

Ole Standal Barstad
Adrian Hjelle

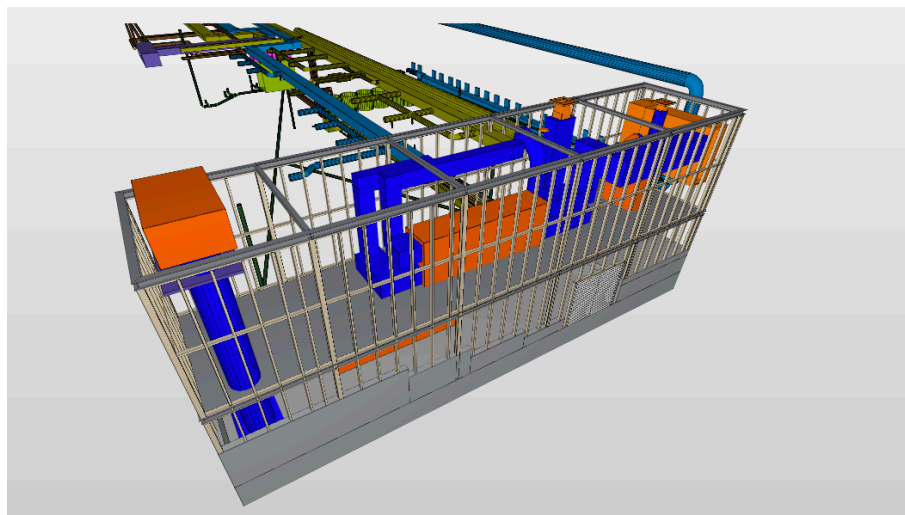
Prosjektering av nytt teknisk tilbygg

Bacheloroppgave i bygg (konstruksjon) og maskin (VVS)

Veileder: Terje Wenaas og Arne Mathias Selberg

Medveileder: Jann Even Longva

Mai 2023



Ole Standal Barstad
Adrian Hjelle

Prosjektering av nytt teknisk tilbygg

Bacheloroppgave i bygg (konstruksjon) og maskin (VVS)
Veileder: Terje Wenaas og Arne Mathias Selberg
Medveileder: Jann Even Longva
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden



Institutt for energi-
og prosessteknikk

Bacheloroppgave

Oppgavens tittel: Prosjektering av nytt teknisk tilbygg Project title (ENG): Design of a new technical extension room	Gitt dato: 22.05.2023
	Innleveringsdato: 22.05.2023
	Antall sider rapport / sider vedlagt: Totalt 120 sider (med forside og vedlegg)
Gruppedeltakere: Ole Standal Barstad og Adrian Hjelle	Veileder: Terje Wenaas og Arne Mathias Selberg
	Prosjektnummer: EPT-V-2023-03
Oppdragsgiver: Skanska	Kontaktperson hos oppdragsgiver: Jann Even Longva

Fritt tilgjengelig:

Tilgjengelig etter avtale med oppdragsgiver:

Rapporten frigitt etter:

Gruppedeltakere signaturer:

Ole Standal Barstad

Adrian Hjelle

Forord

Denne oppgaven er utført av to studenter ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, som en del av vår avsluttende oppgave innen bachelorgraden i ingeniørfag, bygg og maskin. Den er skrevet våren 2023 og er i samarbeid med Skanska, hvor hensikten er å prosjektere en god løsning for et teknisk tilbygg.

Vi ønsker å takke vår eksterne veileder i Skanska, Jann Even Longva for god hjelp og veiledning. Vi ønsker også å takke våre interne veiledere ved NTNU, Terje Wenaas ved institutt for energi- og prosessteknikk og Arne Mathias Selberg ved instituttet for konstruksjonsteknikk, for god faglig hjelp og veiledning med oppgaven. Videre takker vi Sander Engeland fra Menerga og Bjørn Aas fra Cowi som har gitt veiledning og råd angående ventilasjonssystemet til bygget.



Ole Standal Barstad



Adrian Hjelle

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å prosjektere en god løsning for et teknisk tilbygg. I forbindelse med renoveringen av Garnes ungdomsskole skal det gjennomføres en oppgradering av ventilasjonssystemet i et tilknyttet idrettsbygg. På grunn av plassbehovet for de nye ventilasjonsaggregatene, er det planlagt å bygge et nytt tilbygg på utsiden av bygningen.

Med to ulike studieretninger, bygg- og VVS-ingeniør, blir oppgaven et tverrfaglig samarbeid. Vi skal ved hjelp av kunnskapen vi har tilegnet oss gjennom studiene dimensjonere og utforme et teknisk tilbygg. Det innebærer selve konstruksjonen, slik at bygget står stødig, i tillegg til innholdet i dette tilbygget. I dette tilfellet gjelder det hovedsaklig ventilasjonsaggregat og kanaler. Valg av passende bæresystem og ventilasjonssystem blir presentert med en begrunnelse og diskusjon rundt de beslutningene vi tar. Hovedmålet er å foreslå et gjennomtenkt design som er tilpasset byggets spesifikke behov og krav. En god løsning krever tett samarbeid mellom alle ingeniører, så det blir lagt spesiell vekt på å takle utfordringene knyttet til samspill mellom konstruksjon- og vvs ingeniører i prosjekteringsfasen.

Abstract

The purpose of this assignment is to design an optimal solution for a technical extension room. With regard to the renovation of Garnes ungdomsskole, an upgrade of the ventilation system in an adjacent building is planned. Due to the space requirements for the new ventilation units, a new extension room is planned to be constructed on the outside of the building.

With two different study disciplines, civil engineering and mechanical (HVAC) engineering, this task involves interdisciplinary collaboration. Drawing upon the knowledge acquired through our studies, we will design the technical extension building. This includes the construction itself, ensuring structural stability, as well as the contents of the extension. In this case, the focus is primarily on the ventilation units and ductwork. The selection of suitable structural and ventilation systems will be presented along with a discussion around the decisions that are made. The main objective is to propose a well-thought-out design that is tailored to the specific needs and requirements of the building. Achieving a successful solution requires close collaboration among all engineers, with particular emphasis on addressing the challenges related to coordination between structural and HVAC engineers during the design phase.

Innholdsfortegnelse

1 Innledning	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Avgrensninger	2
1.3 Rapportens oppbygging	2
2 Anbud fra kommunen	2
2.1 Teknisk tilbygg	4
3 Teoretisk grunnlag	6
3.1 BIM	6
3.2 TEK17	7
3.3 Eurokode	7
3.4 Ventilasjon	8
3.4.1 Dimensjonering av kanaler	10
3.4.2 Trykktap	10
3.4.3 Varmegjenvinnere	13
3.4.4 Avfuktigingsbehov	14
3.4.5 Avfuktig av luft	15
3.5 Bygningsmaterialer	17
3.5.1 Betong	17
3.5.2 Stål	18
3.5.3 Konstruksjonsvirke	19
3.6 Bæresystem	19
3.6.1 Fundament	19
3.6.2 Bjelker	20
3.6.3 Drager	20
3.6.4 Søyler	21
3.7 Laster	21
3.7.1 Vindlast	21

3.7.2	Snølast	22
3.7.3	Jordskjelv	23
4	Ventilasjonsaggregat	23
4.1	Metode	23
4.2	Produsent	24
4.3	Svømmehall	24
4.3.1	Avfukting	26
4.3.2	Energibruk	27
4.4	Garderober og diverse	28
4.5	Teknisk rom	30
5	Bæresystem	32
5.1	Grunnmur i betong	32
5.2	Bæresystem av stål	33
5.3	Konstruksjonsvirke	34
6	Dimensjonering	35
6.1	Betong	35
6.1.1	Mot sør	35
6.1.2	Mot nord, øst og vest	39
6.2	Stålbjelker	40
6.3	Stålsøyler	44
6.4	Trevegg	48
7	3d-modell	50
8	Trykktap	55
9	Lyd	59
10	Horisontale gjennomføringer	59
10.1	Andre etasje	60
10.1.1	Kollisjon	61

10.2 Gjennom betong	62
11 Vertikale gjennomføringer i ståldekket	65
11.1 Alternativt kanalsystem	67
11.2 Åpning/luke	67
12 Vedlikehold	70
12.1 Sluk	71
12.2 Dører og luker	71
13 Diskusjon	73
13.1 Sikkerhet	74
13.2 Vibrasjon	75
14 Sluttkonklusjon	75
Referanser	77
A Luftmengder	A-1
B Trykktapsberegning	B-1
B.1 Løsning fra anbud	B-1
B.2 Vår løsning	B-5
C Lastberegning	C-1
C.1 Vindlast	C-1
C.1.1 Terrengkategori	C-1
C.1.2 Basisvindhastighet	C-3
C.1.3 Topphastighetstrykk	C-3
C.2 Snølast	C-10
C.2.1 Snølast på mark , $s_{k,0}$	C-10
C.3 Jordskjelv	C-12
C.3.1 Designkrav Jordskjelv	C-12
C.3.2 Seismisitet. $a_g S$	C-13

C.3.3	Konklusjon Jordskjelv	C-16
C.4	Egenlast	C-16
C.4.1	Egenlast takteking	C-16
C.4.2	Egenlast Isolasjon	C-17
C.4.3	Egenlast trestender	C-17
C.4.4	Installasjoner	C-18
C.5	Nyttelast	C-18
C.6	Oversikt Nytte- og egen-last med lastfaktor fra 2 etg	C-19
C.7	Jordtrykk	C-19

1 Innledning

Garnes ungdomsskole skal renoveres, og i den forbindelse pusses også tilhørende idrettsbygg opp. Kommunen har bestemt at de tekniske installasjonene skal byttes ut i idrettsbygget [30]. I forbindelse med dette skal det bygges et tilbygg på nord-siden som skal inneholde tre ventilasjonsaggregat. Denne Bacheloren skrives i samarbeid med Skanska, som vant anbudet og er totalentreprenør i prosjektet.

Bachelorgruppen består av to studenter med ulike utdanninger. Kombinasjonen bygg- og VVS-ingeniør gir oss en unik mulighet til å dykke dypere inn i samspillet mellom disse i prosjekteringsfasen.

1.1 Problemstilling

Oppgaven er å prosjektere en god løsning for tilbygget. Denne oppgaven består av to hoveddeler:

1. Konstruksjon — Dimensjonere og prosjektere bæresystemet til bygget.
2. Ventilasjon — Dimensjonere og prosjektere ventilasjonssystemet inne i det tekniske rommet, med valg av aggregat og plassering av kanaler.

For at resultatet skal bli best mulig må disse fagfeltene kombineres. En dialog mellom konstruksjon og VVS (ventilasjon, varme og sanitær) ingeniører er viktig for å oppnå en helhetlig og effektiv løsning. Disse to fagområdene er tett sammenknyttet, og enhver beslutning innenfor ett felt kan ha direkte innvirkning på det andre.

Tilnærmingen hvor VVS og konstruksjon jobber sammen skal sikre at det ferdige bygget er funksjonelt, sikkert, energieffektivt og bærekraftig. Samtidig skal det oppfylle nødvendige tekniske krav.

1.2 Avgrensninger

For å lage en god rapport innen tidsfristen, måtte vi begrense omfanget av oppgaven. Inne i tilbygget er det kun fokusert på prosjektering av ventilasjonen, med tilhørende kanaler og aggregater. Vi har valgt å se bort fra annet teknisk utstyr som skal ha plass, som vannrør og varme.

Når det gjelder lastberegningen har anbudet lagt opp til dimensjonering for vind, snø og jordskjelv. Det ble valgt å se vekk i fra jordskjelvsdimensjonering grunnet kompleksiteten, men det er tatt hensyn til designkrav som stiv plate mellom etasjene, symmetri og regelmessighet. Inngangspartiet er også sløyfet i dimensjoneringen. Det er ikke tatt hensyn til avstivende eller positive effekter fra stenderverket i tre mellom bæresystemet i stål. Dette forenklet beregningene våre, samtidig som vi er på sikker side.

1.3 Rapportens oppbygging

Rapporten starter med et kapittel om rammebetingelsene fra kommunen, med en beskrivelse av anbudet og løsinger de ønsker. Så presenteres teorien som blir brukt i videre rapporten. Videre beskrives løsningene våre for ventilasjon og konstruksjon, før de sammenstilles i en felles modell. Vi vil også se nærmere på et par detaljer ved prosjekteringen hvor fagfeltene møtes, før vi drøfter og diskuterer den endelige modellen.

2 Anbud fra kommunen

Garnes ungdomsskole ligger i Arna, et lite stykke unna Bergen sentrum. Skolen har et tilhørende idrettsbygg med gymsal, svømmehall, garderober og diverse. Disse byggene ble tatt i bruk tidlig på 1970-tallet, og har et stort oppussingsbehov. Tilstanden til disse byggene har lenge vært dårlig. For å sikre elevene et best mulig læringsmiljø samtidig som kostnadsnivåene holdes nede, skal hele skolebygget rives og erstattes med et mer moderne bygg. Idrettshallen, derimot, skal kun renoveres, hvor mestepar-

ten av bygget beholdes og det tekniske skiftes ut. Kommunen ønsker å utføre byggene mer miljøvennlig, med solceller på taket og energi fra geobrønner ved siden av bygningene. Nedenfor er en modell av slik det kommer til å se ut. Det nye skolebygget og renoveringen av idrettsbygget skal etter planen være ferdig i 2025. [30]



Figur 2.1: Flyfoto av det nye skolebygget (foran) og idrettsbygget (bak)

Idrettshallen skal altså ikke rives, men en omfattende renoveringsjobb skal gjennomføres. Alt av teknisk utstyr har for lengst overgått sin levetid. Bassenget i hallen har frem til nå vært stengt, grunnet manglende godkjenning etter forskriften om miljørettet helsevern [30]. Nesten alt av teknisk utstyr skal derfor erstattes, slik at både skoleelever og andre kan bruke hallen. Bygget har et teknisk rom i kjelleren, hvor bassengvannet blir rensset, og et lite ventilasjonsrom midt i bygget. Rommet i kjelleren fungerer også som varmesentral.



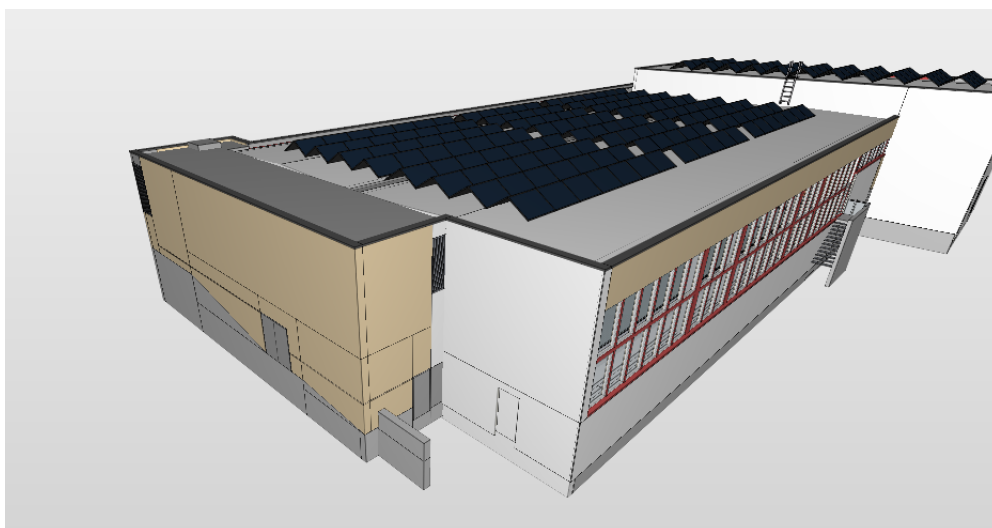
Figur 2.2: Flyfoto sett fra nordvest. Idrettsbygget i forgrunnen



Figur 2.3: Flyfoto sett fra nordøst, idrettsbygget i forgrunnen

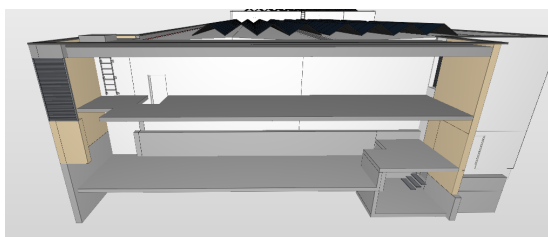
2.1 Teknisk tilbygg

For å få plass til nye ventilasjonsaggregater som tar mer plass, blir det nødvendig å bygge et nytt teknisk tilbygg. Kommunen har derfor planlagt et tilbygg på nordenden av idrettsbygget, som skal inneholde teknisk utstyr og ventilasjonsaggregat. Det er prosjektert med $75m^2$ grunnflate og to etasjer. Det gamle ventilasjonsanlegget skal etter planen fortsette med vanlig drift og ventilasjon av gymsalen. Oppgraderingen av det tekniske vil i hovedsak gjelde svømmehallen og tilhørende garderober. Det nye tilbygget er dimensjonert for tre aggregat. Ett til svømmehall, ett til teknisk rom i kjelleren og ett til garderobe og diverse i første etasje.

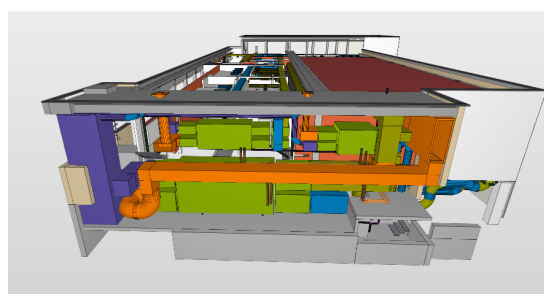


Figur 2.4: Teknisk tilbygg på nordsiden av idrettsbygget

Det stilles større krav til ventilasjon av svømmehallen enn til resten av bygget. Derfor er det vanlig med separate aggregat for slike rom. [34] I en oversikt fra kommunen, vist i vedlegg A, står det beregnet luftmengder i de ulike rommene. Svømmehallen i seg selv trenger 12000 kubikk i timen, noe som krever et stort aggregat. En 3d-modell av tekniske installasjoner ble lagt ved anbudet, se figur 2.6. Her er det skissert opp et utgangspunkt til hvordan det skal se ut, men i denne oppgaven har vi valgt å delvis se vekk i fra dette og forsøke å komme med en bedre løsning. Det er ikke spesifisert hvilke leverandør eller aggregat som skal brukes, derfor antar vi at entreprenøren står fritt til å velge dette selv. Tilhørende løsning vil bli presentert i denne oppgaven.



