-spjæld, lyddæmpere). - En god totalvirkningsgrad for ventilatorerne (produktet af virkningsgraden for ventilator, motor, frekvensomformer). Så stor en del af den elektriske effekt som muligt skulle omdannes til hydraulisk effekt = trykstigning x luftflow. - En lav gennemsnitlig luftmængde i forhold til den maksimale luftmængde, som anlægget er udlagt for, vil reducere SEL-faktoren i den løbende drift.

10.2 Planlægning af målemetoder - hovedprojekt

Til opgørelse af SEL-faktoren var der brug for måling med passende nøjagtighed for:

- Luftmængde [q_v]
- El-effekt P [W]

I projektet var der brug for

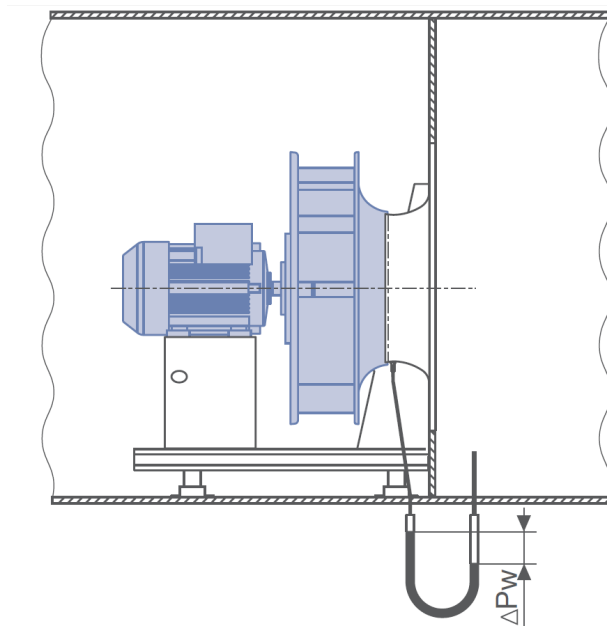
- eftervisning af SEL-faktorer til performance-tests inden aflevering af byggeriet
- løbende indikering af SEL-faktorer via CTS-brugerfladen.

Disse forhold blev gransket og planlagt i projekteringsforløbet.

Luftmængde - målemetode

I forbindelse med aggregaterne blev anvendt kammerventilatorer. Derfor blev ved opgørelse af luftmængden taget udgangspunkt i, at denne blev målt direkte via trykudtag for ventilatorerne, idet målemetoden er relativt enkelt, og samtidig har en rimelig præcision, så længe de af ventilatorleverandøren specificerede betingelser er tilstede.

Metoden tager udgangspunkt i, at der måles et statisk tryk *før* indløbet til ventilatoren, og et tryk *i* selve indløbsringen i det punkt, hvor luften bliver mest komprimeret, hvilket svarer til det sted i indløbsringen, hvor diameteren er mindst. Differenstrykket mellem disse to trykpunkter anvendes til beregning af flowet.



Princip for den anvendte målemetode for luftflow (ref. Ziehl-Abbegg)

I det aktuelle projekt blev anvendt ventilatorer af fabrikatet Ziehl-Abegg, der anbefaler målemetoden. Men målemetoden via trykudtag er anvendt af mange ventilatorleverandører.

Med afsæt i det målte differenstryk kan flowet opgøres via en faktor, der er specifik for den aktuelle ventilator – kaldet ventilatorens k -faktor:

$$q_v = k \cdot \sqrt{\Delta p_w}$$

I de ventilationsaggregater, det blev planlagt at anvende, forefindes i alt 4 ventilatorer pr. aggregat: 2 ventilatorer, der arbejder parallelt for udsugning, og tilsvarende 2 ventilatorer, der arbejder parallelt for indblæsning.

Dette forhold blev håndteret ved, at trykslangerne blev parallelkoblet til *begge* ventilatorer, der kører synkront. I princippet kunne man have nøjes med at måle differenstrykket i forbindelse med blot den ene ventilator, og herefter gange flowet med 2. Men da det var ukompliceret at udføre parallelkoblingen af slangerne, blev dette gjort, for at eliminere den usikkerhed, der kunne ligge i at den ene ventilator evt. ville flytte lidt mere luft end den anden.



Slanger for måling af differenstryk til opgørelse af SEL-faktor

Præcision for måling af luftmængder?

En væsentlig forudsætning for den anvendte målemetode er at have et jævnt luftflow foran indløbsringen for ventilatoren.

Tolerancerne på den anvendte målemetode angives af ventilatorleverandøren Ziehl-Abegg til at være +/- 8 %, dog vel at mærke under følgende forudsætninger:

- Luftflowet skal være mellem 15 % og 100 % af ventilatorens maksimale luftflow
- Ventilatorens arbejds punkt skal være inden for ventilatorkurven i kataloget
- Et jævnt luftflow uden turbulenser foran indløbsringen

For andre arbejds punkter for ventilatoren, eksempelvis under 15 % af ventilatorens maximum luftmængde, vil usikkerheden stige til omkring +/- 15 – 20 %.

I forbindelse med procesforløbet blev det accepteret, at den anførte målemetode havde tilfredsstillende validitet til formålet, og da den samtidig er relativt nem at håndtere blev metoden valgt.

Supplerende luftmålinger

Ud over de nævnte målinger af luftflow via ventilatorernes indløbsringe blev det besluttet at supplere med følgende målinger til yderligere verificering af flowene:

- Måling af hovedluftmængder i hovedkanaler (én kontrol af luftmængde målt via indløbsringe, udført for afkast, hvor der var 10 meter lige kanalstrækning)
- Summering af de luftflow, der måles via VAV-enheder

Måling af effekt

I forbindelse med projektet har været monteret bimålere for hvert ventilationsanlæg, inklusive tilhørende frekvensomformere m.v.

Disse bimålere er - sammen med et stort antal andre bimålere, der findes i bygningen - koblet op på Syddansk Universitets centrale energistyringssystem, der omfatter alle SDU's bygninger. Denne opkobling er foretaget med via M-Bus, hvilket gør, at bimålerne alene kan anvendes i forbindelse med dette energistyringssystem - signalet kan som udgangspunkt ikke "deles" og anvendes i forbindelse med den CTS-plattform, der blev etableret i forbindelse med SDU bygning 44.

Frekvensomformerne, som betjener hhv. indblæsning og udsugning for hvert aggregat, har mulighed for udlæsning af effekt. Forventningen var dog, at denne effektlæsning skal betragtes som vejledende. Derfor blev forhold omkring tolerancer undersøgt via leverandøren af omformerne, som er af fabrikat Schneider:

Frekvensomformerene beregner grundlæggende den effekt, der leveres til ventilatorenes motorer ("P2"). Den optagne effekt, der således inkluderer tabet i omformerne, beregnes i frekvensomformerne ifølge Schneider overslagsmæssigt ved, at der inkluderes et gennemsnitligt tab på 5 % i frekvensomformeren. Samlet angives en tolerance på effektmålingerne for frekvensomformerne på estimeret +/-10 %.

På baggrund af ovenstående blev følgende planlagt:

Performancetest inden aflevering	Løbende visning på CTS-brugerflade
Bimålerne, som måler effekt og energiforbrug for aggregaterne som helhed, anvendes til at måle den effekt, der indgik i performancetesten vedr. SEL-faktorer for ventilationsanlæggene.	- Da værdierne fra bimålerne som nævnt ikke kunne "genbruges" i CTS-systemet på grund af, at der er tale om M-Bus-målere, der skulle anvendes i SDU's centrale energistyringssystem, blev visning af SEL-faktorer via CTS-brugerfladen i stedet etableret via effektlæsningen fra frekvensomformerne. - Værdierne blev lagt ind separat for hhv. indblæsning og udsugning.

10.3 Anvendte virkemidler til optimering af SEL-faktor

Da elforbruget til ventilation – såvel i Be10-energiberegningen som i forhold til den praktiske drift for SDU – har en væsentlig betydning i det samlede energiregnskab for bygningen, blev der lagt særlig omhu i at sikre, at SEL-faktoren kunne blive relativt lav. Samtidig var det selvsagt relevant med et løbende fokus på, at der ikke blev anvendt unødvendigt dyre løsninger.

Processen med at finde frem til løsninger, der forventeligt ville give de ønskede resultater - teknisk, energimæssigt og investeringsmæssigt - blev løst i en successiv dialog mellem de projekterende (Rambøll) og de udførende (Bravida/Ventilation).

Proces samt virkemidlerne er omtalt i det efterfølgende.

Proces

SDU bygning 44 er udført under en meget stram tidsplan. Tidsplanen for selve udførelsen blev ydermere forkortet for at have den fornødne tid til planlagte test-aktiviteter, hvilket blandt andet inkluderede de udbudte performance-tests – heriblandt eftervisning af ventilationsanlæggenes SEL-faktorer. Den stramme tidsplan nødvendiggjorde, at ventilationsaggregater blev bestilt inden alle dele af de samlede ventilationsanlæg var projekteret færdig – idet aggregaterne skulle frem til pladsen og placeres i kælderen, inden der blev lagt dæk over kælderen.