Figur 2.5



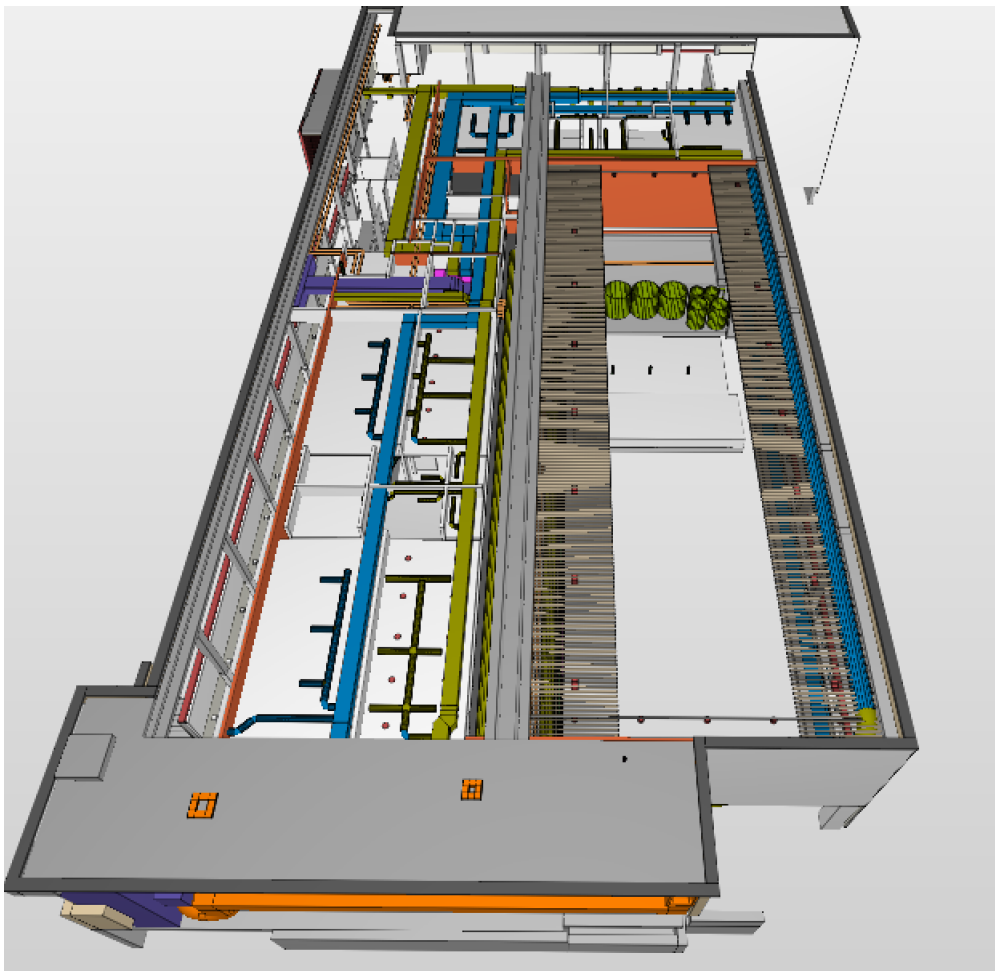
Figur 2.6

Det er ikke lagt ved noen løsning for bærende konstruksjon i anbudet. Derfor antas det at valg av bæresystem i bygget er fritt. Kravene i anbudet er beskrevet nærmere i funksjonsbeskrivelsen. Denne inkluderer spesifikke krav som at veggene ikke kan endres synlig på utsiden, og at trekledning må strekke seg helt ned til bakken. Dimensjonene for byggearbeidet er hentet fra 3D-modellen som fulgte med anbudet, den inneholder blant annet informasjon om veggtykkelse, grunnflate og etasjehøyde.

Tilbygget står inntil et eksisterende bygg, men funksjonsbeskrivelsen antar at veggene til det eksisterende bygget ikke er bærende. Dermed må tilbygget dimensjoneres som et selvstendig bygg.

Skanska vant anbudet og ble totalentreprenør i prosjektet, med oppstart i 2022. Dermed ble det deres jobb å ferdigstille prosjekteringen, som innebærer planlegging av konstruksjonen og detaljprosjektering av teknisk rom. Mye gjenstår enda i denne plan-

leggingsfasen. I denne bachelor-oppgaven ønsker vi å ferdigstille tegningene til det tekniske tilbygget, samt å foreslå mer detaljert hvordan dette skal se ut.



Figur 2.7: Overblikk av romløsning og tilhørende kanaler

3 Teoretisk grunnlag

I dette kapitlet ses det nærmere på det teoretiske grunnlaget som blir brukt videre i rapporten.

3.1 BIM

Bygningsinformasjonsmodellering (BIM) representerer en digital modell av et bygg hvor all informasjonen samles i samme modell [14]. BIM hjelper alle involverte i planleggingen til å se hvordan bygget blir og hva de andre rådgivende ingeniørene plan-

legger. Det brukes til å ta beslutninger gjennom hele prosjektet, fra tidlig designfase til drift og vedlikehold.

Autocad Revit, Solibri og Archicad er BIM-programmer som vi har benyttet i løpet av arbeidet med denne bachelor-oppgaven. BIM-verktøyene er brukt til å lage 3D-modeller av tilbygget. Disse modellene har hjulpet oss med å samkjøre bygg og vvs og se hvordan det endelige produktet skal bli. Ved at vi kan se hva som skjer i de andre fagfeltene blir prosjekteringen mest mulig effektiv.

Bruken av BIM har gjort at konstruksjon- og VVS-ingeniøren effektivt kan dele og utveksle informasjon, samarbeide om et design og sikre at alle aspektene ved bygget er tilpasset hverandre.

3.2 TEK17

TEK17 (Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven) er en forskrift som fastsetter krav til tekniske løsninger og utførelse av byggverk i Norge. Forskriften ble vedtatt i 2017 og erstattet TEK10 som gjaldt fra 2010. Formålet med forskriften er å sikre byggverk med tilfredsstillende sikkerhet, helsemessige og miljømessige kvaliteter. [16]

TEK17 omfatter krav til blant annet byggverkets bæreevne, brannsikkerhet, energi- bruk og tilgjengelighet for personer med nedsatt funksjonsevne. Den stiller også krav til inneklima, støy, ventilasjon og universell utforming. [16]

3.3 Eurokode

Eurokode er en samling med standarder innen bygg og anlegg som er felles i Europa. Den brukes for å prosjektere europeisk standard. Ved alle eurokodene som brukes i Norge er det et nasjonalt tillegg som bidrar til å tilpasse konstruksjonene til norsk TEK standard. [19]

Det er en serie eurokoder mellom 1990 og 1999 som beskriver hver sitt aspekt ved konstruksjonen, som byggematerialer og laster, samt en underinndeling som står på

formen x-x. [19] I teksten kommer vi til å skrive EC for eurokode og henvise til den på formen (EC 19xx x-x, tabell/formel/avsnitt). For eksempel vil eurokode 1993 underinndeling 1-1 avsnitt 6.3.1.3 henvises som (EC 1993 1-1, 6.3.1.3)

3.4 Ventilasjon

Å ventilere betyr å tilføre frisk luft til et rom eller en bygning og å fjerne forurenset luft. Det gjøres ved å tilføre uteluft eller resirkulert behandlet luft gjennom balansert ventilasjon, det vil si at omtrent like mye luft trekkes ut som det tilføres. Hele bygningen krever et ventilasjonssystem, og i dette tilfellet er det et særlig behov for spesialtilpasset ventilasjon, ettersom det er et svømmebasseng i et av rommene. Det er krevende å skape et godt inneklima i en svømmehall [32]. Likevel er det viktig både for brukere av hallen, men også for byggets levetid og kvalitet. Et innendørs svømmebasseng vil kontinuerlig produsere store mengder vanndamp som er blandet med klor eller andre kjemikalier. Denne vanndampen kan skade bygningen innvendig og påvirke luftkvaliteten [32, 47]. Fuktigheten fra bassenget kan skape rust, ødelegge maling, skade bærende konstruksjoner og ha andre negative effekter på bygningen. Å reparere eller bytte ut ødelagte deler er dyrt og utfordrende. Personer som bruker svømmebassenget, både besøkende og ansatte, kan også oppleve ubehag på grunn av den høye luftfuktigheten. Mugg, sopp, bakterier og andre skadelige organismer trives i dette fuktige miljøet. [25]

Sintef byggforsk, en norsk forskningsinstitusjon som arbeider med løsninger innenfor byggebransjen, har laget forslag til hvordan svømmehaller skal ventileres. De foreslår at luften skiftes ut mellom fire og syv ganger i timen. For terapibad, hvor temperaturen på vannet er høyere, bør den skiftes ut mellom åtte og ti ganger i timen [15]. Det er ikke lovpålagt å følge slike anbefalinger, men TEK17 krever generelt at alle rom skal ha tilfredsstillende luftkvalitet og være tilpasset bruk [3]. Arbeidstilsynet krever også et forsvarlig inneklima, ettersom bygget blir brukt som en arbeidsplass. [8]

Det finnes flere metoder for å beregne ventilasjonsbehovet i hvert enkelt rom. Arbeidstilsynet viser til behovet basert på tre faktorer:

- Personbelastning
- Bygning, interiør og installasjoner
- Arbeid eller prosess

Personbelastning refererer til det totale antallet personer i et gitt område eller rom, og er avhengig av både antallet personer og deres aktivitetsnivå. Høyere aktivitetsnivå krever mer luft for å opprettholde god luftkvalitet. For eksempel har kontorer, skoler og lignende steder ikke behov for like mye frisk luft som idrettsanlegg eller treningsentre som har en høyere grad av aktivitet. I dette tilfellet vil svømmehallen ha større personbelastning enn resten av bygget grunnet aktivitetsnivået. TEK17 setter et minimumskrav på luftmengde per person ved lett aktivitetsnivå, som er på 26 m^3 per time per person [3].

Bygning, interiør og installasjoner er også faktorer som må tas hensyn til i ventilasjonsberegningen. Enkelte materialer har høyt emisjonsnivå og avgir derfor gasser eller lukt. Det krever ekstra ventilasjon. Som nevnt er svømmebasseng et installasjon som avgir masse fuktighet og kjemikaler sammen med vanddampen. Garderober, WC og dusjanlegg krever også mer ventilasjon. TEK17 gir spesifikke retningslinjer for ventilasjon i byggverk for publikum, og disse kan benyttes som preaksepterte ytelser i rom som bad og toalett [4].

I noen tilfeller kan det være industri i bygget som avgir farlige gasser, men siden det ikke er relevant for dette aktuelle tilfellet, kan man se bort fra denne faktoren.

Basert på disse faktorene beregnes ventilasjonsbehovet, og hvis en verdi er vesentlig større enn de andre faktorene velges denne som dimensjonerende ventilasjonsbehov [8]. De mindre verdiene kan da falle bort, ettersom de uansett vil være mindre enn den dimensjonerende verdien. Arbeidstilsynet anbefaler et tillegg på 30% for å ta høyde for tap i anlegget samt endring av behov [8].

I dette tilfellet er det allerede inkludert ønsket luftmengde i anbudet, men det kan likevel være fornuftig å regne gjennom for å sikre at de riktige verdiene er brukt.

3.4.1 Dimensjonering av kanaler

Etter at luftmengdebehovet er klart, kan ventilasjonsføringene skisses opp. Ventilasjonsanlegg bør utformes effektivt og ryddig for å redusere energiforbruk og støy. Dette oppnås ved å ha en optimal plassering av ventilasjonskomponentene og kanalene, samt unngå unødvendige svinger og bøyninger i kanalene. Dette gir en jevn og stabil luftstrøm som krever mindre kraft [35]. I tekniske rom er det spesielt krevende, fordi det ofte er trangt og mange kanaler og rør som skal inn.

Når dimensjonen på kanaler skal velges til ventilasjonssystemer, brukes vanligvis et trykktapsdiagram. Et slikt diagram ligger vedlagt, se figur B.3 [22]. Denne tabellen viser sammenhengen mellom trykktap, hastighet, luftmengde og kanaldimensjon.

Lave lufthastigheter gir mindre trykkfall, som diagrammet viser. For hovedkanalene som fører luften gjennom systemet, er det ofte nødvendig å ha høyere lufthastigheter for å unngå alt for store kanaler. Det er fordi det er mye luft i slike rør før de fordeles utover i nettet. Ved å trekke en linje loddrett fra luftmengde, og en linje fra valgt dimensjon, finner man kryssningen som viser trykkfall og hastigheten til luften.

Uttakskanalene, som leder luften ut til de enkelte rommene, bør ha lavere hastigheter, helst ikke mer enn 3-4 meter per sekund [33]. Det kan føre til støy og uønskede luftstrømmer i rommet hvis hastigheten er for høy.

3.4.2 Trykktap

Trykktap er den største utfordringen for et ventilasjonssystem [35]. En vifte arbeider for å presse luft gjennom kanalene, og mengden energi den bruker har en sammenheng med trykktapet og luftmengden i systemet. For å vurdere effektiviteten til et ventilasjonssystem, bruker vi gjerne SFP-faktoren (spesifikk vifte-effekt). Dette er et mål på energien som kreves for å flytte en kubikkmeter luft per sekund gjennom systemet. Et lavt SFP-tall indikerer et energieffektivt system. Unødvendige trykktap og mange bøyninger i kanalene kan også føre til høyt støynivå. Derfor er optimalisering av disse faktorene viktig for å sikre effektiv og stille drift av ventilasjonssystemet [23].

Trykktapet i systemet kommer fra friksjonstap og støttap fra enkeltmotstander.

$$\Delta P_{tap} = \Delta P_f + \Delta P_m \quad (1)$$

ΔP_f , friksjonstapet, kan også leses av tabell (fig ??) hvis utregningen skal forenkles.

ΔP_m er summen av alle støttap i nettet.

Former for disse er:

$$\Delta P_f = \frac{\rho * U^2}{2} * f * \frac{L}{d}, \quad \text{og} \quad \Delta P_m = \sum \zeta * \frac{\rho * U^2}{2} \quad (2)$$

hvor

ΔP_f = Trykkfall grunnet friksjon

ΔP_m = Trykkfall grunnet enkeltkomponenter

ρ = Væskens tetthet

U = Strømningshastighet

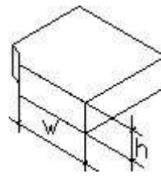
f = Darcy friksjonsfaktor

L = Rørets lengde

d = Rørets indre diameter

ζ = Tapkoeffisienten for hver enkelt komponent

Lufthastigheten (U) har en kvadratisk effekt og spiller derfor en betydelig rolle når det gjelder både støttap og friksjonstap i ventilasjonsnettet. Dette er en viktig faktor å huske på når man skal dimensjonere et slikt system. For å regne støttap i bend må også ζ fastsettes. Den varierer fra typer bend og krysninger. Fig B.4 viser ζ for rektangulære bend med ulike dimensjoner, hentet fra dds.no [44]. Lavere ζ vil gi mindre støttap, som formelen viser.

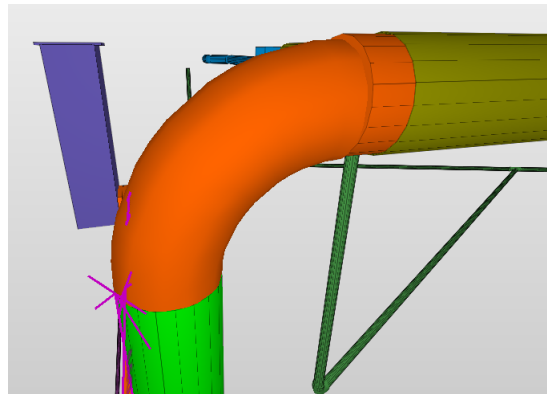


ζ for rektangulære bend uten avrunding

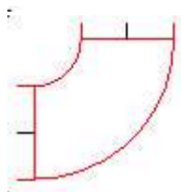
H=	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000
w=200	.55	.50	.50	.50	.45	.45	.45	.40	.35	.35
w=300	.70	.65	.65	.65	.60	.55	.55	.50	.45	.40
w=400	.80	.80	.75	.75	.70	.65	.60	.55	.50	.45
w=500	.90	.85	.85	.80	.75	.70	.65	.60	.55	.50
w=600	1.00	.95	.90	.85	.80	.75	.70	.65	.55	.50
w=800	1.10	1.10	1.05	1.00	.90	.85	.80	.70	.65	.55
w=1000	1.20	1.20	1.15	1.05	1.00	.95	.85	.75	.65	.55
w=1200	1.35	1.30	1.25	1.15	1.05	1.00	.90	.80	.70	.60
w=1600	1.45	1.40	1.35	1.30	1.20	1.05	.95	.85	.75	.60
w=2000	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30	1.15	1.00	.90	.80	.65

Figur 3.1: ζ for rektangulære bend uten avrunding

Kanaler med rundere bend som fig 3.2 har derfor mindre støttap med samme lufthastighet. (se fig B.6 [44])



Figur 3.2



ζ for sirkulære bend, avhengig av vinkel og hastighet

v m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\alpha=90^\circ$	.45	.45	.40	.40	.40	.35	.35	.35	.35	.35	.30	.30	.30	.30	.30	.30
$\alpha=60^\circ$	.35	.35	.35	.30	.30	.30	.30	.30	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.20
$\alpha=45^\circ$	.25	.25	.25	.25	.25	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.15	.15
$\alpha=30^\circ$	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.10	.10

Figur 3.3

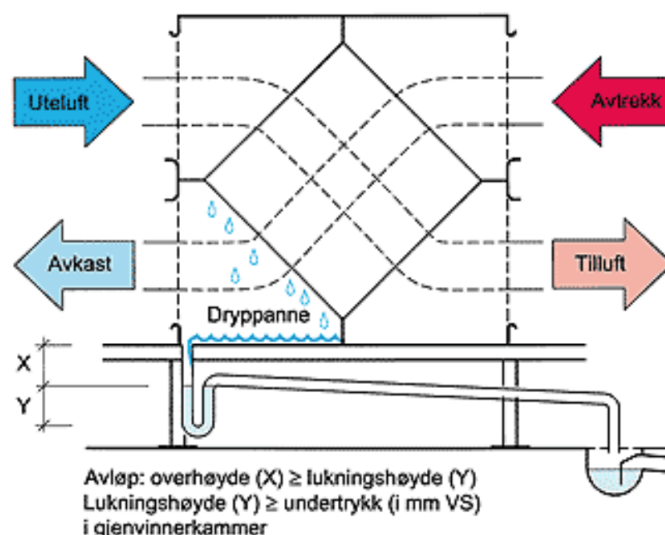
Derfor er det viktig å vurdere løsninger med hensyn til plass for å designe et så effektivt

system som mulig, som oppnår en lav SFP-faktor og har minimalt energibruk. I mange tilfeller vil andre fagfelt også være involvert, noe som betyr at en VVS-ingeniør ikke nødvendigvis kan implementere alle sine foretrukne løsninger. Derfor er tverrfaglig samarbeid mellom ingeniørene avgjørende i planleggingsfasen for å sikre et vellykket og effektivt systemdesign.

3.4.3 Varmegjenvinnere

Inni bygget er det varm luft som man vil hente energi fra før den blir skiftet ut med frisk uteluft. Derfor er det integrert varmegjenvinnere i ventilasjonsaggregatet. I dette tilfellet er det spesielt utfordrende fordi luften i svømmehallen er ekstra varm og inneholder mye fukt med andre kjemikalier. Det trengs mye luft for å opprettholde et godt inn klima her, slik at det er nødvendig å hente ut så mye energi som mulig for å ha et akseptabelt energiforbruk. [18]

Varmegjenvinnere er en viktig del av et ventilasjonsaggregat, ettersom de bidrar til å spare energi ved å utnytte varmen i den brukte luften for å varme opp den friske, innkommende luften. Det finnes flere typer varmegjenvinnere, der de mest kjente er roterende varmegjenvinnere, kryssvarmevekslere og rørformede varmegjenvinnere. Kryssvarmevekslere fungerer ved at de separate luftstrømmene passerer gjennom kanaler i en rekke parallelle plater, slik at varme overføres gjennom platene fra den varme luftstrømmen til den kalde. [46]



Figur 3.4

Vi ble rådet til å velge kryssvarmevekslere i aggregatene fordi det er standard for basseng og andre rom med høy luftfuktighet. Det er mye fukt som kondenserer og må ledes vekk, og platevekslere har en god evne til dette. Derfor er det den vanligste løsningen for rom med mye fukt.