Optimering af SEL-faktoren blev derfor udført i 2 trin:

1. Ved valg af aggregat – på baggrund af de dimensionerende luftmængder, og på baggrund af samlede, gennemsnitlige eksterne tryk på under 250 Pa.
2. Efterfølgende ved – i rimeligt omfang – at minimere tryktab i indtag, afkast, kanalsystemer, VAV-enheder, lyddæmpere, armaturer m.v. Dette blev blandt andet gjort ved at fokusere på de tryktabsmæssigt "kritiske veje" igennem systemerne.

Det er nærliggende, at ovenstående del af processen ikke er optimal. Det bør såvidt muligt tilstræbes, at det samlede kanalsystem inkl. alle tryktabsgivende komponenter er projekteret færdig og dimensioneret, således at det samlede tryktab for den kritiske vej igennem systemet kan opgøres og i relevant omfang optimeres inden endeligt valg af ventilationsaggregater.

Valg af ventilationsaggregater

Luftmængden for hvert aggregat er relativt tæt på hinanden, idet hvert aggregat så at sige betjener hver sin "kvadrant" i bygningen. Tidligt i forløbet, efter at der var udført indeklimasimuleringer, lå luftmængden således klar: Op mod 35.000 m³/h pr. aggregat.

På den baggrund blev via Bravida og aggregatleverandøren udført referenceberegninger med afsæt i forskellige eksterne tryk, og med afsæt i 2 forskellige aggregatstørrelser, som var på tale.

Som i eksemplet herunder, aggregatstørrelse NKG-08 ved et eksternt tryk på 350 Pa:

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

**ILK
INDUSTRI A/S**

Tekniske data	Indblæsning	Udsugning	Enhed / Fabrikat	
Ekstern tryk	350	350	Pa	
Aggregat tryk	207	187	Pa	
Total tryk stat. Starttryk	557	537	Pa	
Luftmængde / vægtet 80%	35000 / 28000	35000 / 28000	m ³ /h	
Specifik elforbrug 35000 / vægtet 80%	1783 / 1702 incl. omformer med 97% virkningsgrad		J/m ³	
Ventilator x 2	PF-900	PF-900	Ziehl abegg	Ziehl abegg
Omdrejninger	767	756	o/m	
Effektforbrug	4,2	4,0	kW	
Virkningsgrad, tot. hjul	76,300	73,8	%	
Dynamisk lufttryktab	28	28	Pa	

Tilsvarende blev udført referenceberegninger for 300 og 250 Pa eksternt tryktab for det pågældende aggregat, NGK-08. Som reference blev der endvidere udarbejdet beregninger på et aggregat én størrelse mindre: NGK-07.

SEL-faktorerne blev opgjort dels ved den nominelle luftmængde på 35.000 m³/h og dels ved den vægtede, gennemsnitlige luftmængde, der blev opgjort til 80 %, dvs. 28.000 m³/h.

Nedenstående skema viser en oversigt over referenceberegninger, udført for de to aggregatstørrelser ved hhv. 250, 300 og 350 Pa i eksternt tryk – og ved 80 % luftmængder, dvs. ca. 28.000 m³/h:

	Aggregat/kabinet		Reduktion	
	NKG-07	NKG-08	NKG-08 ift. 07	
Ekst. tryk	SEL	SEL	SEL	SEL
Pa	kJ/m ³	kJ/m ³	kJ/m ³	%
350	1,88	1,71	0,17	9
300	1,72	1,53	0,19	11
250	1,56	1,36	0,20	13

Som det fremgår, havde det største af aggregaterne en mærkbart lavere beregningsmæssig SEL-faktor ved samme eksterne tryk. Især ved det laveste af trykkene, 250 Pa.

Forskellene kommer især til udtryk på grund af mindre interne tryktab i det største af aggregaterne: Mindre turbulens, mindre tryktab over varmeplader, veksler, filtre osv.

I forbindelse med totalentreprisen var TC Anlæg bundet op på en samlet energiramme svarende til lavenergiklasse 2015, som byggeriet som minimum skulle leve op til. I forbindelse hermed blev udført opgørelser over

- merpriser for større aggregater med lavere SEL-faktorer, contra potentielle besparelser grundet færre solceller i regi af totalentreprisen.

Disse opgørelser viste at det (om end kun i mindre grad) var fordelagtigt internt for teknikentreprisen at tilvælge de energimæssigt bedre aggregater, frem for at skulle dække den beregningsmæssige forskel i energiberegningsprogrammet Be10 med flere solceller.

Der blev således valgt 4 ens ventilationsaggregater fra NK Industri A/S, med en nominel luftmængde på op til 35.000 m³/h.



Mærkeplade for indblæsningssektion for ét af de 4 ens aggregater

Ovenstående er et eksempel på, hvorledes en potentiel merinvestering, der afføder et lavere energiforbrug, faktisk kan være en fordel for en totalentreprenør, hvis der samtidig spares solceller, som totalentreprenøren skulle have monteret inden for rammerne af totalentreprisen.

Ovenstående var gældende rent Be10-teknisk – hvilket var det, som TC Anlæg i forbindelse med udbuddet i sidste ende blev "målt" på.

Men samtidig hermed er tiltaget en endnu større energiøkonomisk fordel i praksis for bygherre/SDU, idet værdien af den sparede elektricitet i den faktiske drift for aggregaterne er væsentlig større end den elektricitet, som de ekstra solceller ville kunne producere (At fordelingen er relativt større for bygherren/SDU end for totalentreprenør skyldes Be10-tekniske forhold – hænger sammen med tillæg for øgede luftmængder, som der efter beregningsreglerne gives i Be10 når luftmængder overstiger 1,2 l/s/m²).

Tryktabsberegninger på eksterne dele af anlægget

I projekteringen blev der udført tryktabsberegninger for de kritiske veje i forbindelse med ventilationsanlæggene. Tryktabene blev opgjort i forbindelse med de dimensionerende luftmængder i anlæggene – en situation der alene vil opstå i dele af sommeren, hvor der er behov for at tilføre relativt store mængder udeluft.

Tryktabsberegningerne blev udført i regneark, og med udgangspunkt i gængse formler samt ξ -værdier for enkeltmodstande m.v.

[illegible]

Tryktabsmæssigt kritiske veje blev fundet

De teoretiske tryktabsberegninger viste tryktab via den kritiske vej på mellem 175 og 210 Pa for indblæsningssystemerne som helhed inkl. luftindtag. Tilsvarende blev tryktabene for udsugningssystemerne inkl. afkast opgjort til mellem 255 og 290 Pa (som nævnt opgjort på baggrund af dimensionerende/fulde luftmængder for anlæggene).

Minimering af eksternt tryk

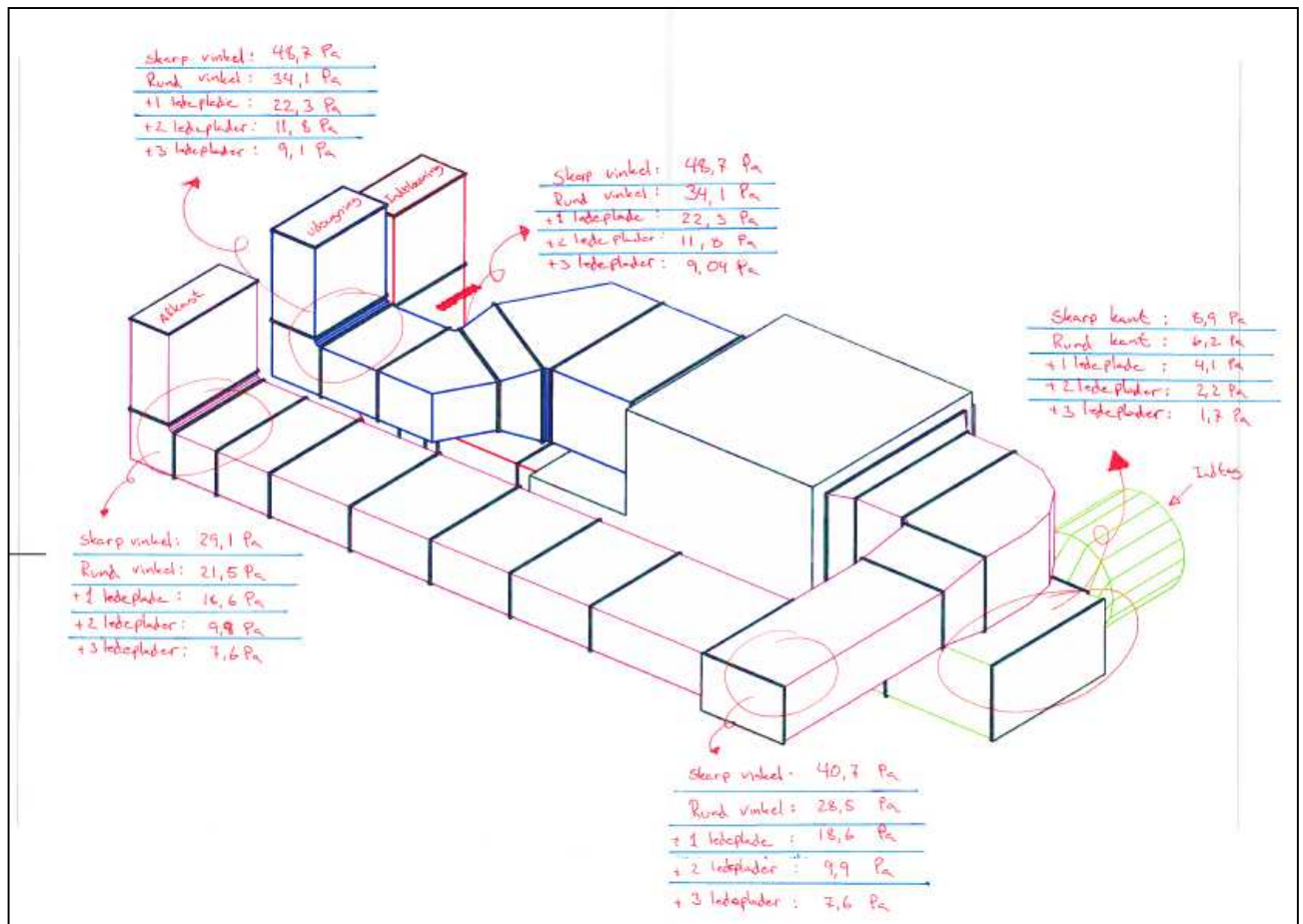
I projektet blev på baggrund af tryktabsberegninger for udvalgte komponenter samt dele af anlæggene løbende foretaget justeringer af dimensioner og komponentvalg, med henblik på at få en rimelig balance imellem lave tryktab og omkostningerne hertil. Eksempler herpå:

- Friskluftsindtag sker som tidligere nævnt gennem skorstene placeret ved øst facaden (VE01 og VE03) og gennem "lyskasser" ved vest facaden (VE02 og VE04). I forbindelse med skorstene for luftindtag blev udført beregninger på tryktab over de spalter, der findes i toppen af skorstenen for at sikre lav indtagshastighed (under 2 m/s) og lavt tryktab.



Skorstene for indtag, spalter i top

- Kanalsystemerne er generelt udført med specifikke tryktab på under 0,7 Pa/m. For kritiske bøjninger blev der anvendt runde i stedet for skarpkantede bøjninger, og for kritiske bøjninger blev anvendt ledeplader for minimering af tryktab.



Vurderinger af ledeplader i bøjninger

Ledeplader i forbindelse med kritiske bøjninger

10.4 Målinger og verificering af SEL-faktorer

I det efterfølgende er omtalt de værdier, der blev målt i forbindelse med performancetesten, og hvorledes værdierne er fremkommet.

Luftmålingerne blev som tidligere omtalt udført via ventilatorernes indløbsringe. Hovedluftmængderne beregnes via CTS-systemet, og vises løbende på CTS-brugerfladen.

Til sammenligning hermed blev foretaget en "manuel" sammenlægning af delluftmængderne i hvert system, målt via målekorsene i VAV-enhederne.

El-effekterne til dannelse af SEL-faktorerne blev dels målt i forbindelse med bimåleren for hvert ventilationsanlæg, og dels via frekvensomformerens effektudlæsning (tilført effekt til omformerne, idet hver frekvensomformer forsyner 2 ventilatorer, dvs. i alt 2 ventilatorer for indblæsning og 2 for udsugning pr aggregat).

El-effekterne aflæst via bimålerne for de samlede ventilationsanlæg var generelt tiltænkt performancetesten og den endelige eftervisning af SEL-faktorerne, mens effektudlæsningerne fra frekvensomformerne anvendes til løbende visning af SEL-faktor hvor hvert ventilatorpar i anlæggene.

I det oprindelige udbud var lagt op til, at der også skulle måles spænding for at sikre at spændingsvariationer såvidt muligt ikke bidrog til usikkerheder. Spændingen var dog generelt stabil for bygningen og for ventilationsanlæggene, og det blev vurderet, at de mindre spændingsvariationer, der måtte være, havde minimal betydning, hvorfor dette blev udeladt.

Målingerne blev udført dels for fuld luftmængde (100 %) og dels for 80 % luftmængde, hvilket er den gennemsnitlige luftmængde som det – primært på baggrund af indeklimasimuleringer og CO₂-beregninger for udvalgte rum - blev vurderet at anlæggene ville komme til at give.

Det fremkomne måleskema er vist herunder:

02-10-2015

02-10-2015

Anlæg	Projekteret luft Display CTS				Sum af delluft-mgd.	Sum af delluft-mgd.					Setpkt.	Setpkt.	Aflæs på frekvens omf. Kw	Aflæs på frekvens omf. Kw	Kw aflæst på bimåler
	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Ind	Ud	Hz	Hz	Pa	Pa	Ind	Ud	Ind+Ud
VE-01	30800	31120													
100%			31452	30608	30151	30879	730	980	33,6	36,5	40	130	6,3	8,2	14,4
80%			24921	25087			606	795	28,4	31,8	40	130	4,1	5,5	9,37
VE-02	34101	34151													
100%			33453	33960	33576	33604	804	926	34,8	37,7	48	115	7,4	8,6	16
80%			26700	27957			691	775	30,5	33,4	48	115	4,6	6,2	10,45
VE-03	35500	34250													
100%			33100	32920	34453	33204	984	883	36,9	39	50	112	8,1	8,9	17,08
80%			27400	29900			745	800	32	33,9	50	112	5,6	6,4	12,15
VE-04	31660	32470													
100%			30641	32616	31043	31527	841	927	35,3	37	57	110	7,1	8,4	15,44
80%															

Luftmængderne er dels vist som projekterede, og dels som målte via indløbsringe/CTS. Som det fremgår, er summen af de målte delluftmængder i god overensstemmelse med de luftmængder, der blev målt via indløbsringene.

De anførte J/m³ svarer til SEL-faktoren for hver ventilatorpar. Endvidere er anført aktuelle frekvenser samt tryksetpunkter for anlæggene.

De aflæste effekter på frekvensomformerne er indført for hhv. indblæsninger og udsugninger. Som det fremgår, var der en rimelig god sammenhæng mellem summen af effekter (ind + ud) aflæst via frekvensomformere og de effekter, der blev aflæst via bimålerne for de samlede anlæg.

SEL-faktor for 80 % driftspunkt for VE04 kunne ikke opgøres, da der blev arbejdet på IBI-zonerne den dag da nærværende målinger blive udført. Efter aftale med bygherre er VE02 anvendt som reference i dette driftspunkt.

SEL faktorer jævnfør performancetest er opgjort på baggrund af ovenstående, idet der, jævnfør vejledningen til energiberegningsprogrammet Be10, er anvendt de gennemsnitlige volumentrømme igennem ventilationsanlæggene (opgjort til 80 %).

SDU OU44

20/10 2015

SEL-faktorer opgjort

JHST

	100 % luftmængde			Bem.	Anvendes i Be10 80 % luftmængde		
	Max m ³ /h	kW	SEL		Max m ³ /h	kW	SEL
Anlæg							
VE01	31452	14,4	1,65		25087	9,37	1,34
VE02	33960	16	1,70		27957	10,45	1,35
VE03	33100	17,08	1,86		29900	12,15	1,46
VE04	32616	15,44	1,70				1,35
						Gns:	1,38

Den gennemsnitlige SEL-faktor er 1,38 kJ/m³. Denne er anvendt generelt i Be10 for de 4 ventilationsanlæg i forbindelse med "as buildt"-tilretning af energiberegningen.

For yderligere omkring ovenstående henvises til bilagene til redegørelsen.

11. TEMPERATURVIRKNINGSGRAD

v. Johannes Thuesen, Rambøll, og Karsten Bormlund, Bravida

11.1 Valg af temperaturvirkningsgrad

Temperaturvirkningsgraden for en genvindingsenhed er defineret som:

$$\eta t = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1} \quad [-]$$

hvor:

t_1 er udeluftens temperatur før veksleren [°C]

t_2 er udeluftens temperatur efter veksleren [°C]

t_3 er afkastluftens temperatur før veksleren [°C]

Der var i byggeprogrammet ikke defineret krav til temperaturvirkningsgraden som sådan, men der var krav om, at den valgte temperaturvirkningsgrad, som indgik i den samlede Be10 energiberegning for byggeriet, blev verificeret.

På den baggrund blev i projekteringsforløbet, i samarbejde mellem TC Anlæg, Bravida og Rambøll, aftalt at arbejde efter en temperaturvirkningsgrad på 83 % ved vægtet/gennemsnitlig luftmængde.