3.4.4 Avfuktigingsbehov

Varm og fuktig luft fra et basseng kan føre til en rekke uønskede effekter, for eksempel økt risiko for helseproblemer for besøkende og ansatte, samt råte og korrosjon av bygningsmateriale og økt vedlikeholdskostnad. Derfor er det viktig å håndtere fuktigheten effektivt [25, 32].

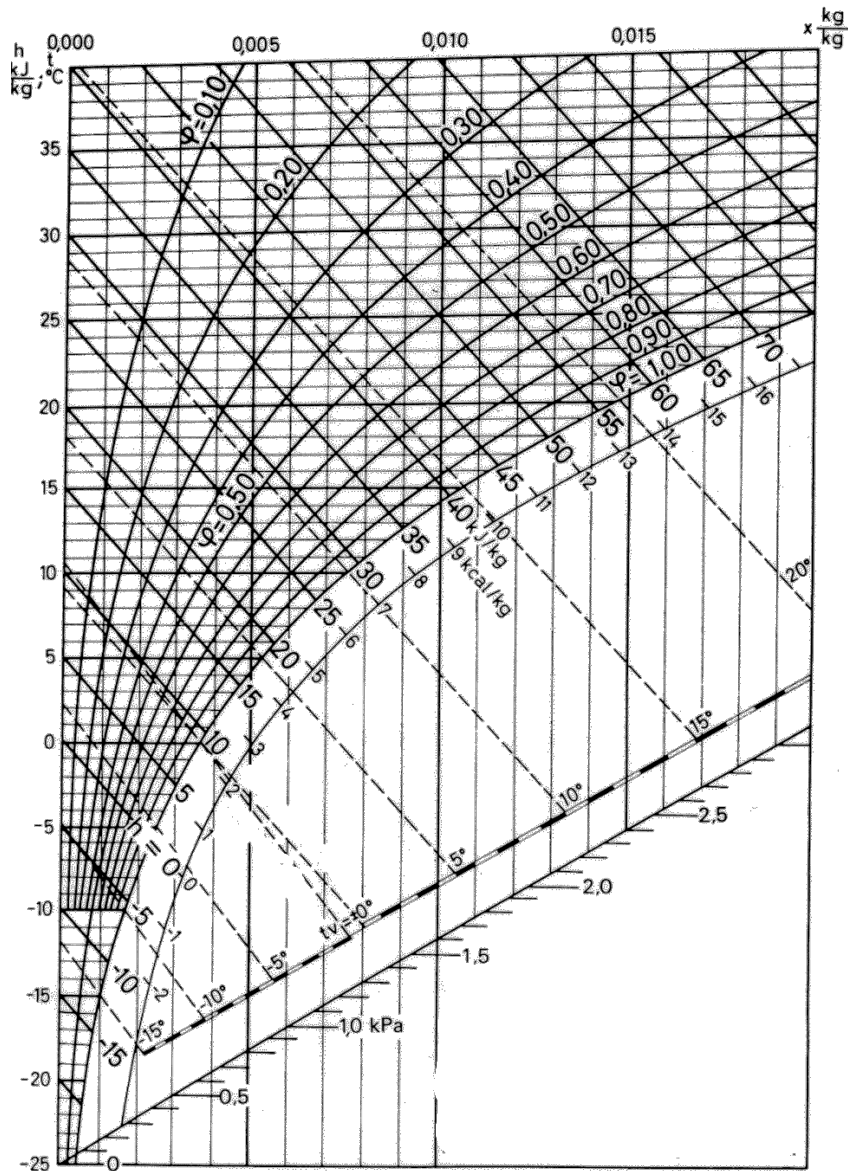
Beregning av avfuktingsbehovet er en kompleks prosess som involverer mange variabler og faktorer. Blant annet temperaturen og fuktigheten i luften i rommet, temperaturen og overflatearealet på vannet og aktivitetsnivå i vannet. I daglig drift vil det bli mye større vannflateareal og fordampning på grunn av bevegelser i vannet. Vi har satt et utgangspunkt i 28 °C på vannet med en overflate på 200 m². I denne oppgaven har vi valgt å benytte oss av tall og beregninger fra et eksternt selskap, Menerga, som har ekspertise og erfaring innen dette feltet. Bassengfordampningen settes på 50 kg/h i

badedrift. Det vil si at 50 kg med vann må fjernes fra luften i hallen hver time.

3.4.5 Avfuktig av luft

Vanlig standard i dagens svømmehaller er å justere fuktigheten med uteluft, hvor tørr luft tilføres og fuktig luft fjernes [31]. Mengden uteluft som tilføres er også avhengig av ventilasjonsbehovet som nevnt tidligere.

For å finne luftmengden som må til for å fjerne 50kg vann i timen må Mollier diagrammet benyttes (fig 3.6). Mollier-diagrammet er et grafisk verktøy som brukes til å representere tilstanden i fuktig luft. Diagrammet viser forholdet mellom entalpi (h , energiinnhold), temperatur og fuktighet.



Figur 3.5: Mollier diagram

Når den varme, fuktige luften kjøles ned, trekkes en loddrett linje langs konstant fuktighet ned til duggpunktet. Varm luft kan inneholde mer fuktighet enn kald luft, som diagrammet viser. Når luften avkjøles forbi duggpunktet, vil vanndampen kondensere [29]. Da er det maks fuktighet i luften ved den temperaturen, slik at videre nedkjøling vil fjerne vann, og man følger duggpunktslinjen langs diagrammet. Deretter varmes tilluften opp i kryssvarmeveksleren. Med en virkningsfaktor på 100% vil all energien overføres til tilluften. I realiteten er ikke dette tilfellet, slik at energi må uansett tilføres for å få samme temperatur som i utgangspunktet. De vertikale strekene følger

konstant vannmengde per kg luft. Den endelige tilstanden til luften etter avfukting vil være på lavere fuktighet enn før prosessen startet. [15]

I tillegg er det vanlig å ha integrerte varmepumper i aggregatene som senker temperaturen ytterligere på luften som går ut. Denne energien kan overføres til tilluften for å få et enda mer effektivt system.

3.5 Bygningsmaterialer

Bygningsmaterialer er sentralt i konstruksjonsprosjekter og påvirker både ytelse og utseende av det ferdige bygget. Materialvalget bestemmer kostnadene, byggets holdbarhet, miljøbelastningen, og vedlikeholds kravene.

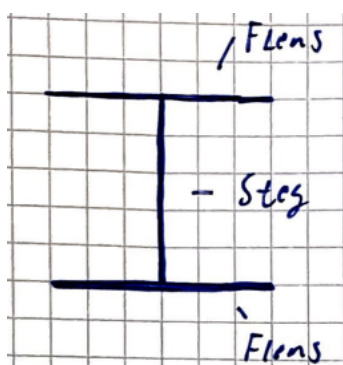
3.5.1 Betong

Betong er et av de mest brukte konstruksjonsmaterialene i verden, på grunn av styrke og holdbarhet. Dette materialet består av sement, vann og ulike typer sand og grus. Når den herder, skaper betong en steinliknende substans som er egnet i store og sterke konstruksjoner. Betong er spesielt godt egnet til å motstå trykkkrefter, noe som gjør den ideell for bruksområder som fundamenter og gulv. Derimot har betong en begrenset strekkstyrke, og armeringsjern blir ofte brukt for å kompensere for dette. Kompositten mellom betong og stål gir veldig sterke konstruksjoner og egner seg godt i bjelker, søyler og vegger. Betong har dessverre et veldig stort avtrykk med miljøpåvirkningen ved produksjon, transport og destruksjon. På grunn av miljøhensyn forsøker byggebransjen i dag å redusere bruken av betong og erstatte den med en økende trend bruk av mer bærekraftige materialer. Betong dimensjoneres etter eurokode 1992 og har detaljerte beregningsmetoder som involverer mye armeringsjern. Selv konstruksjonsdeler som i hovedsak er laget for å ta opp trykk skal dimensjoneres med armering. I en trykksatt vegg, for eksempel, vil det oppstå strekkstaver inne i betongen. [42]

3.5.2 Stål

Stål er et materiale med mye styrke og elastisitet. Det er en legering hovedsakelig bestående av jern og karbon, og det kan ha andre elementer som mangan, silisium og aluminium for å forbedre bestemte egenskaper. Stål har en god evne til å motstå strekkrefter, noe som gjør det til et utmerket valg for bruksområder som bærende konstruksjonselementer. I tillegg til styrken, gir stålkonstruksjoner god formbarhet og sveiseegenskaper, noe som gir arkitekter og ingeniører fleksibilitet i design og konstruksjon. Stål er også gjenbrukbart og kan resirkuleres mange ganger uten å miste sine mekaniske egenskaper, noe som gjør det til et bærekraftig byggemateriale. Likevel er det viktig å bemerke at stål har en lav motstand mot korrosjon, og det krever derfor beskyttende tiltak som galvanisering for å forlenge sin levetid. [36] Standard konstruksjonsstål S355 har flytegrense på 355 mpa (EC 1993 1-1, Tabell 3.1), mot konstruksjonsvirke C24 som tar opp 24 mpa. Det er en betydelig forskjell. Det gjør at bjelker og søyler av stål kan ha mye mindre tverrsnitt enn konstruksjonsdeler av tre. Dette bidrar til at konstruksjonen holdes slank.

Stål kommer i mange forskjellige profiler, som IPE, HEA og HEB tverrsnitt. På folkemunnene kalt I og H bjelker. I og H tverrsnitt ser ganske like ut da hovedforskjellen ligger i forholdet mellom steg og flens.



Figur 3.6: Tverrsnitt

Figuren over viser hvordan et I eller H tverrsnitt ser ut og med navngivning av steg og flens. IPE bjelkene har lenger steg enn flenser og blir derfor smalere og bidrar til å holde konstruksjonene og vegtykkelsene slanke, men de krever mer materiale

enn HE bjelkene med samme stivhet. I vår konstruksjon er veggtykkelsene relativt store slik at det ikke er et problem at bjelkene, søylen og dragerne blir større enn veggen om vi velger et HE tverrsnitt. Så på grunn av den store veggtykkelsen i forhold til bæreevnen på konstruksjonen er HE tverrsnitt et rimeligere alternativ som krever mindre material. Forskjellen mellom HEA og HEB er tykkelsen på platene som er brukt og det gjør at HEB tåler mer enn HEA, men koster og veier mer, igjen, siden vi har stor plass i veggene er HEA et mer fornuftig valg enn HEB.

3.5.3 Konstruksjonsvirke

Konstruksjonsvirke er en type treprodukt som er designet for bruk i byggekonstruksjoner. Det er generelt sterkt og holdbart, og dets relative letthet gjør det til et attraktivt valg for mange byggeprosjekter. Tre er et naturlig og fornybart byggemateriale som har vært brukt i konstruksjon i tusenvis av år. Den termiske isolasjonen av tre er bedre enn mange andre konstruksjonsmaterialer, noe som kan bidra til energieffektivitet i bygninger. Imidlertid har tre noen begrensninger, inkludert sårbarhet for fuktighet. Det krever derfor vedlikehold og behandling for å sikre sin holdbarhet og ytelse over tid. [5] Treverket i konstruksjonen gjør det mye lettere å feste kledning og isolasjon.

3.6 Bæresystem

Et bæresystem er bygningens strukturelle ryggrad, som overfører alle laster fra bygget til bakken. Systemet består av bjelker, dragere, søyler og avstivende elementer for stabilitet. Lastene som håndteres av bæresystemet er blant annet bygningens egenvekt (egenlast), bruk av bygningen (nyttelast) og naturlige påvirkninger (naturlast).

3.6.1 Fundament

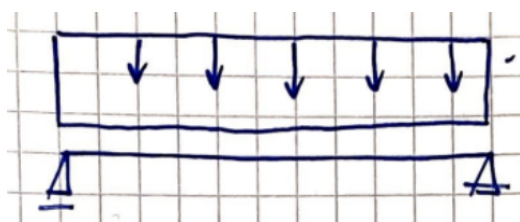
Fundamentet er måten bygget legges på bakken og avgjøres av hvordan grunnforholdene i området er. I vårt prosjekt er eksisterende bygg direkte-fundamentert så det antas at tilbygget også kan direktefundamenteres. Direktefundamentering er når fundamentene går rett ned til gode grunnforhold som fast leire eller fjell med relativt lite

avtrykk, som søyler og branketter. Direktefundamentering gir lite til ingen setninger. Om grunnforholdene ikke tillater direkte-fundamentering kan bygges på plate som for-deler kreftene jevnt utover, dette minimerer setninger. Det gir krav til at platen er sterk og har stor motstand mot forskyvninger.

3.6.2 Bjelker

Bjelker er konstruksjonsdeler som spenner horisontalt og som skal holde laster fra bygget mellom vertikal bærende konstruksjon, som dragere og bærevegger. De legges gjerne ortogonalt på dragere og bærer primært nyttelaster og gulv. I vår konstruksjon er alle bjelkene i stål for å holde etasjeskillerene så lave som mulig slik at det bli god plass til tekniske installasjoner.

Fritt Opplagt bjelke Fritt opplagt bjelke er en bjelke som er statisk bestemt en gang ved at den holdes fast i x-retning kun i et punkt og y-retning i to punkt. Slik at det blir tre opplagerkrefter og tre likevektsligninger. En bjelke kan ansees som fritt opplagt om den ikke er innspent slik at den overfører moment i innspenningen eller danner innvendige krefter ved å bli hindret deformasjon i x-retning. En bjelke som er fritt opplagt får et maks moment og ingen moment i opplageren. Dersom bjelken ikke er fritt opplagt og det overføres moment i opplagerne vil det føre til lavere maks moment. Det betyr at å beregne en bjelke som fritt opplagt er på sikker side.



Figur 3.7: Fritt opplagt bjelke

3.6.3 Drager

Dragere er konstruksjonsdeler som går i bærevegger eller mellom søyler. De holder vekten av konstruksjonen, og står ofte ortogonalt på bjelkene og tar opp lasten fra

bjelkene. Dragere tar ofte opp mye last og har derfor store dimensjoner. I vårt tilbygg er de i stål.

3.6.4 Søylar

Søylar er vertikale konstruksjonsdeler som fører lastene nedover i konstruksjonen. De bygges ofte i system med dragere som rammer, slik at dragerne tar lasten i horisontal retning og søylene tar lasten i vertikal retning. Søylar blir i hovedsak belastet med trykkkrefter slik at betong er et bra materiale for disse. I vår konstruksjon er det benyttet stål siden de er slankere enn betongsøylar og lastene er relativt beskjedne.

3.7 Laster

Tilbygget skal dimensjoneres som en selvbærende konstruksjon og må derfor kunne bære alle lastene som påvirker bygget i sin levetid. For å bestemme lastene brukes Eurokode og Kompendium i faget Naturlaster GK. Laster deles opp i egenlaster, naturlaster og nyttelaster. Dette gjøres fordi det er forskjellig kontroll på de forskjellige lastene og de må behandles ulikt. En egenlast er veldig lett å bestemme nøyaktig, og vil ikke endre seg plutselig eller i stor grad i løpet av byggets levetid. Derfor er det en relativt lav lastfaktor på egenlast. Nyttelaster er lastene som kommer av bruken av bygget, disse kan fort endre seg. De får en høyere lastfaktor. Naturlaster er de lastene som varierer mest og fortest av overnevnte laster og er vanskeligst å bestemme på forhånd. Ved hjelp av EC og nasjonalt tillegg (NS) kan lastene bestemmes rimelig nøyaktig, men det er en relativt komplisert prosess.

3.7.1 Vindlast

Vindlast er en naturlast. For å bestemme vindlast etter NS-EN 1991-1-4 (EC 1-4) bruker vi kapittel 5 og de foreslåtte beregningsmåtene. Lastene som kommer av vind er delt inn i to, utvendig og innvendig vindtrykk.

Utvendig vindtrykk Utvendig vindtrykk regnes ut med formel 5.2:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}(EC1 - 4)$$

Denne formelen består av to variabler som begge grener ut i veldig mange flere variabler. I vedlegget på C.1.3 er utregningene av variablene etter EC 1991.

$q_p(z_e)$ er en verdi for maks last fra vinden og er dimensjonert for vindkast.

c_{pe} er avhengig av hvordan formen på bygget er.

Dimensjonerende vindlast w_e på bygget er 1.32kN og forekommer i en sone nærmest vinden på veggene som står ortogonalt på vindrettnigen. Se C.1 for utregning

Innvendig vindtrykk Innvendig vindtrykk kommer av lekkasjer fra åpninger som åpne vinduer, ventilasjonsåpninger, skorsteiner også videre. (EC 1991 1-1, 7.2.9)

I vår dimensjonering antas huset som ganske tett siden det er bygget uten vinduer eller skorstein, og eneste åpningen ut er en takhette samt en garasjedør som hovedsaklig skal brukes under installasjon. Siden det er få åpninger velger vi å se bort i fra innvendig vindtrykk. og derfor ser vi på utvendig vindtrykk som dimensjonerende.

3.7.2 Snølast

Snølasten på konstruksjonen er relativt beskjeden siden bygget ligger i sør-Norge langs kysten. Det skal heller ikke dimensjoneres for eksepsjonelle tilfeller (NS-EC 1991 Na.3.3). Det er derfor kommet frem til et tall som er dimensjonerende for hele konstruksjonen og som vil brukes for resten av oppgaven. $S_K = 1.6$ se C.2 for utregning

3.7.3 Jordskjelv

Det står i anbudet at tilbygget skal dimensjoneres mot jordskjelv. Jordskjelvsdimensjonering blir bedre og enklere dersom bygget og bæresystemene er symmetrisk og regelmessig. (EC 1998-1, 4.2.1.2) På grunn av at tilbygget er rektangulært og har få dører og vinduer blir symmetri og regelmessighet et åpenbart og enkelt valg ved dimensjonering.

Det er også krav om stivhet i to retninger. Anbudet foreslår langveggene som bærevegg. Med to bærevegger og to ikke-bærende yttervegger må bygget stives av.

Skivevirkning fra en eventuell etasjeskiller gir en positiv effekt for styrken bygget har mot seismiske virkninger. (EC 1998-1, 4.2.1.5) Tilbygget skal dimensjoneres med lavest mulig etasjehøyde og det er derfor foreslått etasjeskiller med stålgitter. (anbud) Stålgitter har sannsynligvis mye bedre strekkfasthet enn trykkfasthet. Må undersøke muligheten til ståldekket for å gi skivevirkning.

Det er kontrollert om bygget kan dimensjoneres for lav seismisitet, og konkludert med at det kan det. Se utregning i C.3 Dette betyr litt mindre strenge krav ved jordskjelvsdimensjonering.

4 Ventilasjonsaggregat

Det er ikke angitt noe spesifikt merke eller modell for ventilasjonsaggregater i anbuds-dokumentene. I denne oppgaven forutsetter vi at entreprenøren har frihet til å velge leverandør, så lenge de leverte luftmengdene oppfyller kravene til ønsket luftmengde i hvert enkelt rom.

4.1 Metode

I anbudet fra kommunen er det lagt ved ønsket luftmengde til hvert av rommene. Det er tegnet tre aggregater:

- Svømmehall
- Garderober og diverse
- Teknisk rom

For å finne dimensjonerende luftmengder for hvert av aggregatene legges luftmengdene fra anbudet sammen for hvert aggregat. Se vedlegg A for luftmengder fra anbud.

4.2 Produsent

Basert på anbefalingen fra Bjørn Aas, en tidligere underviser på NTNU som har mye erfaring med norske idretts- og svømmehaller, har vi valgt Menerga som leverandør av ventilasjonsanlegget. Menerga er anerkjent for å levere høykvalitets ventilasjonssystemer til svømmehaller og har lenge vært en markedsleder innen sitt område.

4.3 Svømmehall

Den beregnede luftmengden for svømmehallen er 12 000 m³/h, som angitt i anbudet. En enkel utregning kan utføres for å verifisere at dette tallet er fornuftig. Ved å følge SINTEFs anbefalinger kan ventilasjonsbehovet beregnes ved å multiplisere hallens volum. Hallen har dimensjonene 40 m x 12 m, og en takhøyde på 4 m, noe som gir et volum på 1 920 m³. SINTEF anbefaler en luftutskiftning på 4-7 ganger i timen. 12 000 m³/h tilsvarer en luftutskiftning på 6,25 ganger, noe som er innenfor anbefalt verdi [15].

På grunn av kompleksiteten ved å beregne avfuktingsbehovet valgte vi å benytte verdien vi fikk fra Menerga i dette tilfellet. Vannoverflaten i bassenget er 8 m x 25 m, altså 200 m², og vannet har en temperatur på 37 °C. Ifølge Menerga fører dette til en fordampning på 50 kg/h under drift av svømmehallen.

ThermoCondHP (figur B.1) velges som aggregat etter anbefaling fra Menerga. Modellen 39 13 01 har riktig kapasitet med henhold til luftmengdebehov og avfuktingskapasitet [39].

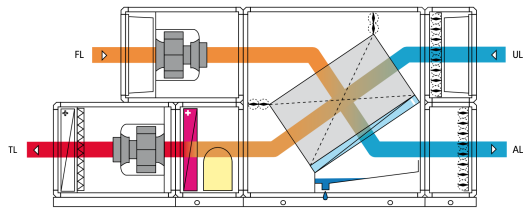


Figur 4.1: ThermoCondHP

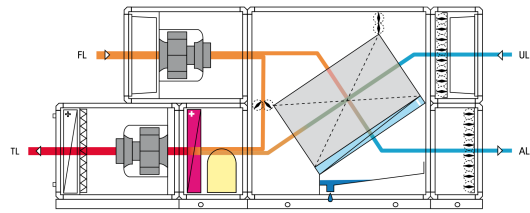
ThermoCondHP har en kryssvarmeveksler og er designet for offentlige svømmebassenger. Den bruker kun den uteluften som er nødvendig til å regulere fuktighet og temperatur. Det er også integrert en varmepumpe i anlegget, som henter ut rester av varmen fra avkastet og tilfører den i tilluften. Modellen har en varmegjennvinningsgrad på 84 %, som vil si at mesteparten av energien overføres til tilluft [41].

Figurene under viser to eksempler på driftsmoduser. I figuren til venstre (figur 4.2) byttes all luften ut. Uteluften kjøler den fuktige fraluften, og vannet kondenserer og renner ned i et sluk. Energien fjernes fra fraluften og overføres til tilluften, som varmes opp. Det blå feltet representerer fordampere i varmepumpen, som henter gjenværende varmeenergi fra luften. Denne energien overføres i kondensatoren, det røde feltet. Gjennom denne prosessen hentes energien fra fraluften og tilføres den friske tilluften. Et vannbårent varmebatteri ligger helt til venstre på figuren og brukes hvis det er behov for ekstra oppvarming.

I figuren til høyre (figur 4.3) resirkuleres en del av luften tilbake i hallen. Mengden som resirkuleres kan justeres og avhenger av brukslasten, som endret behov for avfukking, luftmengde eller temperaturjustering. Ved kontinuerlig regulering av dette begrenses energibruket.



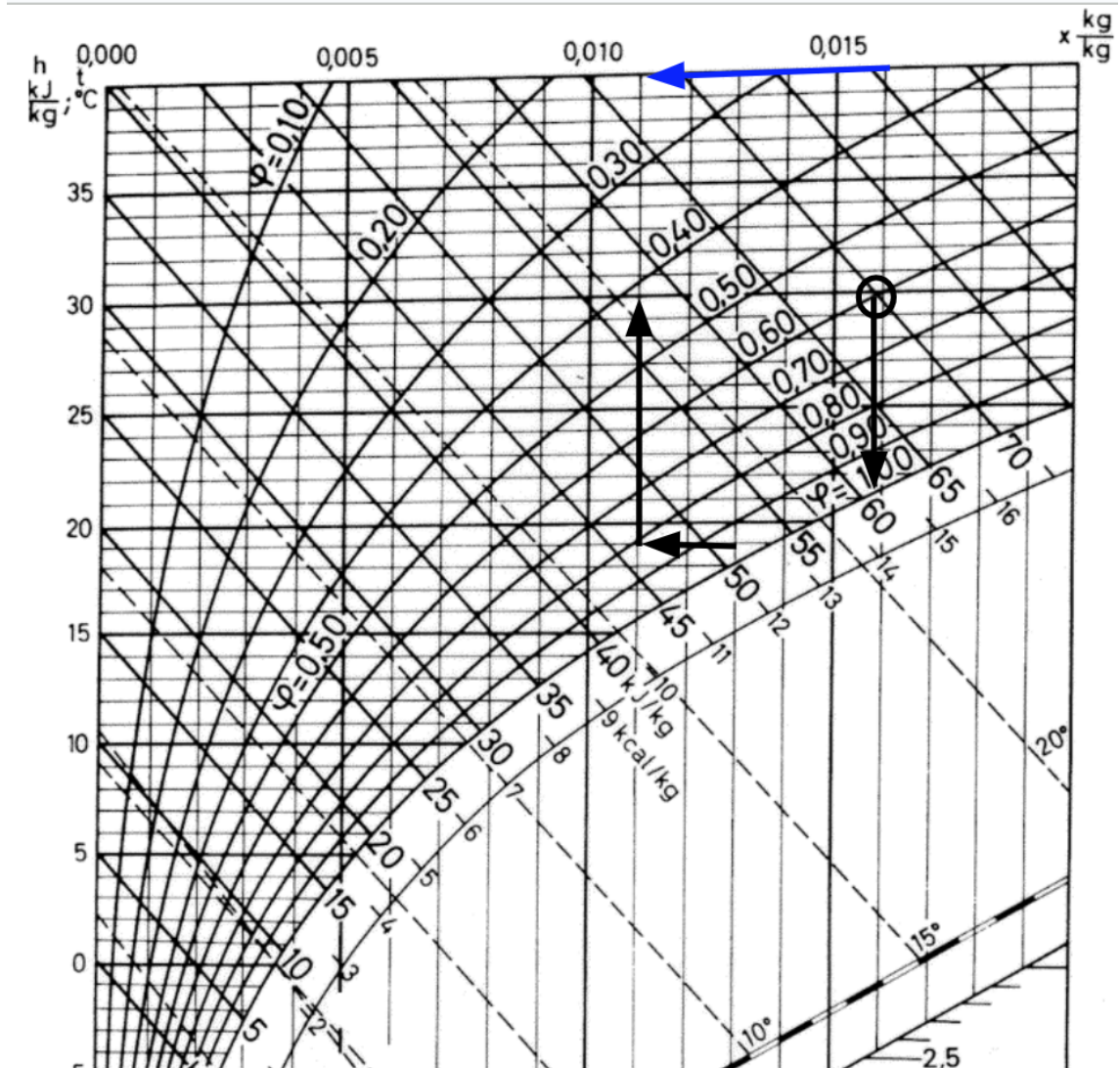
Figur 4.2: All luft skiftes ut



Figur 4.3: Noe luft resirkuleres

4.3.1 Avfukting

Inne i kryssvarmeveksleren vil avtrekket få lavere temperatur mens tilluften vil bli varmere. Den relative luftfuktigheten inne i hallen bør ikke overstige 60% [31] og har en temperatur på 30 °C. Uteluft på 19 °C velges som dimensjonerende sommertemperatur, med relativ luftfuktighet på 80%. På sommeren er det mest ugunstig å avfukte luften i hallen fordi det er en del fukt i uteluften også (selv om RF er stort sett lik hele året, er absolutt luftfuktighet høyere da [28]). Fra Nemitek er høyeste temperatur litt høyere enn 19 °C i Bergen, men de sier at det er så sjeldent og så kortvarig at det er urimelig å dimensjonere ut i fra disse. [17]



Figur 4.4: Mollier diagram

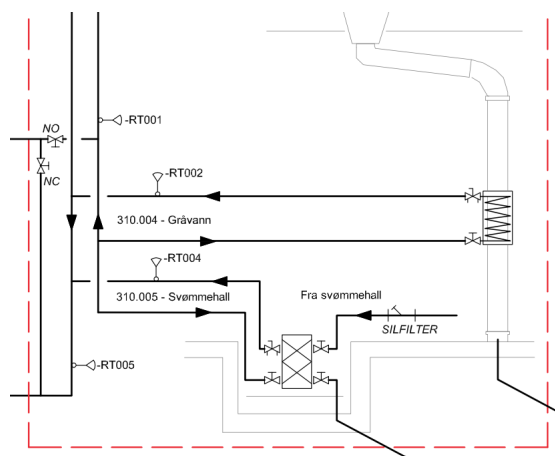
Mengden vann som fjernes, $\Delta x \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$, kan leses av diagrammet (blå pil) og er ca 0,005 kg vann per kg luft ved disse verdiene. For å få 50 kg avfukting må $50 \frac{\text{kg}_{\text{vann}}}{0,005 \frac{\text{kg}_{\text{vann}}}{\text{kg}_{\text{luft}}}} = 10\,000$ kg luft skiftes ut i timen. Det er ca 7750 kubikk i timen som er godt innenfor ventilasjonsmengden aggregatet klarer [24]. Ved høyere luftfuktighet ute må anlegget levere mer luft.

4.3.2 Energibruk

Energi er nødvendig for å varme opp luften til den ønskede temperaturen for å kompensere for varmetapet i varmeveksleren. I dette prosjektet er det planlagt en felles energisentral sammen med skolebygningen, som henter energi fra geobrønner. Opp-

varmet vann fra disse brønnene brukes for å varme luften via et vannbåret batteri. Det er mulig å beregne nøyaktig hvor mye energi som trengs, noe som avhenger av flere faktorer som infiltrasjonstap, transmisjonstap og ventilasjonstap i bygningen. Tilført luft skal også gjerne være et litt varmere enn luften inne for å kompensere for tap til omgivelsene. Imidlertid er ikke dette fokus for denne oppgaven, så det blir ikke prioritert. Varmebatteriet i aggregatet har en maksimal varmeeffekt på 35 kW, og det antas at dette er tilstrekkelig. [39]

I tillegg er det planlagt en varmeveksler etter sluket, som gjør det mulig å utnytte energien fra det kondenserte vannet før det forsvinner. I illustrasjonen under er vann forvarmet i denne veksleren før det varmes opp ytterligere i varmtvannstankene. På denne måten maksimeres utnyttelsen av tilgjengelig energi.



Figur 4.5: Utklipp av systemtegning med varmeveksler

4.4 Garderober og diverse

Garderober, WC, korridorer og diverse rom i 1 etg. skal kobles til et nytt ventilasjonsaggregat. Nedenfor viser luftmengdene (fig 1) lagt sammen fra vedlegg A. Ved å følge veiledingen til TEK17 kan disse verdiene kontrolleres. Dusjanleggene har foreksempel 15 dusjhoder hver. I § 13-3 tabell 2 kreves 54 m^3 avtrekk per time per dusj [4]. Et dusjanlegg med 15 dusjer trenger da nesten 800 m^3 avtrekk i timen. I fig 1 ser man at det er litt lavere verdier i rom som 126 (750 m^3) og 113 (600 m^3), hvor det er dusjanlegg. Dermed er beregnet luftmengder her under kravet. Toaletter, som rom

127, har 50 m^3 avtrekk i anbudet og er innenfor kravene til TEK17 [3, 4].

I tillegg viste det seg å være en liten forskjell i avtrekk og tilluft da de ble lagt sammen. En lik luftmengde på 3500 m^3/h velges som et utgangspunkt for aggregatet, men mangler da Arbeidstilsynets anbefaling om en reservekapasitet på 30% [8].

PIAN 1. ETG 101 -VE	Valgt tilluft (m3/h)	Valgt avtrekk (m3/h)
102 - Ventehall		
102A - Renhold	300	300
102B - WC		45
102C - WC		45
103 - Korridor	300	
104 - Rengjøring		45
105 Ventilasjon	50	50
106		
107		
108- Kontor vaktme	150	150
109 - Rekvisita vaktm.		50
110. Gang		50
111 -Trapp		50
113 - Dusj:rørk		600
114- Garderobe	750	
115 -wc		50
116 -Badstue		
117- Lærer		75
118- Dusj-Tørk		600
119 - Garderobe	750	
120 -wc		50
121 -Badstue		
122- Lærer		75
123 -EL		
124 - Korndør	100	
125- Garderobe	300	
126- Dusj-Tørk		450
126 -Dusj:rørk		300
127 -wc		50
128- Lærer		75
129 - BK		50
130 -EL		50
131 - Lærer		75
132 - WC		50
133 - Garderobe	750	
SUM	3450	3335

Tabell 1: Luftmengder

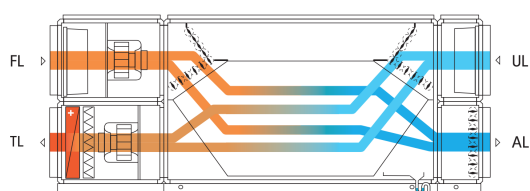
Etter anbefaling fra Menerga velges AdConAir 76 som aggregat. Modellen som velges er 76 05 01, ettersom optimal flow rate er riktig i henhold til luftmengden på 3500 m^3/h [38]. På grunn av et mye lavere avfuktingsbehov og mindre luftmengder er det

ikke rasjonelt å velge samme aggregat som til svømmehallen. Disse aggregatene passer godt for boliger og lokaler, og med integrert reguleringsteknologi bidrar de til et behagelig innendørs klima med redusert energibruk [6].

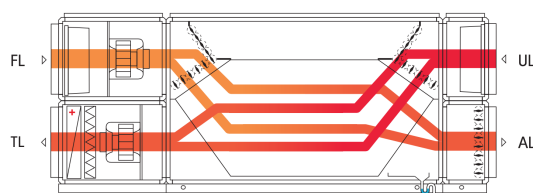


Figur 4.6: AdConAir 76

Det er en kryssvarmeveksler også i dette aggregatet. Den fungerer som nevnt tidligere, hvor varmen overføres tilluften.



Figur 4.7: Vinterdrift



Figur 4.8: Sommerdrift

4.5 Teknisk rom

I kjelleren foregår behandlingen av bassengvannet, og derfor kan det være fordelaktig med et separat ventilasjonsaggregat for dette rommet. Det benyttes en rekke kjemikalier i forbindelse med bassenget, og slike forurensninger kan være skadelige. Luftmengdene er lagt sammen i tabellen under.

ROM	Valgt tilluft (m3/h)	Valgt avtrekk (m3/h)
PIAN U. ETG Rosa 1		
K001 - Trapper		
K002 - Renseanlegg Maskinrom	250	250
K003 - Hovedtavle		
K004 - Trafo		
K005 - Inspeksjonsgang	500	500
K006 - Sluse		
K007 - Tilfluktsrom Lager Drift		
K008 - Redsk		
K009 • Sykere		
KOIO-Gang		
KOII - WC		
K012 - Vask		
K013 - WC		
Ny teknisk	235	235
SUM	985	985

Tabell 2: Luftmengder aggregat teknisk rom

Siden det dreier seg om små luftmengder, velges et mindre aggregat: ThermoCond 19. Dette aggregatet har også muligheten til å avfukte luften og gjenvinne energien, noe som er gunstig ettersom det ofte er fuktig luft i slike rom. Modellen 19 20 01 har riktig størrelse ut i fra ønsket luftmengde, 985 kubikk som vist i tabell 2 [40]. Dette aggregatet har også en platevarmeveksler.



Figur 4.9: ThermoCond 19

5 Bæresystem

Anbudet har få retningslinjer på hvordan bæresystemet i tilbygget skal oppføres. Det setter kun krav om bruk av trekledning, en veggtykkelse på 300mm i henhold til arkitekttegningen, og at bygget skal være selvbærende. I tillegg må det dimensjoneres for å tåle vind, snø og jordskjelv.

Gitt kravet om trekledning, den relativt moderate belastningen bygget skal kunne tåle, samt hensynet til CO2-utslipp, bestemte vi tidlig å utelukke en løsning med betong som bæresystem.

For å bestemme om bæresystemet skulle oppføres i konstruksjonsvirke/limtre eller stål/konstruksjonsvirke, ble det etter samtaler med Skanska bestemt at resten av prosjektet måtte vektlegges i den beslutningen. Skolebygget, som går inn under samme anbud, er et mye større prosjekt og der er det i all hovedsak brukt stålbjelker og betong i bæresystemene. Derfor velges samme løsning for tilbygget.

Siden denne oppgaven fokuserer på tverrfaglighet og forsøker å gi en optimalisert prosjektering er det naturlig å også ta hensyn til entreprenøren og bruke samme materialer i begge byggene slik at kvantiteten i bestillingen holdes høy og bidrar til å redusere kostnader.

5.1 Grunnmur i betong

Betonggrunnmuren skal holde egenvekten fra hele bygget, og nyttelaster som kan påføres. I tillegg kommer det jordtrykk på de delene av veggen som er under grunn. Samlet sett utsettes ikke betongen for store belastninger. Mesteparten av belastningen er vertikal og overføres direkte ned på betongen. Dette resulterer hovedsakelig i trykkbelastninger, noe betongen er spesielt effektiv til å håndtere. Alle gjennomføringer er mellom eksisterende bygg og nytt tilbygg, så vi antar ingen jordtrykk der hvor det er gjennomføringer. Kanalene blir den største utfordringen med grunnmuren.