Rotorvarmeveksler, type	ST-3240
Temp. virkningsgrad 35000 / vægtet 80%	80,8 / 83,2
Fugtighedsvirkningsgrad	-
Temperaturændring	-12 / (13,8 / 14,6)
Fugtighedsændring	90/21
Kapacitet, entalpi	406
Lufttryktab	142

Aggregatleverandørens beregning af temperaturvirkningsgrad ved vægtet luftmængde på 80 %

Den valgte veksler var Eurovent-certificeret. Baggrunden herfor vil fremgå af det efterfølgende.



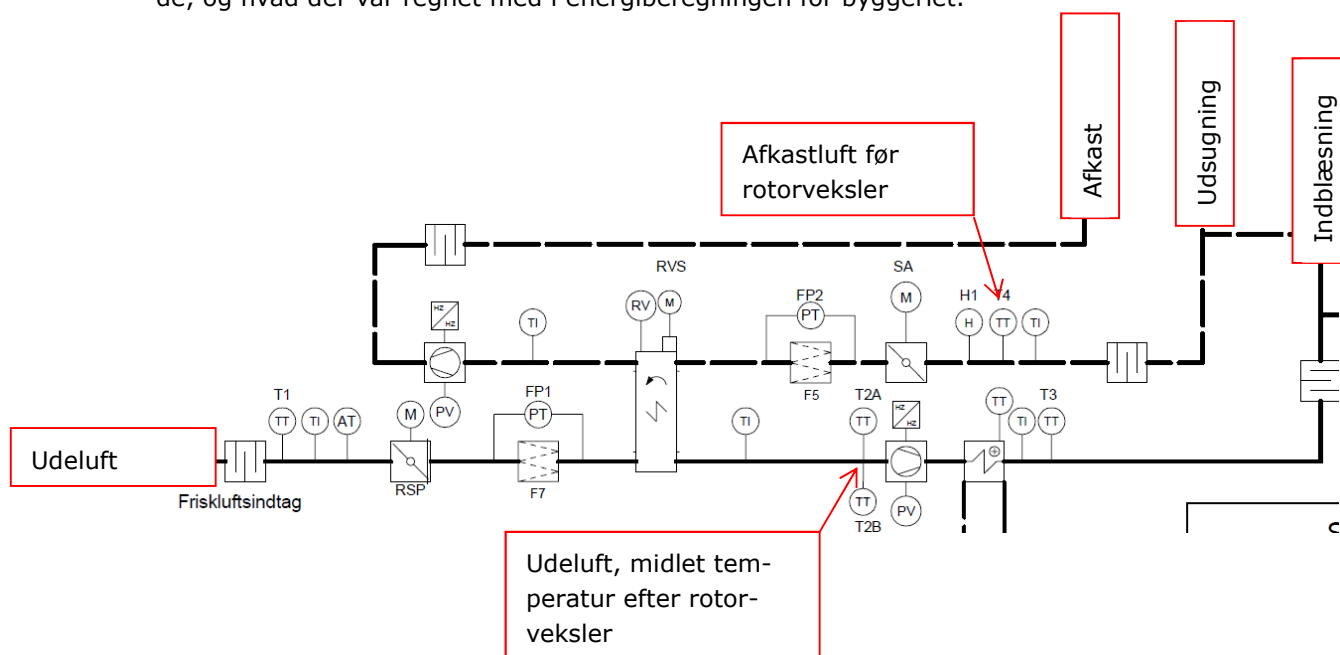
11.2 Planlægning af målemetoder - temperaturvirkningsgrad

I forbindelse med udbudsprojektet blev der stillet krav om verificering af temperaturvirkningsgraden for ventilationsanlæggene – således at der var overensstemmelse mellem den temperaturvirkningsgrad, der var anvendt i energiberegningsprogrammet Be10, og den faktisk målte inden for en tolerance på 3 %.

I forbindelse med de fokusmøder der blev afholdt, meldte der sig en række spørgsmål, der efter TC Anlæg-konsortiets vurdering vanskeliggjorde denne verificering:

- Usikkerheden på målingerne ville relativt set stige, når der ikke kunne testes under betingelser hvor temperaturforskelle mellem ude og inde er mindre end dimensioneringsforudsætninger
- Samtidig lå det klart, at det forventeligt havde betydning, hvor i kamrene efter rotorveksleren der måles, grundet rotorvekslerens virkemåde.
- I forbindelse med de valgte aggregater forefindes 2 ventilatorer pr. udsugningsdel og 2 ventilatorer pr. indblæsningsdel – hvordan skulle dette håndteres i forhold til placering af temperaturfølere? Placering i kammeret *efter ventilatorerne* var ikke ønskeligt, da man så ville få et temperaturmæssigt bidrag fra ventilatorerne. Selv om dette kunne håndteres beregningsmæssigt, var det en uønsket komplicering.
- Afslutningsvis lå det klart, at det ikke ville være muligt at eftervise en rimelig valid temperaturvirkningsgrad hvis ikke der var rimelig balance imellem indblæst og udsuget luftmængde. En målt temperaturvirkningsgrad ville eksempelvis falde, hvis der var overskud af indblæst luft i forhold til den udsugede mængde.

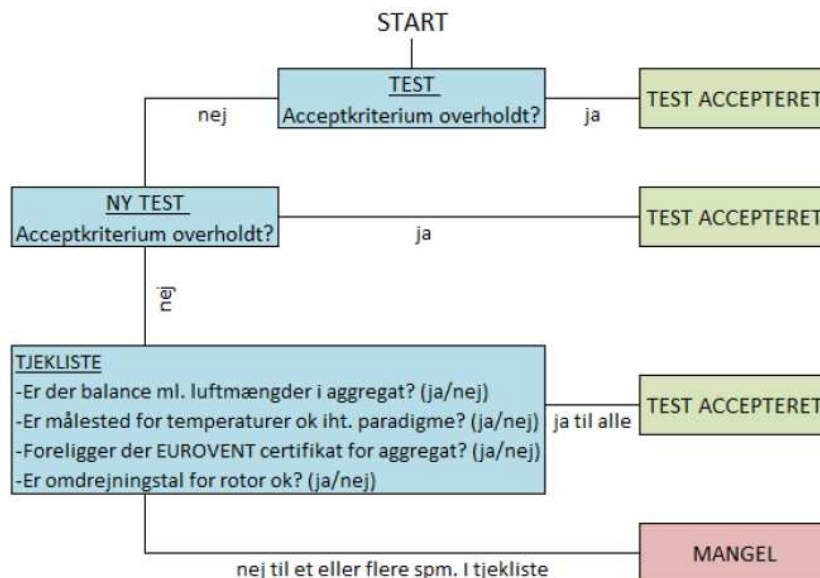
Det blev i løbet af granskningen klart, at det ikke var muligt at eftervise selve rotorvekslerens temperaturvirkningsgrad – isoleret set - med nær samme præcision som de tests, som udføres i forbindelse med Eurovent-certificering. Men samtidig lå bygherrens intention klar: At anlægget i praksis kom til at arbejde med en virkningsgrad, der var i god overensstemmelse med det lovede, og hvad der var regnet med i energiberegningen for byggeriet.



Resultatet af undersøgelserne blev følgende:

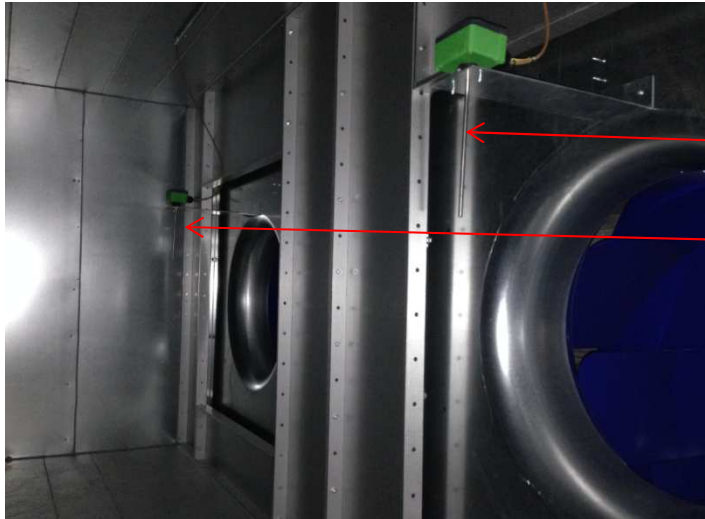
- Det blev planlagt at måle temperaturen 2 steder i udeluften *efter* rotorveksleren (t_2), nemlig tæt ved indløbet til hver af de 2 ventilatorer i indblæsningsdelen. Da den samlede luftmængde skulle igennem disse to ventilatorer, blev det vurderet relativt gunstigt at måle her, og samtidig midle disse to temperaturmålinger i CTS-anlægget. Denne kunne så sammen med temperaturen for udeluften (t_1) og temperaturen for afkastluften før rotorveksleren (t_3) anvendes til beregning af temperaturvirkningsgraden.
- Det blev således besluttet grundlæggende at fastholde eftervisningen af virkningsgraden, da denne måske ikke kunne give en "videnskabelig" eftervisning af den teoretiske temperaturvirkningsgrad for rotorveksleren, men dog kunne indikere andre fejl, eksempelvis ubalancer i luftmængder, at rotorvekslerens omdrejningstal ikke var korrekt m.fl. – forhold, der i praksis kunne have væsentlig betydning for det faktuelle fremtidige varmekonsum.
- Det blev dog samtidig besluttet at testen ville kunne accepteres, selv om testresultatet ikke ramte leverandørens beregnede værdi, hvis følgende lå klart, at:
 - Rotorveksleren var Eurovent-certificeret
 - At luftbalance var tilstede mellem indblæsning og udsugning
 - At målepunkter var placeret som aftalt
 - At omdrejningstal for rotorveksler var OK

Foranstående blev sammenfattet i et rutediagram, der blev tilføjet i testparadigmet vedr. temperaturvirkningsgrad for ventilation:



11.3 Udførelse og fysisk indbygning af følere

Temperaturfølerne blev indbygget som planlagt, i henholdsvis indtag for udeluft (t_1), i udeluften efter den roterende varmeveksler (2 temperaturfølere, hvis værdier midles, t_2) samt udsugningsluftens temperatur før rotorveksleren (t_3).