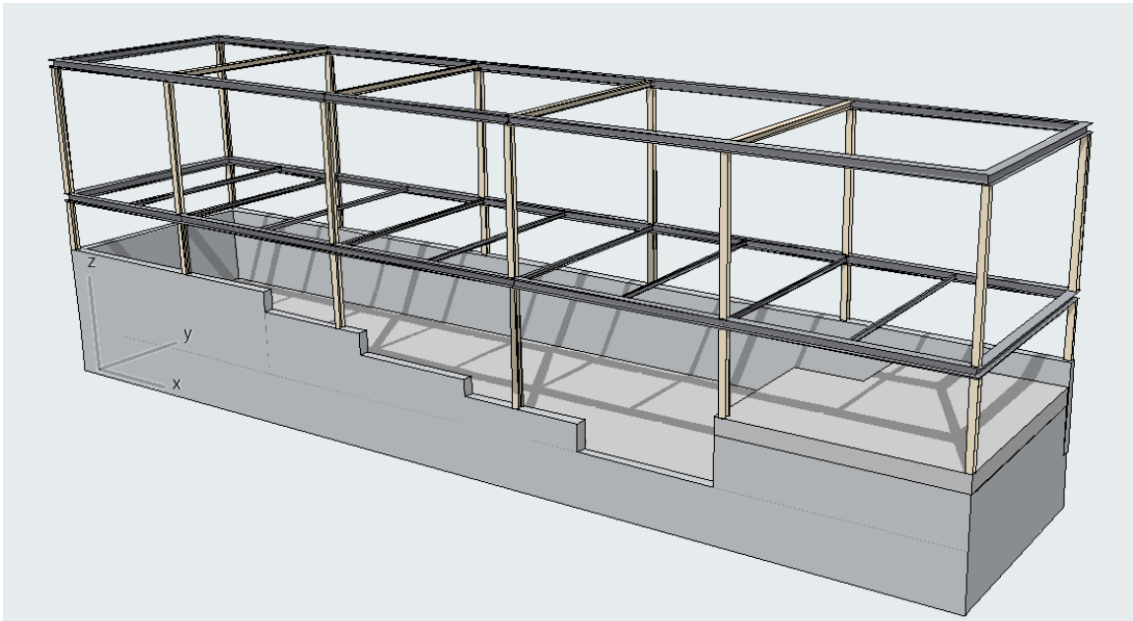
5.2 Bæresystem av stål

Bæresystemet skal tåle vindlast, snølast, nyttelast og dimensjoneres symmetrisk og regelmessig i henhold til jordskjelvsdesignkravene, som referert i vedlegg C.3. For å få en regelmessig konstruksjon som reduserer sannsynligheten for byggefeil, samt får opp kvantumet ved bestilling, bestemte vi at vi bruke dimensjonen på den mest utsatte søylen til resten av bygget. På grunn av den symmetriske lastfordelingen i bygget, og med høyest last i 1. etasje, ble den lengste søylen i 1. etasje valgt som dimensjonerende for hele bygget. Søylen ble dimensjonert for knekking i henhold til Eurokode 1993. Resultatet ble en dimensjon for søylen lik HE120-A, som beskrevet i dimensjoneringsbiten 6.3

Dragere i bygget er designet med samme prinsipp om uniformitet gjennom hele bygget, selv om dragere mellom 1. og 2. etasje bærer mer last enn takdragerne. Vi antar at de mest belastede dragerne er de som er plassert midt på langveggen og som støtter nyttelasten fra de tekniske installasjonene. Disse er dimensjonert for en fordelt last som tilsvarer gulvområdet de støtter, samt avstivning for vindtrykket. Ved å følge denne dimensjoneringsmetoden, kom vi frem til at en passende størrelse for dragerne er HE140-A, som nevnt vist i dimensjonering 6.2.

Bjelkelaget er forskjellig på taket og mellom etasjene på grunn av gitterristene som skal brukes som etasjeskiller. Ristene har et maks spenn på 2 meter og fører derfor til at c/c mellom bjelkene må være 2 meter. På taket er det valgt samme tverrsnitt i bjelker som søylene i rammen, altså HE120-A 6.2. Bjelkene i 2 etasje skal stive av mot vind og holde egenlast og nyttelast fra gittergulvet. De ble dimensjonert til HE100-A.

??



Figur 5.1: Bæresystemet

Figur 10.7 viser det ferdige systemet som skal bære lastene. Det er i all hovedsak bygget opp av rammer på 4x4 meter og er dimensjonert for snø, vind og nyttelast.

5.3 Konstruksjonsvirke

Som det fremgår av figur 10.7 er det bare dimensjonert et skjellett av stål, slik at det mangler muligheter til å feste og stive av kledning og isolasjon. For å feste kledningen og holde vindlasten mellom stålstenderne skal det bygges stenderverk i tre inne i stålrammene. Dette treverket skal også fungere som spikerslag for kledningen og støtte opp under vindlasten.

Det vil være to forskjellige høyder på disse konstruksjonene: en i første etasje som vil være maksimalt 2.4 meter høy, og en i andre etasje som er 3.85 meter høy. Den høyeste blir avstivet på midten med tre for å unngå for lange spenn. Disse plankene skal kun holde egenlast og vindlast, så dimensjonene på dem er relativt beskjedne. Tegnet opp med konstruksjonsvirke C24 48x98 trestenderer og samme material som sviller. Beregninger som demonstrerer at de tåler vindlasten, er tilgjengelig i 6.4.

6 Dimensjonering

Basert på lastene kan bæresystemet dimensjoneres for å sikre at de strukturelle elementene tåler de påførte lastene.

6.1 Betong

Grunnmuren i betong går rundt hele bygget og har jordtrykk på nord-, øst- og vestveggen. Mot sør står bygget inntil eksisterende bygg og får derfor andre laster. I sør skal det derimot inn mange kanalgjennomføringer, på grunn av ventilasjonen, som må tas hensyn til.

I henhold til Eurokode 1992 er det krav til en viss minimumsarmering og en maksimumsavstand mellom armeringsjernene. Disse kravene overstiger hva som er dimensjonerende for betongveggen i vårt tilfelle, som vist i utregningene under. I tillegg er det lite strekkbelastning som skal håndteres av de vertikale armeringsjernene. Derfor har betongkonstruksjonen vår en stor reservekapasitet.

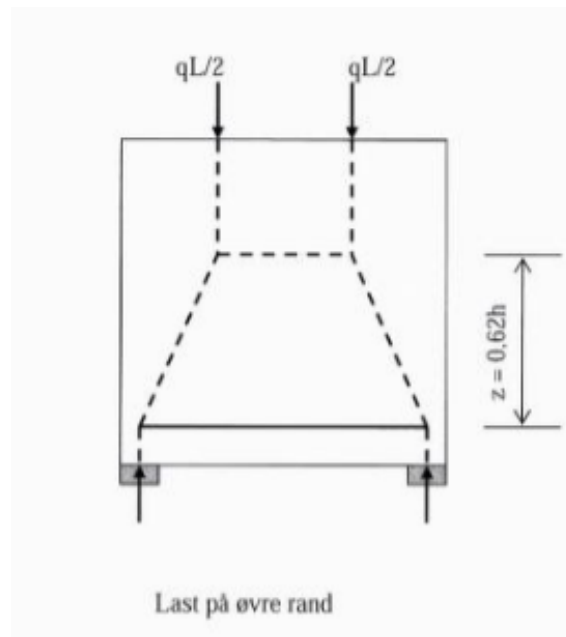
6.1.1 Mot sør

I sørlig retning dimensjoneres betongveggen for området hvor det skal inn to store gjennomføringer. Der er veggen 3.4 meter høy. Karakteristisk totallast fra bygget er lik lasten fra 2 etasje på 843.4 kN pluss lasten fra stålsøyler, trestendere og isolasjon i veggen i førsteetasje som er på 17.5kN (vekt på vegg 2 etasje * $\frac{2,4m}{4m}$) C.6

Antar lasten jevnt fordelt over de to bæreveggene = $\frac{861kN}{19,4m \cdot 2} = 22.2kN/m$

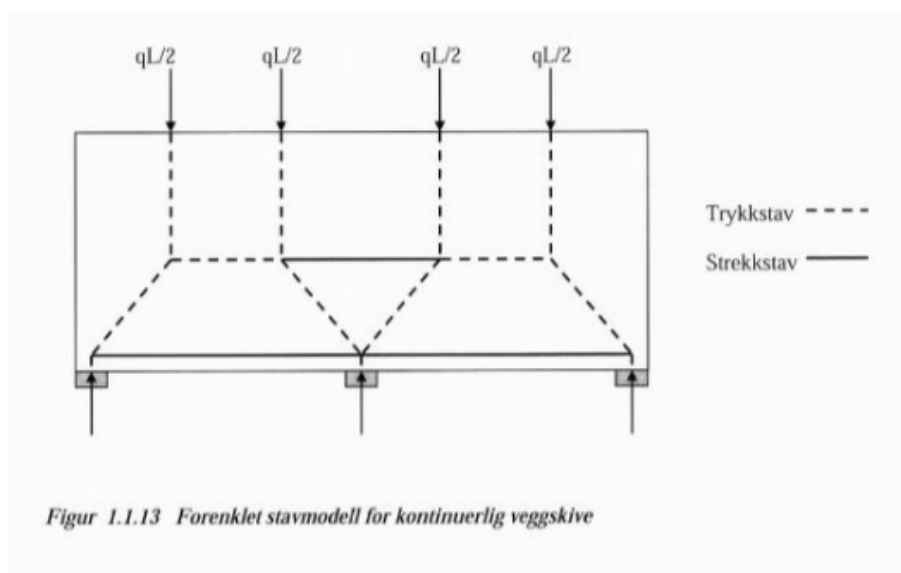
Egenvekten til betongen er $25kN/m^3$, antar veggtykkelsen til 100mm, da blir egenlasten til veggplaten $0.1m \cdot 3.4m = 0,34m^2 \implies 8.5kN/m \implies 8.5 \cdot \gamma_m = 10.3kN/m$

Veggen skal derfor dimensjoneres for 32.5 kN/m karakteristisk totallast. Bruker figur 1.1.5 fra Betongkonstruksjoner [12] og $19.4/4 = 4.85$ m per plate.



Figur 6.1: fritt opplagt

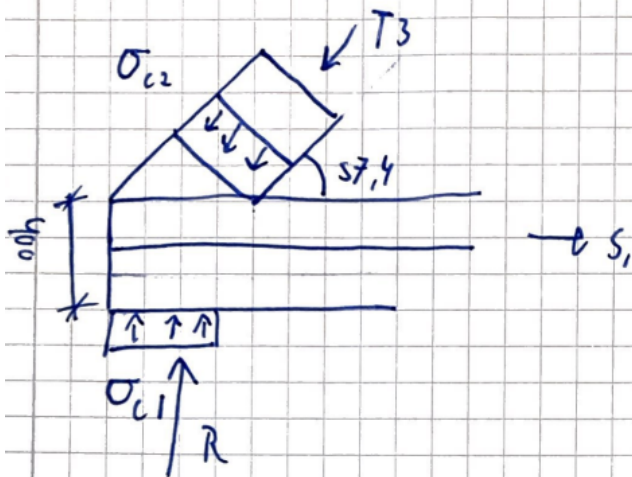
Veggen skal dimensjoneres for trykk i øvre rand og da er det kun en strekkstav nederst på platen. Siden dette er blir en plate over flere spenn kommer det til å bli litt strekk over opplagerne som i figur 1.1.13 fra Betongkonstruksjoner [12]



Figur 6.2: To spenn

Finner først trykkstav på skrå nedover som på platen som er fritt opplagt. Etter utregning fra Betongkonstruksjoner [12]

Kontroll av knutepunkt ved oppleger.



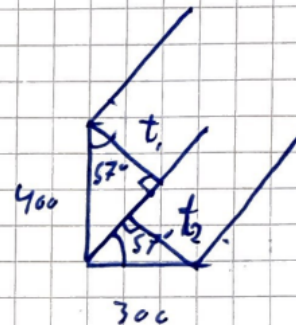
Bredden av trykkstav T_3

Bredden av $T_3 =$ Flate fra t_1 og t_2 .

$$t_1 = \cos \theta \cdot h_{yp1} = \cos \theta \cdot 400$$

$$t_2 = \sin \theta \cdot h_{yp2} = \sin \theta \cdot 300$$

$$T_3 = 217,9 + 251,6 = \underline{470 \text{ mm}}$$



Figur 6.3: To spenn

Med 400mm høyde på øverste armeringsjern og 300mm opplager blir trykkstaven 470mm bred etter utregning på papir.

Betongen har en karakteristisk trykkfasthet som finnes etter ligning (1.1.10) [12]

Trykkstaven T_3 har vinkel $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2108}{1350}\right) = 57.4^\circ$

$$\sigma_{Rd} = 0.85\left(1 - \frac{30}{100}\right) \cdot 17 = 10.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{Tn} = \frac{T_n}{b \cdot t}$$

Finner T3 som har vinkel θ og skal ha en vertikal komponent $=R = \frac{q \cdot L}{2} = 78.8 \text{ kN}$

$$T3 = \frac{R}{\sin(\theta)} = 93.55 \text{ kN}$$

$$\sigma_{T3} = \frac{93.55 \cdot 10^3}{100 \cdot 470} = 2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Sjekker også om opplageret tåler trykket:

$$\sigma_{Tl} = \frac{R}{100 \cdot 300} = 2.6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Begge verdiene er godt innenfor $10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ og er derfor ok.

Sjekker armering i bunn:

Finner strekkstaven S1. Det er vertikalkomponenten til T3 og er lik $T3 \cdot \cos \theta$

$$S1 = 50,4 \text{ kN}$$

$$A_s = \frac{S1}{f_{yd}} = \frac{50,4 \cdot 10^3}{434} = 116.12 \text{ mm}^2$$

Ønsker å ha minst to armeringsjern $= A_s = 2\pi r^2 \implies r = \sqrt{\frac{0,5 A_s}{\pi}} = 4.29 \text{ mm}$. $r = 4.29$ er litt større enn $\emptyset 8$, må velge $2 \times \emptyset 12$. $= A_s = 226.2 \text{ mm}^2$

Krav til minimumsarmering i plate etter (EC 1992 1-1, 9.6.2) er $0.002 a_c$ a_c er betongtverrsnittet, finner mengden armering per meter med å ta $a_c = 0,002 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 1000 \text{ mm} = 200 \text{ mm/m}$ 400mm mellom hver stang gir 2.5 per meter $= 200/2.5 = 80$. må ha $\emptyset 12$ for å oppfylle kravet. $\emptyset 12 \times 400 \text{ mm} = \text{ok}$.

horisontalarmering er 25% av vertikal (EC 1992 1-1. NA9.6.3) $= 50 \text{ mm/m}$, som er oppfylt pga strekarmering for S1.

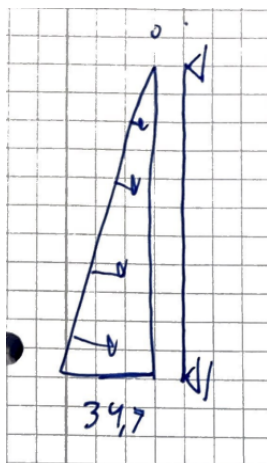
Veldig mye ekstra kapasitet i konstruksjonen, men av praktiske hensyn ønsker vi ikke å gå ned i bredde av veggen, og minimumsarmering kan ikke gåes under.

6.1.2 Mot nord, øst og vest

Mot nord, øst og vest kommer det i tillegg jordtrykk som er ganske betydelig på platen. Dessuten, siden jordtrykket går ortogonalt på platen blir det mye mer strekkkrefter.

Sjekker hvor mye armering platen må ha for å tåle jordlasten på det dypeste punktet, som er 3.4 meter under bakken. Plater kan regnes på som en 1 meter tykk bjelke. Bruker det som utgangspunkt og ser i første omgang bort fra trykklasten siden den bare tok opp 20% av totalt kapasitet.

Anser platen som en fritt opplagt bjelke med skrå fordelt last, fra 0 til 34.7kN, se fig 6.4.



Figur 6.4: Fritt opplagt bjelke

34.7kN er uten lastfaktor, så må ganges opp med 1.5 som gir karakteristisk last på 52 kN. Egenlasten vil bidra sammen med trykkkreftene, men de ser vi bort fra nå.

Bruker focus konstruksjon til å bestemme maks moment = 37.5 kN/m

B30 betong = 17mpa, B500NC armering = 434 mpa

b=1000, t = 100

Vi har funnet dimensjonerende moment M_{ed} og bruker det til å bestemme nødvendig trykkarm, d.

$$M_{ed} \leq M_{rd}$$

$$M_{rd} = 0,275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2, 0,275 \text{ er bestemt av at vi normalarmerer tversnittet.}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{M_{ed}}{0,275 \cdot f_{cd} \cdot b}}$$

$$d \geq 90$$

For å finne den nødvendige tverrsnittshøyden må det også legges til overdekning, kravet til den finner vi i (EC 1992 1-1, tabell NA.4.4) , med eksponeringsklasse XD3 (EC 1992 1-1 tabell NA4.1) som er for vekselvis tørt og vått, som vegg mot jord blir. Velger levetid på 100 år, må overdekningen være 35mm. Det skal i tillegg legges til c_{dev} som er hensyn til at armeringen kan legges unøyaktig etter NA4.4.1.3, den er på 10mm. Tregner og en halv armeringsdiameter da armen d starter midt i armeringen.

Total mengde betong under armeringsjernene = $c_{nom} = 50mm$ $d = 90mm$, så veggtykkelsen må være 140mm. Innafor 300mm, så øker dimensjon til det i veggene mot jord.

Finner ut hvor mye armering som må inn i tverrsnittet

$$A_s = \frac{M_{ed}}{z \cdot f_{yd}} z = 0,835d A_s = 1150 \frac{mm^2}{m} \text{ Velger } \varnothing 16 \text{ som har } A_s = \pi \cdot 8^2 = 201mm^2$$

$$\frac{1150}{201} = 5.7 = 6 \text{ armeringsjern per meter.} = c/c 165mm.$$

armer med $\varnothing 16s165$

Krav for minimum oppflyt.

6.2 Stålbjelker

Bygget har to bjelkelag som fungerer som etasjeskiller og tak. De skal tjene forskjellige formål og vil derfor regnes ut med forskjellige verdier og dimensjoner.

Stålbjelker tak Taket skal dimensjoneres for å holde takteking og snølast, så det blir litt lavere verdier på lastene på taket enn i 2 etasje. For å få en så enkel og

fin statisk modell som mulig legger vi takbjelkene oppå søylene slik at de danner rammer, da blir c/c 4000mm. Den fordelte lasten taket skal holde er snø og takteking. Snølasten er på $1.6 \frac{kN}{m^2}$ (C.2) og taktekingen er antatt til $1 \frac{kN}{m^2}$

Med lastfakter for egenlast og nyttelast blir det $1 * 1.2 + 1.6 * 1.5 = 3.4 \frac{kN}{m^2}$

Hver bjelke skal bære 4 meter spenn, som blir en fordelt last på $13.6 \frac{kN}{m}$ per bjelke.

Fritt opplagt bjelke (3.7) 4 meter spenn

$$M_{rd} = \frac{qL^2}{8} = 27.2kNm$$

$$M_{yd} = f_{yd} \cdot w_y$$

$$M_{rd} = M_{yd}$$

$$w_y = \frac{27.2 \cdot 10^6}{338} = 80 \cdot 10^3 mm^3$$

Leser av fra Profiler og Formler [37] og finner at HEA100 har litt for liten w_y setter dimensjonen til HE120A, som har $w_y = 106 \cdot 10^3$

Kontrollerer for skjær etter (EC 1993 1-1, 6.2.6)

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \sqrt{3} \gamma_{M0}} \leq 1 \text{ (EC 1993 1-1, 6.19) Elastisk skjærkontroll}$$

τ_{Ed} er dimensjonerende skjærkraft γ_{M0} er partialfaktor fra (EC 1993 1-1, NA.6.1)

Siden det er et HEA tverrsnitt kan τ_{Ed} forenkles dersom $\frac{A_f}{A_w} \geq 0.6$ (6.21) A_f er arealet til en flens

A_w er arealet til et steg

$$\frac{A_f}{A_w} = 3.2$$

$$\frac{A_f}{A_w} \geq 0.6 \text{ er } \tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ (6.21)}$$

$$V_{Ed} = \text{dimensjonerendeskr} = \frac{q \cdot l}{2} = 27.2kN$$

$$\tau_{Ed} = \frac{27.2 \cdot 10^3}{(114-24)^5} = 60.44 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{60.44}{434/\sqrt{3 \cdot 1.05}} = 0.24 = \text{OK.}$$

Stålbjelkene i taket tåler både opptredende moment og skjær.

Stålbjelke 2 etasje Bjelkene i 2 etasje skal holde nyttelast og tekniske installasjoner samt gitterrist. Siden det ene aggregatet har fordelt last på $4.3 \frac{kN}{m^2}$ og gitterristen veier $0.3 \frac{kN}{m^2}$. Med lastfaktorer blir det totalt $(4.3 + 0.3) \cdot 1.2 = 5.5 \frac{kN}{m^2}$

Har valgt c/c 2000mm fordi det er blant de største spennene gitterrister tåler og det er en fordel å ha så få bærende bjelker som mulig for å unngå konflikter med de tekniske installasjonene.

Antar bjelken som fritt opplagt (3.7) for å være på sikker side.

Spenn på 4 meter og fordelt last på $11 \frac{kN}{m}$ fordi hver bjelke bærer 2 meter lange spenn med fordelt last på $5.5 \frac{kN}{m^2}$

$$M_{rd} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 22 \text{ kNm} \quad M_{yd} = f_{yd} \cdot w_y$$

$$M_{rd} = M_{yd}$$

$$w_y = \frac{22 \cdot 10^6}{338} = 65 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

w_y er elastisk motstandsmoment og står oppført i Stålkonstruksjoner Profiler og Formler som en tabellverdi for utvalgte tverrsnitt. Har i dette prosjektet valgt å bruke HE-A.

Tabellverdien til HE100-A er $w_y = 79 \cdot 10^3$ som er stort nok til å holde momentet.

Kontrollerer for skjær etter (EC 1993 1-1, 6.2.6). Se 6.2 for mer utfyllende utregning

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\sqrt{3}\gamma_{M0}} \leq 1 \quad (\text{EC 1993 1-1, 6.19}) \quad \text{Elastisk skjærkontroll}$$

$$\frac{A_f}{A_w} = 2$$

$$V_{Ed} = 22kN$$

$$\tau_{Ed} = \frac{22 \cdot 10^3}{(96-16)^5} = 55N/mm^2$$

$$\frac{55}{434/\sqrt{3} \cdot 1.05} = 0.22 = \text{OK.}$$

Velger bjelkelag i 2 etasje til å bestå av HE100-A med 2 meters c/c.

Ståldragere Ønsker å ha samme ståldragere i hele bygget og vil derfor dimensjonere for midt i bygget i 2. etasje. Finner først lastene, antar at hele lasten fra 2 etasje fordeler seg jevnt over antall meter ståldrager i bæreveggene. Finner totallaster fra 2 etasje

Karakteristisk totallast for 2 etasje = $845.4kN$

Det gir en fordelt last på ståldragere = $\frac{845.4kN}{19.4m \cdot 2} = 22kN/m$

Dimensjoneres som fritt opplagt bjelke med 4 meter spenn

$$M_{rd} = \frac{qL^2}{8} = 44kNm$$

$$M_{yd} = f_{yd} \cdot w_y$$

$$M_{rd} = M_{yd}$$

$$w_y = \frac{44 \cdot 10^6}{338} = 130.1 \cdot 10^3 mm^3$$

Tabellverdi for HE140A er $w_y = 155 \cdot 10^3 mm^3 = \text{ok.}$

Kontrollerer for skjær etter (EC 1993 1-1, 6.2.6). Se 6.2 for mer utfyllende utregning

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\sqrt{3}\gamma_{M0}} \leq 1 \text{ (EC 1993 1-1, 6.19) Elastisk skjærkontroll}$$

$$\frac{A_f}{A_w} = 1.86$$

$$V_{Ed} = 44kN$$

$$\tau_{Ed} = \frac{44 \cdot 10^3}{(133-17)5.5} = 69N/mm^2$$

$$\frac{69}{434/\sqrt{3} \cdot 1.05} = 0.28 = OK.$$

6.3 Stålsøyler

Ønsker å ha alle søylene med samme HEA tverrsnitt.

Sjekker derfor den lengste i 1 etasje. samt en i 2 etasje. Sjekker kun for knekk for å grovbestemme tverrsnitt.

fant i ?? at lasten fra 2 etasje er 843.4 kN+ 34 kN (egenlast ståldrager)=877.4kN og antar at denne lasten også fordeler seg jevnt over stålsøylene.

$$12 \text{ søyler} = \frac{877.4kN}{12} = 73.1kN \text{ per søyle.}$$

Den lengste søylen i 1 etasje er 2.4 m

Antar at den er innspent statisk bestemt og uten at den tar opp moment.



Figur 6.5: søyle

Finner søylens knekklast etter EC3.

$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$ Er søylens knekklast, den skal reduseres etter slankhet, med å ganges sammen med reduksjonsfaktor x .

x er en kan finnes som tabellverdi fra figur 6.4 EC 1993 1-1. Den er avhengig av knekkurve og $\bar{\lambda}$ som er en faktor for slankheten til søylen.

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ EC 1995 1-1 (6.50). Som det kommer frem av formelen er vi avhengig av N_{cr} for å finne $\bar{\lambda}$, noe som betyr at vi må anta et tverrsnitt og kontrollere etterpå. Forsøker HE120A.

$$N_{cr, HE120A} = \frac{\pi^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 2.31 \cdot 10^6}{2.4^2} = 831 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{2.53 \cdot 10^3 \cdot 355}{831 \cdot 10^3}} = 1.04$$

Må finne knekkurve fra (EC 1993 1-1, tabell 6.2), knekkurven er avhengig av tverrsnittet og stålqualiteten, med en HE120A er $\frac{h}{b} = 0.95 \leq 1.2$. Søylen kan knekke om svak akse og tykkelsen på flensen $\leq 100 \text{ mm}$ som betyr at dimensjonerende knekkurve er C.

Leser fra (EC 1993 1-1, figur 6.4) at $x = 0.6$

Total knekklast HE120A = $N_{cr} \cdot x = 831kN \cdot 0.6 = 498kN = \text{OK}$.

Sjekker 2 etasje, Knekk lengde 4 meter HE120A

$$N_{cr} = 299$$

$$\bar{\lambda} = 1.73$$

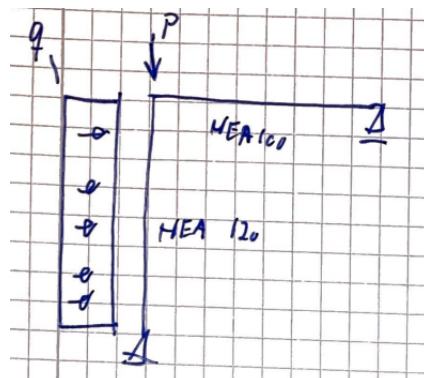
$$x = 0.25$$

Total knekklast HE120A 2 etasje = $N_{cr} \cdot x = 299kN \cdot 0.25 = 74.75kN = \text{OK}$ fordi den nesten klarer lasten i 1. etasje som er mye større enn lasten på taket.

En HE100A vil ha knekklast på 36kN, som fremdeles er ok. Kan ta det med videre i kontroll at HE100A oppfyller kravene for knekking. Blir momenter fra innspenninger og vindlast i tillegg, så holder oss til HE120A,

Søylen er overdimensjonert for knekking i 1 etasje, men søylen skal samtidig holde vindlasten. kontroll for det også

Ser på søylen som en ramme med bjelken i 2 etasje som er støttet mot knekking fra dragerne. Dette er en idealisert modell, men får kontrollert for vindlast på den måten.



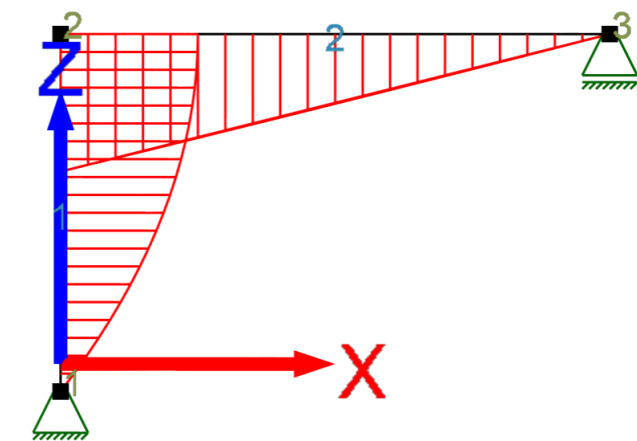
Figur 6.6: søyle med vind

$$q = 1.32kN (C.1) \cdot 4m = 5.28kN/m \quad P = 73.1$$

Etter (EC 1993 1-1, 6.3.3(4)) skal kapasiteten til bjelkesøyler kontrolleres etter interaksjonsformelen

$$\frac{N_{Ed}}{N_{by,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} \leq 1$$

Finner først M_{rd} og N_{Ed} med Focus konstruksjon



Sammendrag resultater	
Lastkombinasjon	<Alle komb. Brudd>
Største forskyvn. [mm]	678,2
Største N (trykk) [kN]	-68,91
Største N (strekk) [kN]	0,00
Største V [kN]	13,38
Største M [kN-m]	-17,85
Verste lastkombinasjon	
Forskyvn.	(1) Predefinert lastkombinasjon
N	(1) Predefinert lastkombinasjon
Vz	(1) Predefinert lastkombinasjon
My	(1) Predefinert lastkombinasjon

Figur 6.7: søyle med vind

$$M_{rd} = 17.85 \text{ kNm} \quad N_{Ed} = 68.91 \text{ kN}$$

$$\text{Finner } N_{crk} = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

Finner L_k etter stålkonstruksjoner [37] tabell 4.1 Siden rammen er støttet av dragerne og bjelke blir det system II som er aktuelt for vårt tverrsnitt

$$\text{Finner } \gamma L_s = 2.4 \text{ m}$$

$$E = 2.1 \cdot 10^5$$

$$I_s = 6.06 \cdot 10^6 \text{ HE120A}$$

$$L_b = 4 \text{ m}$$

$$I_b = 3.49 \cdot 10^6 \text{ HE100A}$$

$$\gamma = k \frac{L_s}{EI_s}$$

$$k = \frac{3EI_b}{L_b} = 549.7 \cdot 10^6$$

$$\gamma = 1.09$$

Finner δ

$$\delta = \frac{3EI_b}{L_b^3} \cdot \frac{L_s^3}{EI_s} = 1.78$$

Bruker δ og γ til å lese av β til 1.34 fra tabell 4.3 [37]

$$L_k = \beta \cdot L_s = 3.22m$$

$$N_{crk} = 1211kN$$

$$N_{rk} = F_y \cdot A = 434 \cdot 2,35 \cdot 10^3 = 1098 \text{ Mrd} = f_y \cdot w_y = 46kNm$$

$$\text{Finner } \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{rk}}{N_{crk}}} = 0,95$$

$h/b = 0.98$, knekker om y-y ut i fra tabell 6.2 EC 1993 1-1 gir knekkkurve b

knekkurve b og $\bar{\lambda}$ gir $x = 0.62$ fra Figur 6.4 EC 1993 1-1

$$\gamma_{M0} = 1.05 \text{ (EC 1993 1-1, NA.6.1)}$$

$$N_{by,rd} = \frac{N_{crk} \cdot x}{\gamma_{M0}} = 715kN$$

Må finne $k_{yy} = c_{my} \left(1 + 0.6 \frac{N_{Ed}}{N_{by,rd}}\right)$ $c_{my} = 0.9$ Tabell B.3 EC 1993 1-1

$$k_{yy} = 0.95$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{by,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{yEd}}{M_{yRd}} = 0.46 = \text{OK.}$$

Søylen har stor nok dimensjon med HE120A.

6.4 Trevegg

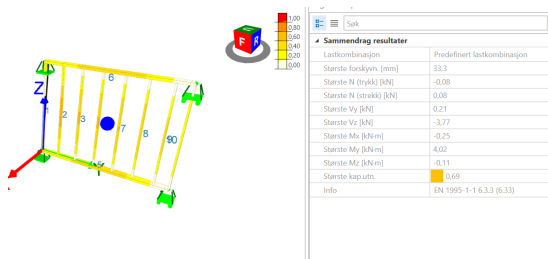
Inne i stålrammene er det stenderverk av C24 trevirke, de skal dimensjoneres for å kun holde vindlast. Reisverket i stål skal ta alle horisontale og vertikale laster utenom vind. Samt egenlast på kledning og isolasjon.

Treveggen skal kun holde vindlasten, og vil som resten av konstruksjonen dimensjoneres etter den mest ugunstige lasten selv om vindlasten er ulik rundt hele byg-

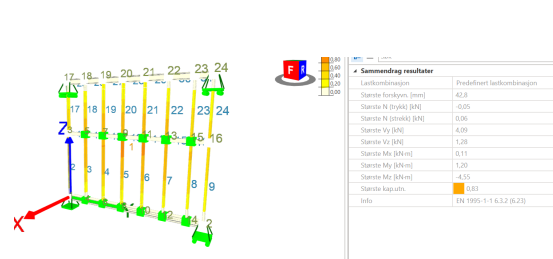
get.

Stenderverket i tre ble bergnet i focus konstruksjon.

Ved bruk av standard stenderer med 48x98 og c24 konstruksjonsvirke tåler begge etasjene vindlasten med minste sikkerhet på 0,83.



Figur 6.8



Figur 6.9

For å kontrollere utregningene i Focus konstruksjon har jeg beregnet en trestender i den mest vind-utsatte rammen

Anser stender som fritt opplagt bjelke 3.7 for å være på sikker side.

Det er to forskjellige systemer, i 2 etasje er stenderne stivet av av en bjelke midt på og i 1. etasje er det bare et spenn. For kontrollberegning holder vi oss til å dimensjonere uten å ta hensyn til at innspenningen er i en trebjelke. Da blir lengste spenn 2,4m.

Dimensjonerer etter verste tilfellet, som blir med nordlig vindretning, da får østlige og vestlige vegger et sug på 1.32 kN/m C.1

Fritt opplagt bjelke 2.4 m, fordelt last på 1.32 kN/m

$$\sigma = \frac{M_{ed}}{w} = \frac{1 \cdot 10^6}{768 \cdot 10^3} = 13.01 \frac{N}{mm^2}$$

$$M_{ed} = \frac{q \cdot L^2}{8} = 1 kNm$$

$$w = \frac{b \cdot h^2}{6} = 768 \cdot 10^3 mm^3 (48mm \cdot 98mm)$$

$$\sigma \leq f_{yd}$$

$$f_{yd} = k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} (EC19951 - 1(2.4.3)) = 16.61$$

σ er mindre enn f_{yd} når vi bruker C24, 48x98mm trestendere. Kan vurdere å gå ned til C20 konstruksjonsvirke da f_{yd} til C20 = 13.85 som fremdeles er ok.

k_{mod} er en tabellverdi fra tabell 3.1 i EC 1995 1-1 som bestemmes fra treverk og klimaklasse og varighet på lasten. Klimaklassen er antatt å være 1. altså 20 grader og maks 65% luftfuktighet (EC 1995 1-1, 2.3.1.3) da treverket skal være på innsiden av kledning og isolert. Siden vi dimensjonerer for vindlast blir det en korttidslast (EC 1995 1-1, tabell 2.2). Det gir en $k_{mod} = 0.9$

γ_m er en tabellverdi fra EC 1995 1-1 tabell 2.3 som er avhengig av typen treverk, vi bruker konstruksjonsvirke. Det gir $\gamma_m = 1.3$

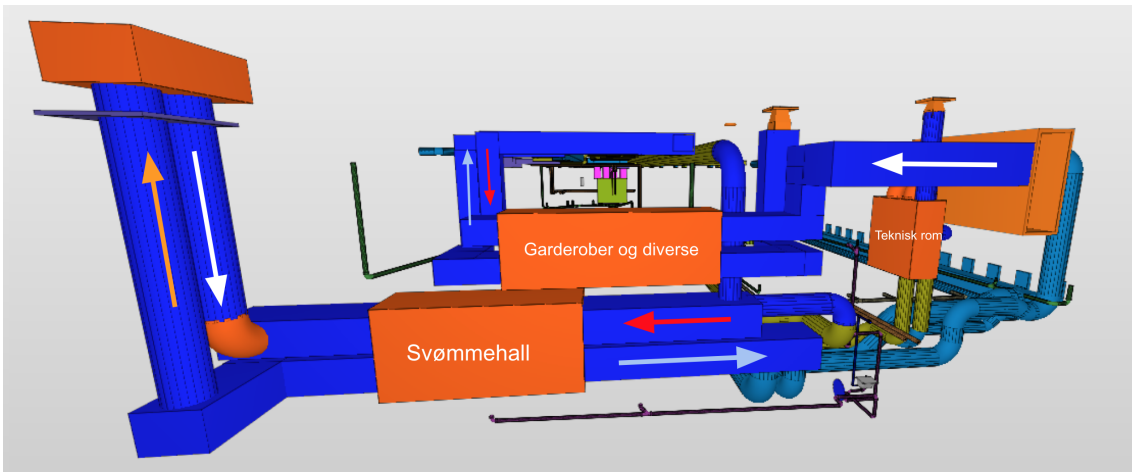
Kritiske punkter I noen punkter i konstruksjonen er det gjennomføringer som svekker stenderverket og som må støttes med utvekslinger.

Garasjedør kommer til å gi et ganske stort moment ved innspenningene i stenderverket fordi alle vindkreftene fordelt på døren må taes opp ved innspenningene.

7 3d-modell

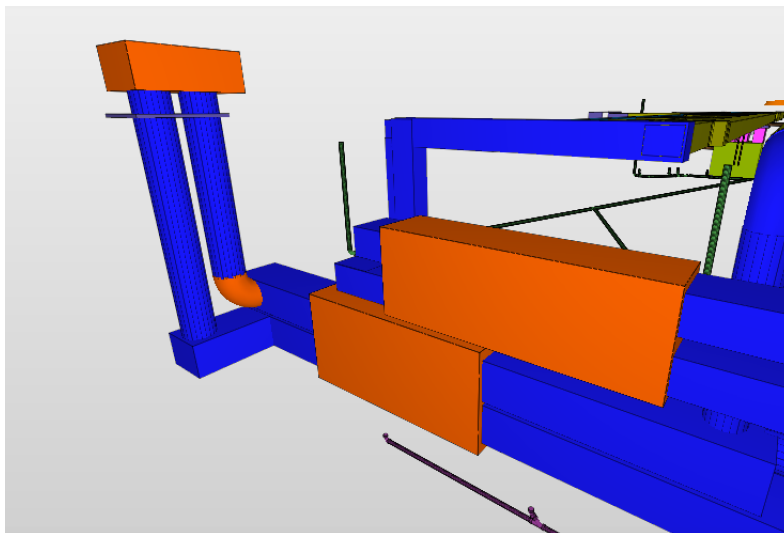
Etter en samtale med Skanska, ble vi informert om at det vanlige i slike prosjekter er å adressere de tekniske behovene først, og deretter tilpasse resten av bygget til dette. Som et resultat av dette, utviklet vi først en modell for ventilasjonssystemet.