Temperaturfølere i udeluft efter opvarmning via roterende varmeveksler, placeret foran indløb til hver kammerventilator. De to temperaturføleres visning midles, og anvendes i beregningen af temperaturvirkningsgraden

Kammeret for friskluft, opvarmet efter rotorveksler – men før varmeplade

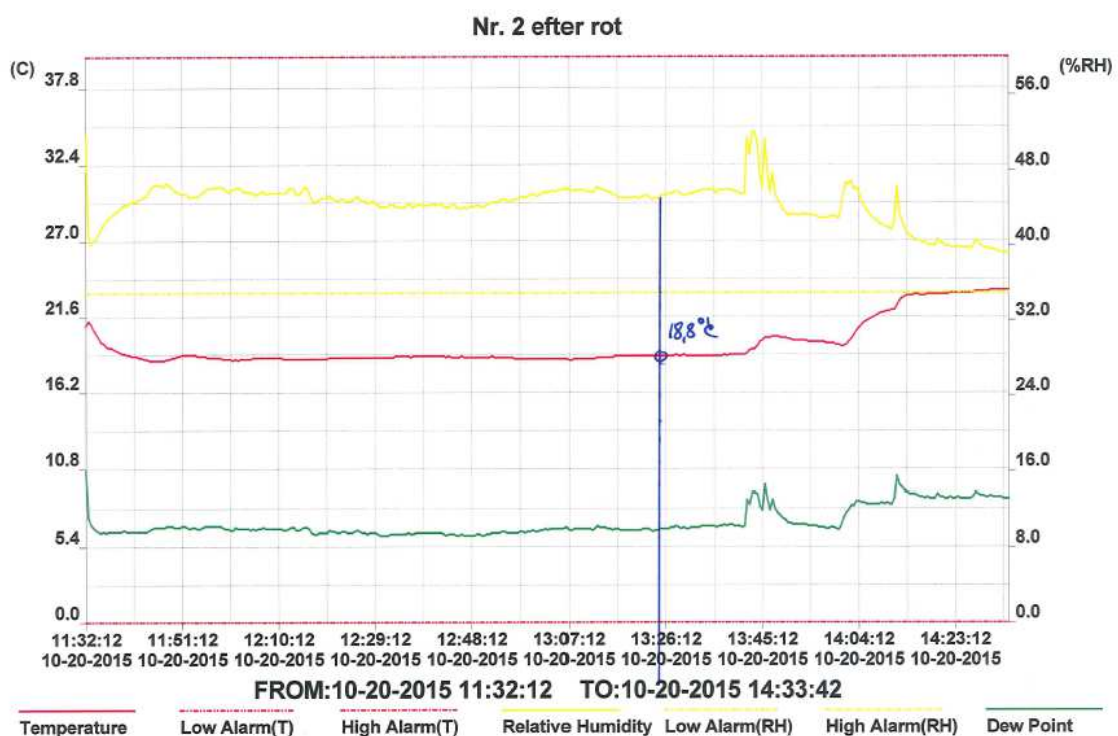
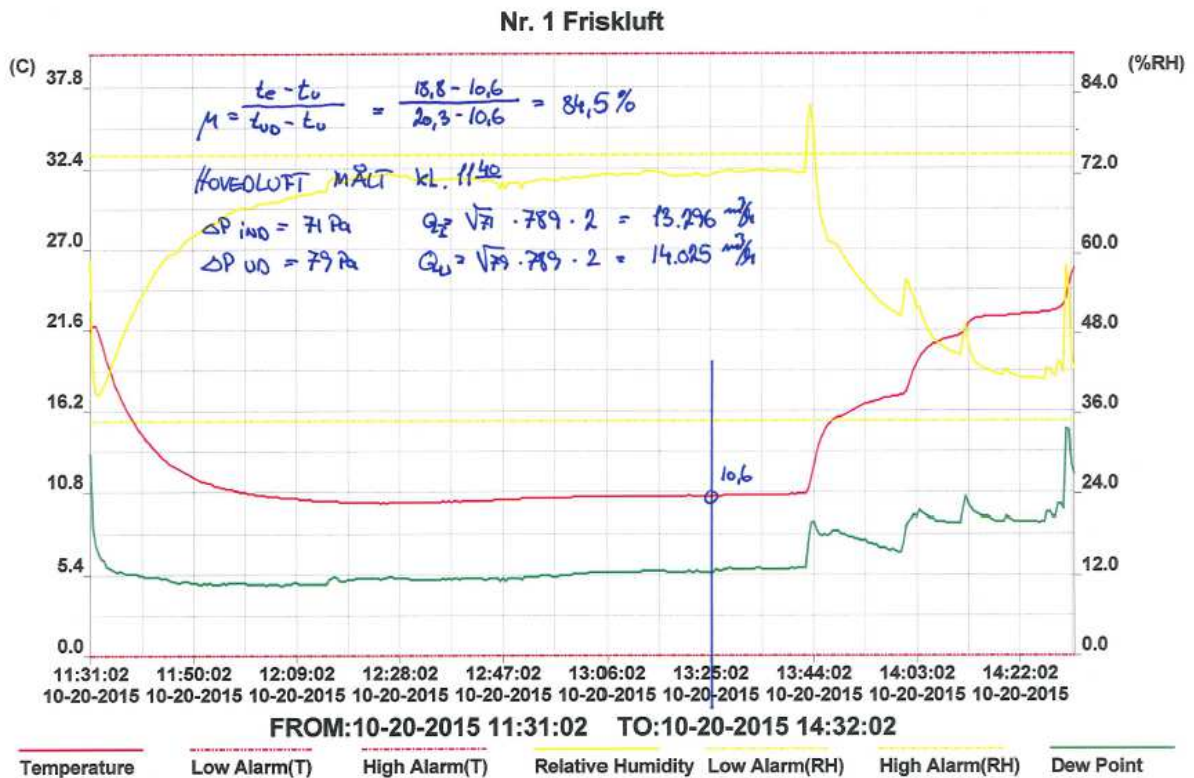


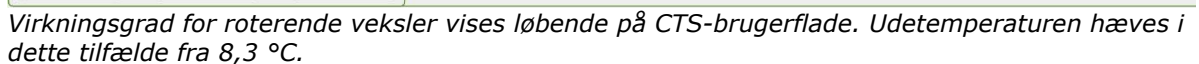
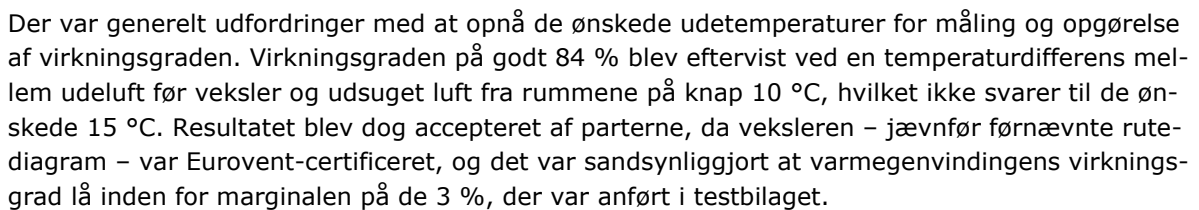
Samme kammer som foranstående billede, men for rotorveksler ses – friskluft opvarmet af rotorveksler

11.4 Måling og verificering af temperaturvirkningsgrad

Temperaturvirkningsgrad blev verificeret dels vi de fastmonterede temperaturfølere i aggregatet, og dels ved, at der blev kontrolleret med eksterne temperaturloggere, der blev indsat i aggregatet.