Nedenfor er det et utsnitt av løsningen vår. Her er aggregatene fra Menerga lagt inn med riktige dimensjoner. Dimensjonene på kanalene som går til og fra ventilasjonsaggregatene er valgt slik at de passer nøyaktig inn i åpningene som er angitt av Menerga. Pilene illustrerer retningene til luftstrømmene, hvor røde og oransje piler er fraluft og avkast, hvit er uteluft og lys blå er tilluft. Det er ett luftinntak på taket til venstre på figuren, og ett langs veggen til høyre.



Figur 7.1: Ventilasjonsanlegg i teknisk rom

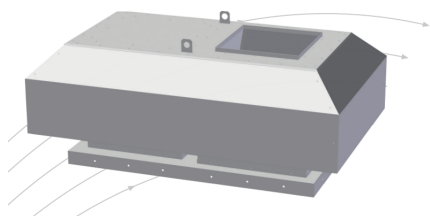
Vi har valgt å endre konfigurasjonen av luftinntaket og avkastet til svømmehallen. I vårt design går begge kanalene rett opp, og inntaket og avkastet er plassert ved siden av hverandre, vertikaldelt. Dette fører til kortere kanaler og hindrer luft fra avkastet i å sirkulere tilbake til inntaket, gitt at avkastet har en tilstrekkelig hastighet. Bjørn Aas, tidligere underviser ved NTNU, nevnte også at avkast helst skal gå ut på taket når det er luft med mye fuktighet. I dette tilfellet er det mye fukt fra bassenget, og et avkast langs siden vil skape problemer med kondens og rennende vann inni kanalene som er vanskelig å håndtere, i følge ham.



Figur 7.2: Luftinntak og avkast til svømmehall

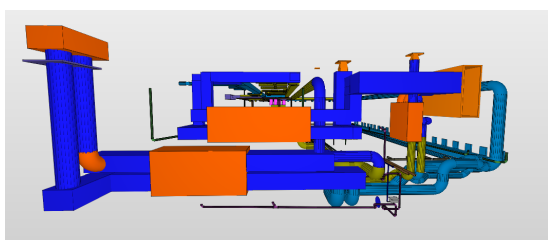
På taket plasseres en trox takhatt. Den har avkastet oppover og samler luft inn langs

sidene [26]. Dimensjonen velges ut i fra diagrammet [27] basert på beregnet luftmengde, som er $12\,000\text{ m}^3$ til svømmehallen. Kanaltilkoblingene til takhatten er på 800mm med valgt dimensjon. Dermed brukes også denne dimensjonen på kanalene ned til aggregatet. Det kunne vært aktuelt å gå opp en dimensjon på disse kanalene for å unngå for høye lufthastigheter. Dette diskuteres nærmere i trykktap avsnittet.

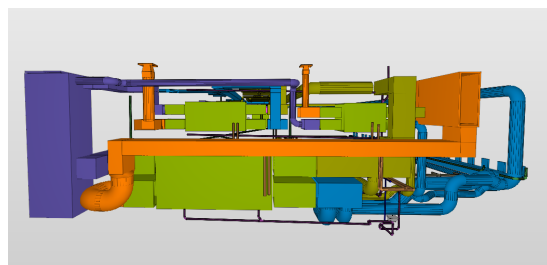


Figur 7.3: Trox takhette

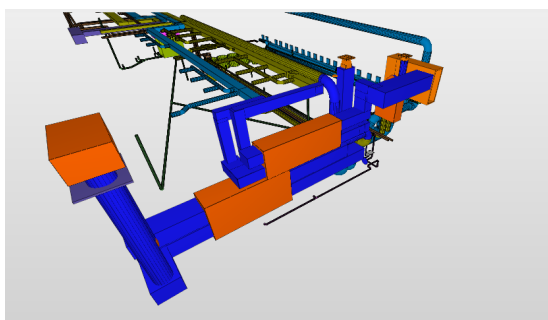
Resten av aggregatene har inntak på siden av bygget og avkast rett opp, samme løsning som fra anbudet. Nedenfor vises vår 3d-modell til venstre ved siden av modellen fra anbudet til høyre. Vi har brukt anbudet som et utgangspunkt, og har beholdt alle gjennomføringene inn til eksisterende bygg likt i vår modell.



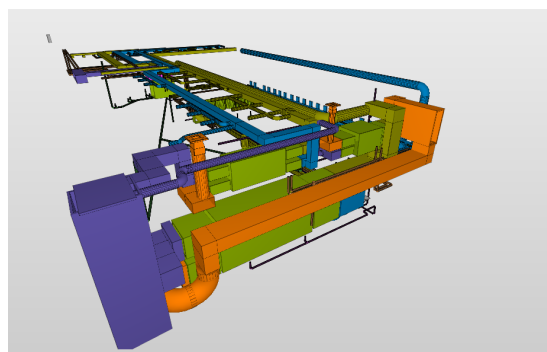
Figur 7.4



Figur 7.5

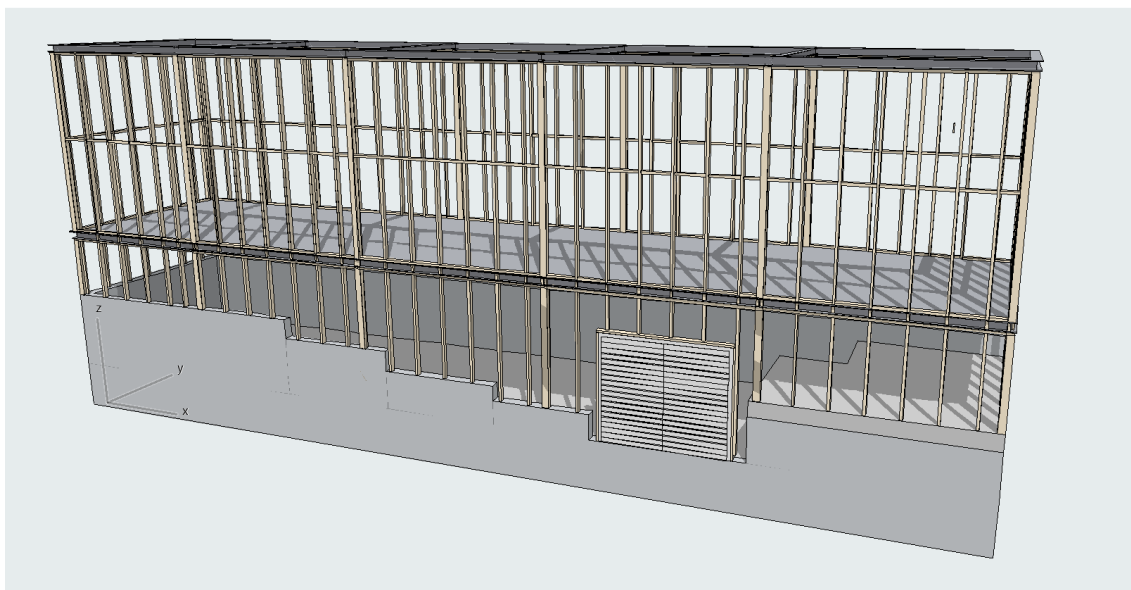


Figur 7.6



Figur 7.7

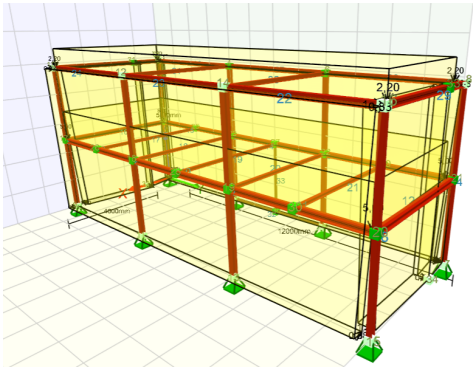
Det er også brukt 3d-modeller for konstruksjonsdelen av oppgaven. Først ble søyler, dragere og bjelker håndregnet for å finne dimensjonene. Deretter ble de tegnet inn i ArchiCAD, et BIM-program for hustegning. På ArchiCAD er det mulig å importere ståltverrsnitt etter Eurocode-standarder slik at vi kunne tegne et bygg med HEA-tverrsnitt med helt korrekte mål. Bygget ble tegnet etter utvendige mål fra arkitekttegningen, samt med informasjon om hvordan ventilasjonsinstallasjonene så ut.



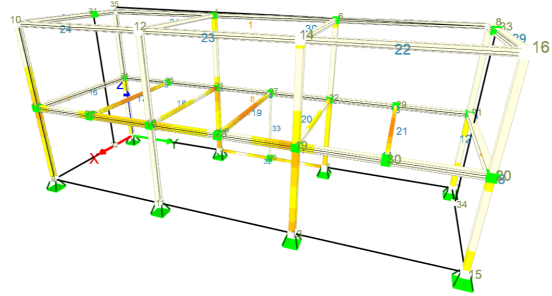
Figur 7.8: 3d-modell konstruksjon

Etter at bygget var tegnet i ArchiCAD ble det importert til Revit hvor begge modellene ble satt sammen. Dette gjorde at vi kunne se potensielle feil mellom konstruksjon og ventilasjon visuelt. Blant annet ble etasjehøyden justert da etasjeskilleren på byggetegningen gikk rett gjennom et aggregat. Etter å ha sett på filene og rettet opp i feil som var lett å se visuelt, kjørte vi modellen gjennom en "model checker" med Solibri. Da ble kollisjoner uthevet slik at de var lettere å se.

For å kontrollere konstruksjonen og at mekanikken er korrekt utført, tegnet vi også en forenklet versjon av modellen i Focus konstruksjon. Det er et konstruksjonsprogram hvor man kan tegne konstruksjoner, legge på laster og sjekke modellen etter gjeldende Eurocode.



Figur 7.9: Påførte laster Focus

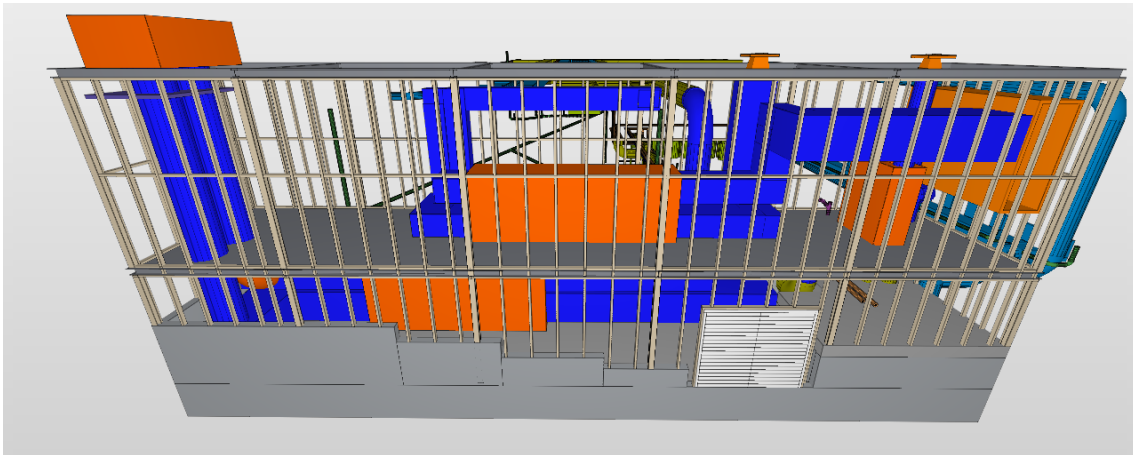


Figur 7.10: Focus kapasitetskontroll EC

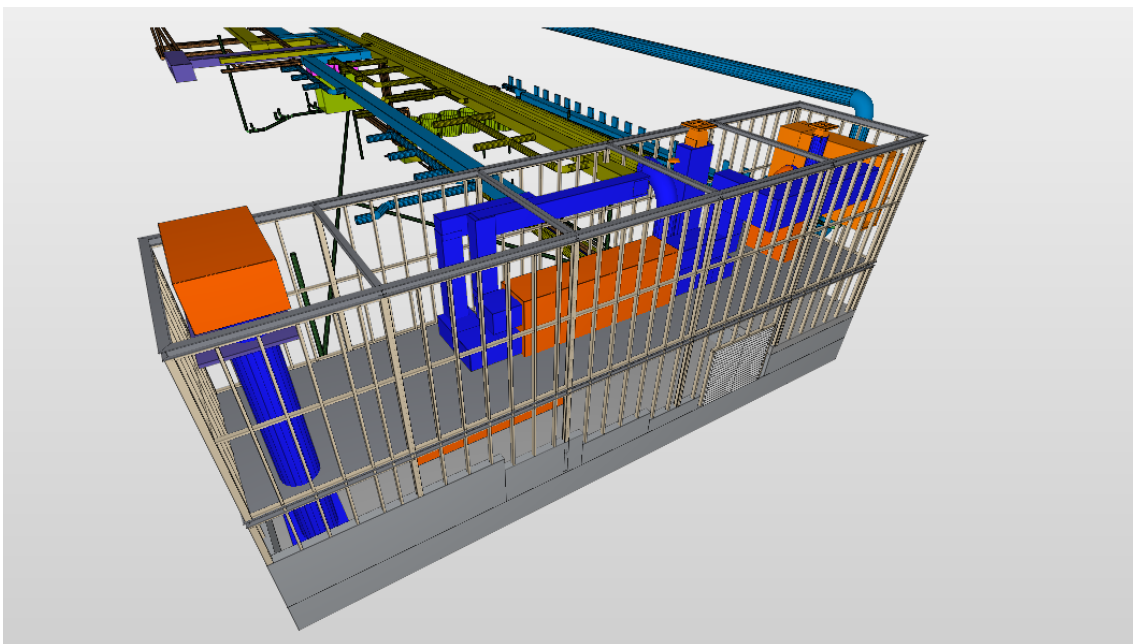
Modellen er tegnet litt kortere enn den virkelige modellen, da fasaden egentlig strekker seg lengre mot siden. Det ble gjort for å forenkle modellen, men det skal ikke være store forskjeller om det legges til en ramme til på høyre side. Det er synlig på modellen at kapasitetsutnyttelsen er mye høyere i første etasje enn i andre etasje som følge av at alle dimensjonene er dimensjonert fra verste punktet i konstruksjonen og ikke hver enkelt konstruksjonsdel. Det kan diskuteres om det er nødvendig, og det er mulig at det kan være betydelige besparelser å hente ved å redusere dimensjonene i andre etasje.

En feil med modellen er at søyle nummer 2, fra venstre i fremste rekke, viser betydelig lavere utnyttelse enn søyle nummer 3. Dette gir ikke mening statistisk da modellen er symmetrisk. Derfor antas det at det er en feil i modellen eller utregningen. Vi var ikke i stand til å rette opp i dette avviket, men vi mener det er innenfor et akseptabelt sikkerhetsområde. Søyle nummer 3 viser at den kan håndtere belastningen, til tross for at søyle nummer 2 er underbelastet.

Slik ser modellen ut når det er sammensatt.



Figur 7.11: Ferdig modell



Figur 7.12: Ferdig modell

8 Trykktap

For å minimere energiforbruket til viften i ventilasjonssystemet, bør kanalene designes så effektivt som mulig. SFP-faktoren, som viser hvor mye energi viften bruker per kubikkmeter, bør ikke overskride $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ [23].

Den utregnes slik:

$$SFP = \frac{P_{vifter}}{Q} \quad (3)$$

Hvor P er den totale vifteeffekten på begge viftene (avtrekk og tilluft) og Q er luftmengden [45]. Fra tabell til aggregatet til svømmehallen leses effektbruken til viftene av. Totalt 4,62 kW, med 100% drift gir 12000 m³/h [39] (3,33 m³/s) og dermed en SPF på 1,39 kW/(m³/s), som er innenfor kravet.

Formel for effekten viften bruker er:

$$P = \frac{\Delta p * Q}{\eta} \quad (4)$$

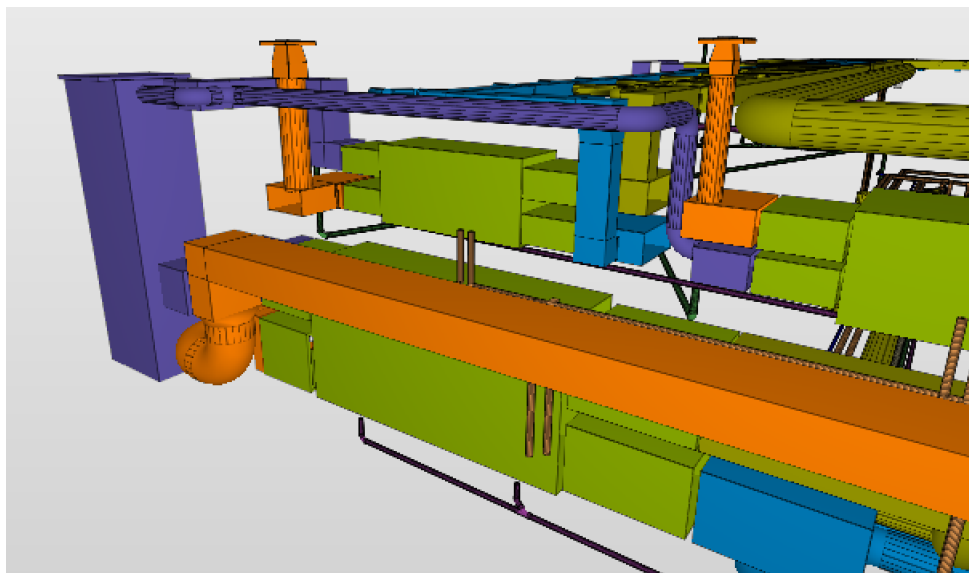
Hvor Δp er trykkfall, Q luftmengden og η er viftens virkningsgrad [21]. Virkningsfaktoren η varierer med forskjellig trykkfall og luftmengde i systemet. For sjekke den antar vi at viften er dimensjonert etter 600 Pa, som et utgangspunkt. Til tross for at det faktiske trykket mest sannsynlig kan være høyere eller lavere, foretar vi en forenkling og bruker det som vårt utgangspunkt, hovedsakelig på grunn av manglende informasjon i produktdatabladet.

Vi kan finne virkningsgraden hvis vi antar et trykkfall på 600 Pa i hver retning:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\Delta p * Q}{P} \\ \eta &= \frac{(600 + 600) * 3,33}{4,62 * 10^3} \\ \eta &= 0,86 \end{aligned} \quad (5)$$

Virkningsgraden forteller om effektiviteten til viften. Høyere virkningsgrad gir mindre effektforbruk fra viften. Selv om virkningsgraden endrer seg med varierende trykktap og luftmengde, antar vi at disse endringene er ubetydelige når vi undersøker forholdet mellom endringer i trykktap og endringer i viftens effekt [48]. Lavere trykkfall (Δp) vil derfor gi lavere effekt (P) og dermed lavere SPF i våre beregninger.