Efterfølgende diagrammer viser frisklufttemperatur, temperatur efter veksler og udsugningstemperatur på baggrund af Bravidas eksterne logninger af temperaturer:





12. FØRSTE DRIFTSPERIODE: VARMEFORBRUG

v. Thomas Rysgaard, Bygningsstyrelsen og Max A. Jørgensen, SDU

På tidspunktet for udgivelsen af dette dokument findes der begrænsede data for bygningens første driftsperiode, som er analyseret tilstrækkeligt til, at der kan uddrages håndfaste konklusioner. Dog er data for bygningens samlede energiforbrug mht. varme tilgængelig via bygningens afregningsmåler. Nedenfor er indsat skærmpoint fra SDU's energistyringsprogram, som overvåger bygningens energiforbrug via målere. Det indsatte skærmpoint viser det graddagekorrigerede varmekorrigeret forbrug målt for hele bygningen samlet, dvs. målt på afregningsmåleren (GUF = 10 %).

Forbrugsrapport

OD.C44.VA.1587.Hovedmåler

03-2015 -> 02-2016

Fjernvarme [MWh]

Forbrug i parentes indikerer, at perioden ikke er fuldt afsluttet.

Totaler reflekterer afsluttede perioder 1. marts 2015 til 29. februar 2016

Farveindikationer på afvigelser er givet i forhold til en grænse på $\pm 10\%$.

Periode	Kor. forbrug	Forbrug	Ref.	Afkøling
Mar. 2015				
Apr. 2015				
Maj 2015				
Jun. 2015				
Jul. 2015				
Aug. 2015				
Sep. 2015				
Okt. 2015	[27,99 !]	[27,19 !]	[693,00] m³	33,7 °C
Nov. 2015	50,43	40,54	925,14 m³	37,7 °C
Dec. 2015	66,29	46,86	1.171,88 m³	34,4 °C
Jan. 2016	71,36	68,89	1.507,64 m³	39,3 °C
Feb. 2016		[20,75 !]	[500,84] m³	35,6 °C
Total	216,06	[204,23]	[4.798,50 m³]	37,3 °C
Prognose	423,11	344,57		

Når vi sammenholder det målte forbrug med det som er beregnet i forbindelse med projekteringen, ser vi, at det faktiske forbrug er omtrent 10 % højere, når der ses på afregningsmåleren, dvs. når der ses på bygningens totale energiforbrug. En afvigelse på 10 % er væsentlig mindre end de store afvigelser som tidligere er set i lavenergibyggeri.

Herunder er indsat et skærmpoint fra Be10, til brug for sammenligning:

Model: SDU OU44_Be10_opd; faktisk driftstid													SBi Beregningskerne 7.14.5.22
Be10 resultater: SDU OU44													
Energibehov													
MWh	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec	Året
Varme	63,82	55,29	49,76	33,00	19,63	0,50	0,51	0,51	21,32	34,19	47,05	59,36	384,94
El til bygningsdrift	14,61	12,13	12,26	11,10	11,39	13,00	13,63	13,97	11,83	13,07	13,83	15,12	155,93
Overtemperatur i rum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tallene viser os, at der formentlig kan optimeres på bygningens driftsforhold, sådan at det faktiske energiforbrug bringes ned til det beregnede, og formentlig også ned under det beregnede. Den omfattende verificering af bygningens energieffektivitet viser os, at selve bygningens energimæssige performance er i orden og veldokumenteret. Umiddelbare indikationer på hvordan forskellen kan forklares, kan blandt andet søges inden for disse områder:

- Varmluftstæpper ved indgangspartier, hvor den praktiske brug af bygningen måske foregår sådan, at indgangspartier er mere åbne end det er forudsat i beregningerne.
- Øget driftstid på bygningen, dvs. "længere åbningstid".
- Behov for indkøring af kalenderbookningssystemet, hvor brugere måske booker lokaler mere end der reelt er behov for.
- Behov for trimning af setpunkter i installationerne, dvs. temperatursæt osv.
- Umiddelbart lidt for lav afkøling på den samlede varmeinstallation. Bygningen er opført med relativt store radiatorarealer, og forbrugsmålinger bør vise en relativt høj afkøling.

Forudsætninger for sammenligninger fremgår herunder. Be10 beregning er opdateret med lidt ændret rumtemperatur og lidt ændret brugstid på bygningen, jf. skærmpoint herunder:

temperaturer

Setpunkter, °C

Opvarm.	Ønsket	Nat. vent.	Køling	Lager opvarm.
22	23	24	25	15

Dimensionerende temperaturer, °C

Rumtemp.	Udetemp.	Lagertemp.
22	-12	15

OK Cancel

SDU OU44_Be10_opdateret JHST_11-11-2015_klasse2020_fuld luftmængde og faktisk driftstid.xml - Be10

Filer Rediger Vis Hjælp

SBI anvistning 213: Bygningers energibehov, Be10

SDU OU44

- Klimaskærm
 - Ydervægge, tage og gulve
 - Skema 1
 - Skema 2
 - Fundamenter mv.
 - Skema 1
 - Vinduer og ydervæge
 - Skema 1
 - Skema 2
 - Skema 3
 - Skema 4
 - Skema 5
 - Skema 6
 - Skygger
 - Skema 1
 - Skema 2
 - Skema 3
 - Skema 4
 - Skema 5
- Uopvarmede rum
- Sommerkomfort
- Ventilation
 - Skema 1
- Internt varmetilskud
 - Skema 1
- Belysning
 - Skema 1
- Andet elforbrug
- Parkeringskældre mv.
- Mekanisk køling

Bygning

Navn: SDU OU44

Andet

Fritliggende bolig (fritliggende enfamiliehus)
Sammenbyggede boliger (fx dobbel-, række- og kædehuse)
Etagebolig, Lager mv eller Andet (ikke bolig)

	1	2	3	4	5	6
Antal boligenheder	356					
Opvarmet etageareal, m²	7466	8468				
Opvarmet kælder, m²	2004	0				
Varmekapacitet, Wh/K m²	100					
Normal brugstid, timer/uge	65					
Rotation, °						
Bruttoareal, m²						
Andet, m²						
Start, kl.						
Slut, kl.						

Varmeforsyning

Fjernvarme Basis: Kedel, Fjernvarme, Blokvarme eller El

☐ Varmefordelinganlæg (hvis elvarme)

Bidrag fra (i prioritets-orden)

☐ 1. Elektriske ☐ 2. Brændeovne, gasstrålevarmere og lign.
☐ 3. Solvarme ☐ 4. Varmepumpe ☒ 5. Solceller ☐ 6. Vindmøller

Samlet varmetab

Transmissionstab 88,3 kW 10,4 W/m²
Ventilationstab uden vgv 987,7 kW 116,6 W/m² (om vinteren)
I alt 1076,0 kW 127,1 W/m²
Ventilationstab med vgv 225,0 kW 26,6 W/m² (om vinteren)
I alt 313,4 kW 37,0 W/m²

Beregningsbetingelser

BR: Aktuelle i Se beregningsvejledningen

Tilæg til energirammen for særlige betingelser, kWh/m² år

17

(Kun mulig for andre bygninger end boliger og beregningsbetingelser: BR: Aktuelle forhold)

Mekanisk køling

0 Andel af etageareal, -

Beskrivelse
Kommentarer

Transmissionstab

For klimaskærmen ekskl. vinduer og døre

3,1 W/m²

Sammenfattende synes det at kunne konkluderes, at selvom performance test er bestået på de områder som vedrører bygningens performance før brugerne flytter ind, er der et behov for at trimme installationerne, så det matcher bygningens brug helt optimalt. En sådan trimning tager afsæt i den konkrete drift situation og indebærer valg af optimale setpunkter osv.

13. FØRSTE DRIFTSPERIODE: VENTILATION OG OPLEVET FUNKTIONALITET

v. Bo Nørregaard Jørgensen, SDU Center for Energy Informatics

Bygning OU44 har nu været i drift i en periode (november 2015-januar 2016), og det er muligt at danne sig et billede af, hvordan bygningen performer i brug. Indtil nu har bygningsafdelingen på SDU være meget tilfredse med bygning OU44 og driften af denne. Der har været færre indkø-rings- og startvanskeligheder ved denne bygning, end de normalt oplever. Bl.a. oplever man typisk problemer, når to styringssystemer skal tale sammen. I OU44 er der ikke bare tale om to systemer, der skal tale sammen, men hele tre, og alligevel har det givet anledning til færre pro-blemer end bygningsafdelingen er vant til. Dette skyldes bl.a., at man har haft midlertidige net-værk tilgængelige i bygningen, indtil der var installeret fiber, og man kunne derfor hurtigere komme i gang med at integrere og afprøve de tre systemer op mod hinanden.

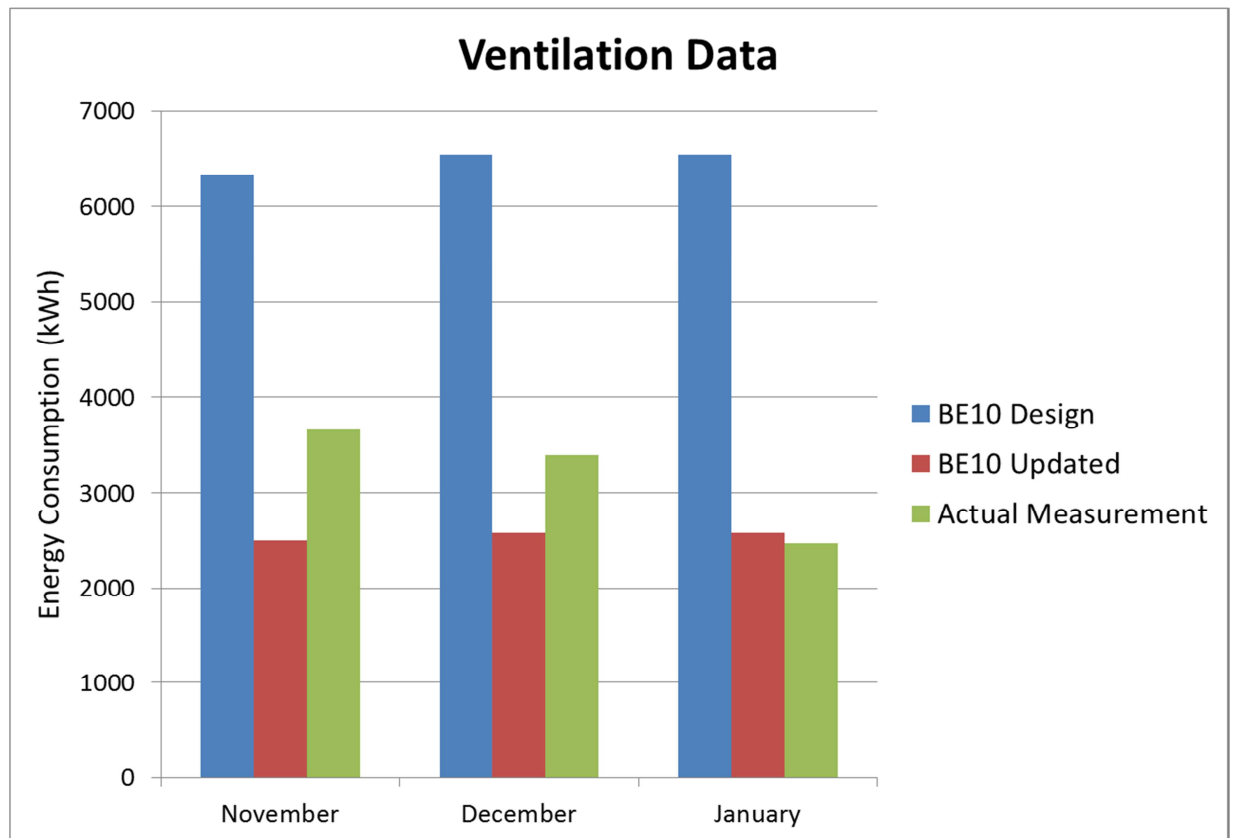
Desuden har man oplevet markant færre klager over bygningens indeklima og funktionaliteter, end man normalt oplever i SDUs bygninger. De klager, der har været, går på bookingsystemet. I bygning OU44 er det ikke muligt at starte varme, ventilation og lys med mindre lokalet er booket. Dette gav i starten en del udfordringer med at vende brugerne til at booke de nødveni-dige lokaler på forhånd, og det har nu resulteret i, at alle lokaler er booket hele tiden, da man hel-lere booker en gang for meget end en gang for lidt. Denne udfordring bør løses, da det er med-virkende til at bygningen performer dårligere end ventet. Alligevel mener bygningsafdelingen, at der er penge at spare, hvis man udruller bookingsystemet til alle SDUs 99 undervisningslokaler. Det har desuden været nødvendigt at hæve temperaturen i undervisningslokalerne fra 21 grader til 22 grader, da brugerne sad og frøs. Dette har også medvirket til et højere energiforbrug end estimeret.

Ud over de nævnte udfordringer er bygningsafdelingen meget tilfredse med bygning OU44, og de hører kun sjældent fra brugerne, hvilket er et godt tegn, da brugerne normalt er hurtige til at klage, hvis de er utilfredse.

Der er fire ventilationsenheder i bygningen: VE01, VE02, VE03 og VE04. Elektricitetsforbruget for hver enhed er præsenteret herunder:

Enhed	Måler navn	Nov.	Dec.	Jan.
VE01	Bimåler VE01 i CTS-tavle	813.24	874.75	536.54
VE02	Bimåler VE02 i CTS-tavle	932.39	825.15	542.18
VE03	Bimåler VE03 i CTS-tavle	844.73	728.8	602.91
VE04	Bimåler VE04 i CTS-tavle	1071.9	964.85	782.23
Total		3662.26	3393.55	2463.86

Som vist i fig. 1 nedenfor, er det beregnede energiforbrug til ventilation i den opdaterede BE10 model inden for den acceptable afvigelse sammenlignet med målingerne. Afvigelsen er på 30% i november, 23% i december og kun 4% i januar. Der knytter sig forskellige usikkerheder til sam-menligningerne, herunder også i forhold til hvordan Be10 opdateres på baggrund af de faktiske driftsforhold.



Figur 1: Elektricitetsforbrug i ventilationssystemet

14. PERSPEKTIVERING -> VIDERE UNDERSØGELSER

v. Johannes Thuesen, Rambøll

I forbindelse med projektering og udførelse af OU44 er vi i procesforløbet stødt på muligheder vedr. yderligere optimering af bygningens energiforbrug, der ikke er implementeret, men som kunne foreslås undersøgt og afprøvet. Eventuelt i forbindelse med det igangværende forskningsprojekt hos Syddansk Universitet, som blandt mange andre bygninger også inkluderer OU44.

En mulighed kunne også være at gøre nogle af temaerne til genstand for projektarbejder for studerende.

Det står klart, at der foreligger omfattende planer vedr. undersøgelser og forskning, der påtænkes udført i forbindelse med OU44. De anførte punkter herunder vil sikkert overlappe en del i forhold til dette.

Glidende trykregulering for ventilation

Jævnfør afsnittet om SEL-faktorer har trykket for ventilationssystemer væsentlig betydning for elforbruget. Samtidig er der ikke behov for samme eksterne tryk i ventilationsanlæggenes hovedkanaler ved små luftmængder, som når der er brug for maksimale luftmængder i en varm sommersituation.

Elforbruget til ventilation ville kunne minimeres ved etablering af "glidende trykregulering", eksempelvis på basis af at BMS-systemet løbende "ser" på åbningsgraden for VAV-spjældende inden for hvert aggregats dækningsområde. Princippet er anvendt i andre byggerier. Tiltaget vil kræve tilretninger i CTS.

Tab i centralt brugsvandssystem for OU44

Testforløbet i forbindelse med det varme brugsvand viste, at energitabene i forbindelse med det centrale brugsvandssystem var noget større end beregnet. I forbindelse med Be10 energiberegningen for byggeriet blev der derfor kompenseret herfor. I testbilaget for eftervisning af tabene i brugsvandssystemet er anført en række mulige forklaringer herpå, men forholdet er ikke undersøgt til bunds.

Det kunne foreslås at undersøge dette nærmere via målinger og mere detaljerede beregninger af tabene, jævnfør de mulige forklaringer i testbilaget. Et interessant spørgsmål er her, om det er en generel tendens, at tabene i forbindelse med brugsvandssystemer undervurderes i forbindelse med energiberegninger.

Natsænkning - varme

En af tankerne bag rumstyringerne som OU44 er, at booking af rummene kan være med til at minimere det samlede energiforbrug. Hvis rummet ikke anvendes, skal rummet overgå til en tilstand, hvor der bruges mindst mulig energi.

Denne tanke fungerer i forbindelse med elforbrugende udstyr samt ventilation/VAV, men når det drejer sig om varme, er dette mere problematisk, da "bookingstrategien" ikke på enkel vis spiller sammen med den måde, at godt indreguleret varmeanlæg med udetemperatur-kompensering fungerer på. Temperaturen kan – især med det lave temperaturniveau 45/30 °C, som der p.t. arbejdes med i OU44 – ikke hæves eksempelvis 2 eller 3 °C på kort tid. Det tager på grund af trægheden i varmeanlæggene mange timer at hæve temperaturen tilfredsstillende.

I praksis er det derfor valgt slet ikke at natsænke på rumniveau for OU44 i den første tid efter ibrugtagning. Om der eventuelt i fremtiden vil kunne natsænkes en smule på rumniveau uden for booking – eksempelvis 1,0 eller 1,5 °C - foreslås afprøvet.

Der findes en række strategier og metoder for natsænkning af bygninger – ofte på blandesløjfe-niveau – som det vil føre for vidt at komme ind på her. Det foreslås at undersøge og afprøve forskellige strategier i forbindelse med OU44. Tiltaget vil kræve tilretninger og/eller justeringer i CTS-programmerne.

Det er indtrykket, at det er meget forskelligt, hvordan natsænkning i praksis håndteres i forskellige bygninger i Danmark, og hvor heldigt det falder ud, idet der kan opstå risici for gener for de daglige brugere, periodevis forringet afkøling i fjernvarmeområder m.v.

Centralt styret behovsstyring via booking - contra rene decentrale behovsstyringer

Hos OU44 søges energiforbruget som nævnt minimeret via et bookingsystem, der korresponderer med knx, der styrer lys, ventilation og varme.

Måden at håndtere dette på er ny, og har derfor i praksis været relativt arbejdskrævende for de implicerede parter, især i udførelsesfasen, hvor en del tekniske grænseflader skulle håndteres for at systemerne kunne arbejde sammen. Det må samtidig formodes, at der vil være et vist arbejde med at holde disse systemer kørende drifts- og servicemæssigt.

Hvis der, jævnfør tidligere, ikke natsænkes på rumniveau, fordi dette giver indeklimamæssige udfordringer, står tilbage primært ventilation og belysning, der i praksis behovsstyres via bookingsignal. Spørgsmålet er, om der via *rene decentrale behovsstyringer* vil opnås omtrent de samme energibesparelser, som når de decentrale behovsstyringer kombineres med bookingsystemet.

Spørgsmålet bliver formentlig undersøgt i forbindelse med forskningsprojektet, der omfatter OU44. Totaløkonomi ses som et nøgleord i den forbindelse. Herunder ekstra etableringsomkostninger samt den tid, der bruges på at betjene og servicere systemet i det daglige.

Ventilation, større tryktab for udsugning ind for indblæsning

I forbindelse med indreguleringen af ventilation var der ikke i alle tilfælde veldefineret overensstemmelse mellem de teoretisk beregnede tryktab og de praktisk målte værdier. Det generelle billede har været, at der var større tryktab end forventet på anlægssiden for udsugning end for indblæsning – om end trykniveauerne i alle tilfælde har været nede på et niveau, der samlet set har givet lave SEL-faktorer.

De nærmere årsager hertil er ikke undersøgt detaljeret i forbindelse med projektet, men forholdet kunne efter Rambølls og Bravidas opfattelse være interessant og relevant at undersøge nærmere via flere målinger og beregninger af trykforhold. En mulighed kunne være at gøre forholdet til genstand for et projektarbejde for studerende i bygningen.

Korrekt indregulering ved nyt temperatursæt

Varmeanlæggene er dimensioneret for et meget lavt temperatursæt, nemlig 45/30, idet tanken var at det – hvis aktuelt – skulle være muligt at varmforsyne bygningen med lavtemperaturvarme fra et varmepumpeanlæg. Eksempelvis i form af overskudsvarme fra et større serverrum, hvilket der på et tidspunkt i projektforløbet var planer om at etablere i kælderen i OU44.

Aktuelt er bygningen nu tilkoblet fjernvarmesystemet, men det er aftalt, at lavtemperaturdriften alligevel gennemføres over ét år, så man hos SDU kan få driftserfaringer hermed. Varmeanlæggene er derfor også beregnet og indreguleret svarende til det lave temperatursæt. Alle ventiler, pumper og returkoblinger ved radiatorer er indstillet til at kunne yde den nødvendige effekt ved de relativt store vandmængder.

Efter et års drift ønsker SDU at overgå til "normal lavtemperatur fjernvarmedrift", svarende til den af Fjernvarme Fyn angivne fremløbstemperatur på 60 °C. Der gøres opmærksom på, at forindstillinger for varmeanlæggene ved denne overgang bør regnes om, og efterfølgende fysisk stilles om - idet vandmængderne omtrent vil blive halveret. Efter denne fornyede indregulering kan forventes en *særdeles god* afkøling af fjernvarmevandet.

Plantevægsbelysning

Plantevæggen giver et væsentligt bidrag til en god oplevelse, når man kommer ind i atriet. Energimæssigt er plantevægsbelysningen ikke helt ubetydelig, selv om der er anvendt *relativt* energivenlige metal-halogenlamper til formålet. Det samlede effektoptag er samlet ca. 4 kW i drift. Med en driftstid, der p.t. er årligt ca. 4.000 timer, udgør elforbruget ca. 16.000 kWh/år, svarende til 4 parcelhuses forbrug årligt.

Muligheden for anvendelse af LED-lamper blev undersøgt i forbindelse med projektet, men det var ikke muligt at finde frem til lampetyper der æstetisk var acceptable, og som leverandøren af plantevæggene samtidig kunne stå inde for.

I det aktuelle byggeri har det selvsagt betydning at finde frem til en driftsstrategi, der på den ene side giver en god sikkerhed for at plantevæggen overlever (udskiftning af planterne er kostbar) og på den anden side ikke giver et unødvendigt overforbrug. I væksthuse anvendes eksempelvis lyssum-styring til løbende optimering af, hvor meget kunstlys der tilsættes.

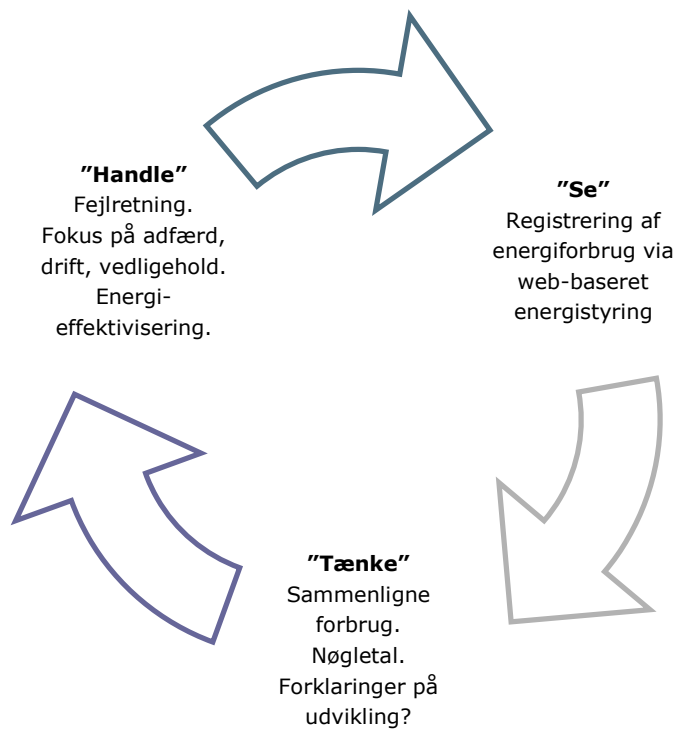
Generelt bør det i byggerier selvsagt overvejes, om man i større omfang vil prioritere energiforbruget til indendørs planter, eller om planter til dekorative formål overvejende placeres udenørs, hvor dagslyset er tilstede. Eventuelt i forbindelse med bygningers tage og facader.

Energistyring samt et markant driftsfokus

God energistyring og et veldefineret fokus på den daglige drift er afgørende for løbende minimering af energiforbruget, også i en bygning som OU44, hvor der er relativt meget bygningsautomatik.

Værdien af god energistyring ville være meget relevant at undersøge nærmere i forbindelse med OU44.

SDU har en professionel driftsorganisation, der omfatter driftsfolk med specialviden på en række områder. En mulighed kunne være, efter et tidsrum med "normalt" driftsmæssigt fokus, at følge bygningen og via den række af muligheder, der forefindes via bl.a. CTS, at optimere driften til det yderste, samtidig med at forbrugene følges nøje – jævnfør efterfølgende "energistyringscirkel":



Tiltaget burde i givet fald omfatte såvel selve bygningens energiforbrug som det procesrelaterede udstyr, især IT-udstyr og proceselektronik.

Tiltaget kunne omfatte driftsoptimering på blandt andet områder som disse:

- ventilationsanlæg
- optimering af natsækning (primært styret via blandekredse)
- fin-tuning af fremløbstemperaturer i varmeanlæggene som funktion af udetemperaturer
- driftsoptimering af varmluftstæpper (efterløbstid, blæserhastighed)
- proceselektronik, IT-udstyr
- plantevægsbelysning ift. driftstid - samspil med dagslys
- standby-forbrug
- fokus på brugeradfærd

Der er i OU44 et meget stort antal energimålere, der vil kunne anvendes til formålet.

Tiltaget kunne stå ekstra stærkt, hvis ovennævnte blev gjort i et samarbejde mellem erfarne driftsfolk, forskere og studerende, der hver især kunne bidrage med forskellige vinkler.

Erfaringen fra andre bygninger er, at der kan være betydelige energibesparelser forbundet med god energistyring. Hvad der vil være interessant at få klarlagt er, i hvilket omfang der er tilsvarende gode muligheder i et moderne byggeri som OU44 – trods et energimæssigt godt udgangspunkt med udbredt automatisk behovsstyring og lave forbrug generelt.

Bygningsstyrelsen
Carl Jacobsens Vej 39
2500 Valby
T 4170 1000
bygst@bygst.dk