Nedenfor er kommunens foreslåtte løsning fra anbudet. I dette designet er luftinntaket og avkastet plassert på forskjellige sider av bygningen. Dette hjelper til med å unngå problemer med lukt og resirkulering av brukt luft til inntaket. Ulempen med denne løsningen er imidlertid at den fører til lengre kanaler og flere bend, noe som reduserer effektiviteten.

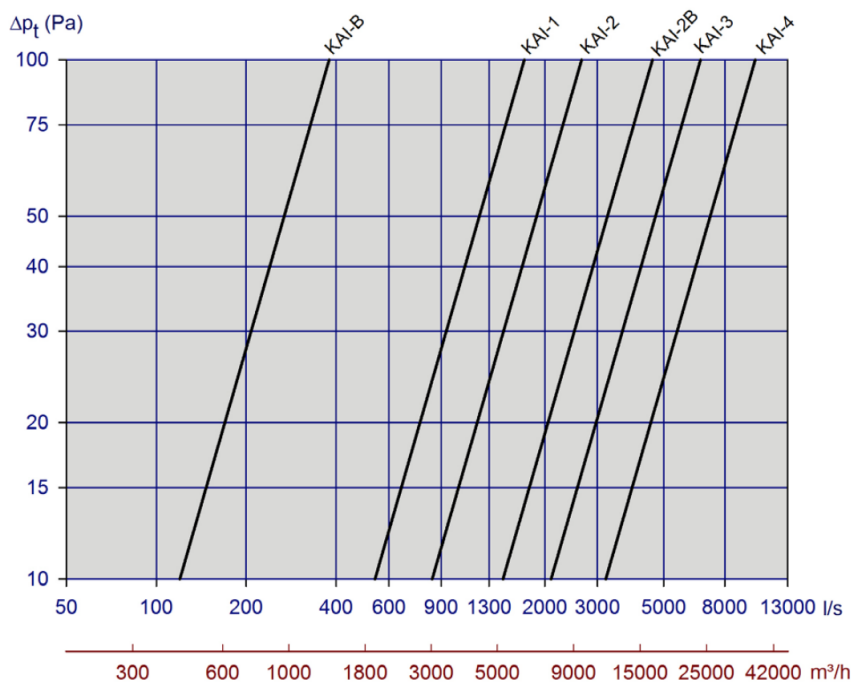


Figur 8.1: Kommunens løsning

Den oransje kanalen i illustrasjonen representerer avkastet og strekker seg langs taket i første etasje. Frisk luft føres gjennom den blå kanalen, som er plassert til venstre i figuren. Vedlagte beregninger i vedlegg B viser trykktapet langs denne oransje strekningen fra ventilasjonsaggregatet til utløpet, det vil si trykktapet i avkastet. Vi har gjennomført beregninger både for kommunens løsning og for vår egen løsning, som et eksempel på hvor mye trykktap som kan spares ved å velge en kortere løsning. Resultatene viste seg imidlertid å være ganske like - kommunens løsning resulterte i et trykktap på 24 Pa på denne strekningen, mens vår løsning resulterte i et trykktap på 23 Pa. For å ytterligere redusere trykktapet, kan vi avrunde de rektangulære bendene for å oppnå en lavere ζ -verdi. Selv om vi ikke har tid til å illustrere dette i modellen, kan trykktapet reduseres ytterligere med avrundede bend, noe som igjen vil redusere viftens energiforbruk. Større kanaler vil også senke lufthastigheten som vil redusere trykkfallet og viftens energiforbruk. Konklusjonen er derfor at færre bend og kortere

strekninger, som i vår løsning, kan redusere trykkfallet som igjen gir en lavere SPF verdi. Selv om SPF-verdien baserer seg på trykkfallet i hele systemet, viser denne enkle utregningen potensialet ved å endre på kanalføringene.

Det er verdt å merke seg at vår løsning krever et høyere trykktap for å oppnå riktig hastighet og kastelengde fra taket, siden inntaket er plassert tett inntil. Figuren under viser trykktapet i forhold til luftmengde og størrelse på takhetten.



Figur 8.2: Trykktap gitt dimensjon og luftmengde

KAI-3, som er valgte størrelse gir ca 20 Pa trykkfall ved avkastet. [27] Løsningen fra kommunen gir også et trykkfall ved avkastet, men dette trykkfallet er ukjent.

Konklusjonen er at korte kanalstrek og avrundede bend bidrar til betydelig lavere energiforbruk for viften, noe som er viktig å ta i betraktning i prosjekteringsfasen. Større kanaler vil også senke lufthastigheten som igjen senker viftebehovet og SPF-faktoren. Imidlertid er det store, uunngåelige trykktap inne i ventilasjonsaggregatet, som stammer fra elementer som luftinntaksrister, filtre, varmegjennvinnere, varme- og kjølebatterier, blant annet. Disse er ofte større enn tapet i resten av ventilasjonsnett.

[45]

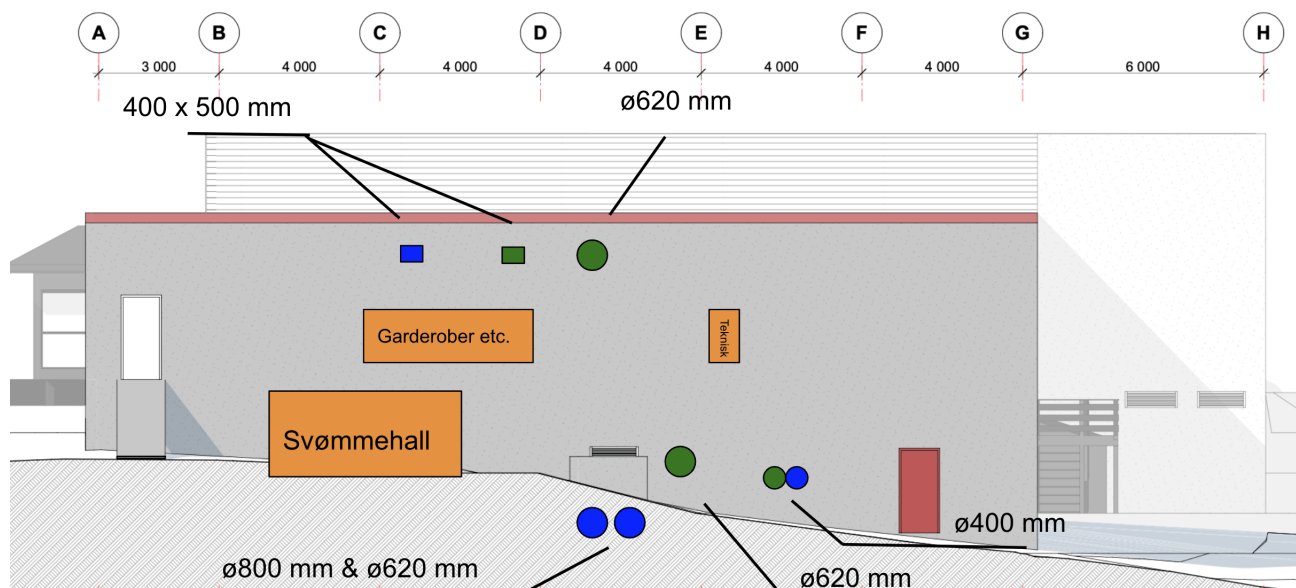
9 Lyd

Støy fra ventilasjonsanlegg kan være en stor kilde til innendørs støy i bygninger, og påvirker hvor behagelig det er å være inne i bygget. Ventilasjonsdeler som er plassert utendørs kan også lage støy som høres utenfor bygget. Derfor er det viktig å velge utstyr og planlegge plasseringen slik at det lager minst mulig støy. [7]

På grunn av tidsbegrensninger vil vi ikke dykke dypere inn i støyberegning i denne omgang, men vi understreker at dette er et viktig aspekt å vurdere. En generell regel er at runde bend og store, rette kanaler bidrar til mindre støy, på samme måte som de reduserer trykktapet, noe som er gunstig [35]. En ofte benyttet løsning for å redusere støy er installasjon av lydfeller. I vårt prosjekt har vi mulighet til å plassere disse i det tekniske rommet, ettersom vi har tatt hensyn til dette allerede i planleggingsfasen.

10 Horisontale gjennomføringer

Ventilasjonskanalene er nødt å gå gjennom vegger og etasjeskiller. Det gir utfordringer ved at det kan bli konflikt mellom konstruksjonen og installasjonene. I punktene hvor det er konflikt, prøver vi å holde kanalene effektivt plassert samtidig som krav til konstruksjonen oppfylles. Her ser vi nærmere på de åtte ventilasjonskanalene som går inn til idrettsbygget. Plasseringen av disse gjennomføringene er de samme som i modellen fra anbudet. Nedenfor vises tilluft og avtrekk som fargene blå og grønn.



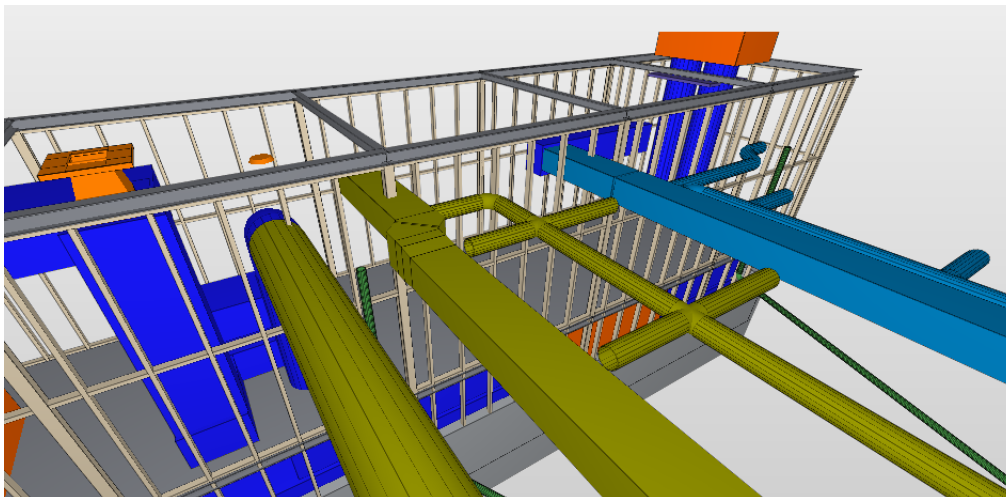
Figur 10.1: Horisontale gjennomføringer

For å integrere med det eksisterende idrettsbygget, må både kanaler og rør passe gjennom to separate vegger - den ene tilhørende vårt nye tilbygg, og den andre tilhørende selve idrettsbygget.

Vi må føre rør gjennom den eksisterende betongveggen, siden betongveggen er støttet av betongsøyler og dragere antar vi, som i anbudet, at den ikke er bærende. Ikke-bærende betongvegger kan kjernebores uten behov for forsterkninger. Kjerneboring utføres ved bruk av et hulbor, som fjerner et sylindereformet stykke fra veggen. De største dimensjonene som må kjernebores er 800mm, selv om det er et stort hull er det teknisk mulig å lage. Derfor er utfordringene i all hovedsak knyttet til veggen til tilbygget.

10.1 Andre etasje

I andre etasje går kanaler til og fra garderobe over himling, slik at det nye ventilasjonsanlegget enkelt kan kobles på eksisterende kanaler på andre siden av veggen. I tillegg kommer en kanal som drar avtrekk fra svømmehallen inn i samme plan. I figuren er de grønne kanalene avtrekksluft, mens de blå kanalene viser tilførsel av luft.



Figur 10.2: Gjennomføringer i 2etg

Den bærende konstruksjonen er dimensjonert slik at det kun er stålsøyler og ståldrager som bærer konstruksjonen. På den måten er den eneste belastningen stenderverket skal tåle, belastningen fra vindlast og egenvekt til seg selv og kledning/isolasjon. Derfor er det eneste konstruksjonsmessige kravet at gjennomføringene over betongnivået ikke skal treffe stålsøylene.

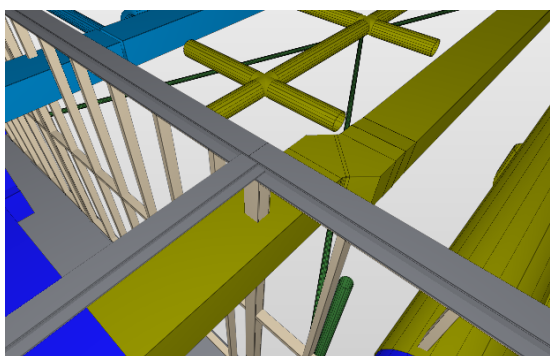
For å ha spikerslag til kledningen, og for å være sikker på at veggen er sterk nok, vil det bli bygget utvekslinger hvor kanalene skal gjennomføres. Utvekslingene vil bli bygget som ved et vindu. Veggen skal bygges c/c600, altså 600 mm mellom hver stender. Det betyr at om vi lager utveksling for en stender vil lysåpningen kunne bli 1100 mm. Den største kanalen som skal gjennom er 830mm, dermed går fint med en slik åpning.

10.1.1 Kollisjon

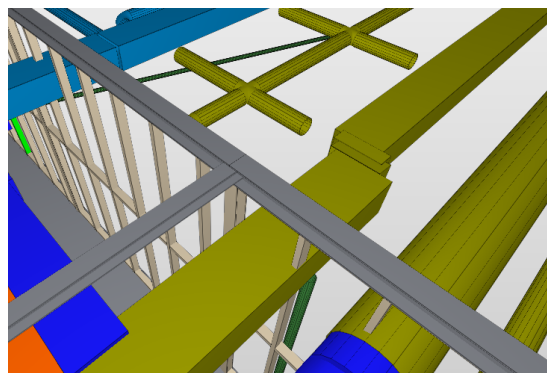
Etter å ha utført en kollisjonsanalyse i Solibri, oppdaget vi at avtrekkskanalen fra garderoben kolliderer med en stålsøyle (se figur 10.5). Ved å identifisere slike kollisjoner tidlig i planleggingsprosessen, kan vi tilpasse modellen kjapt og med minimale ulemper. En enkel huskeregel "Rule of ten" viser til hvordan kostnader knyttet til feil kan tidobles for hver fase i byggeprosjektet. Feil som oppdages tidlig koster nesten ingenting å fikse, som i dette tilfellet, men hvis det oppdages senere koster det mye mer.

[10]

I dette tilfellet gir en liten justering av kanalens plassering en enkel løsning. Ved å flytte kanalen litt, unngår vi konflikten uten å gjøre kritiske endringer i ventilasjonssystemet. Selv om det fortsatt vil være et bøy i kanalen som tidligere, vil det nå peke i motsatt retning.



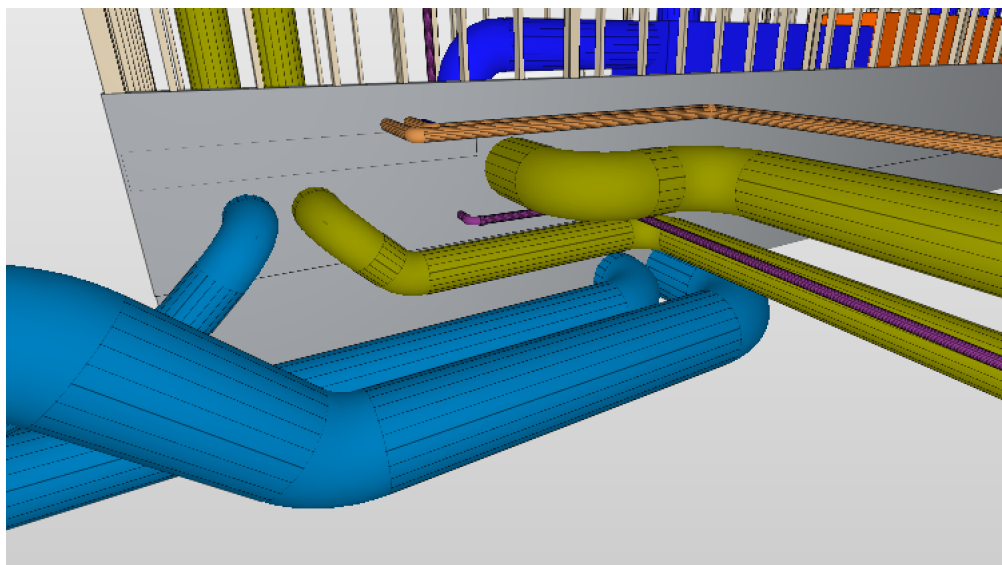
Figur 10.3: Kollisjon



Figur 10.4: Kollisjon fikset

10.2 Gjennom betong

I kjelleren er det betongvegger. Her skal en del rør og kanaler gjennom. Det gjelder både ventilasjon til teknisk rom og svømmehall, samt vann og annet fra teknisk rom.



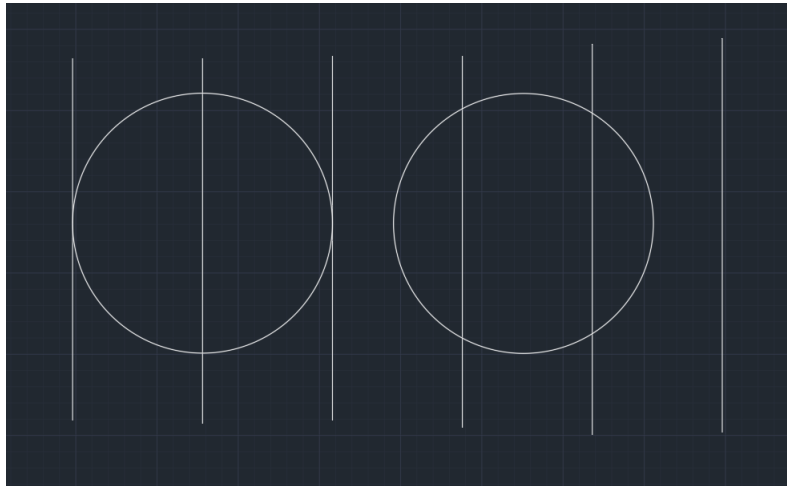
Figur 10.5: Gjennom vegg i kjelleren

Som tidligere nevnt, vil vi benytte kjerneboring for å lage hull gjennom den eksisterende betongveggen, ettersom vi antar at den ikke er bærende. Den nye betongveggen i vårt tilbygg er derimot bærende.

De største kanalene som skal gjennomføres, er ventilasjonskanalene til svømmehallen. To store kanaler, en med diameter på 800 mm og en annen på 620 mm, skal transportere frisk luft til hallen. Disse kanalene skal gå gjennom betongveggen under betongdekket i kjelleren. Spørsmålet er om det er best å støpe veggen med hullgjennomføringene, altså legge inn en åpning mens det støpes, eller kjernebore veggen etter den er støpt.

Ved å forhåndsbestemme hull før betongstøping kan man posisjonere armeringsjernene og optimalisere plasseringen av gjennomføringene. Dette fjerner behovet for å ta høyde for den mest ugunstige plasseringen ved dimensjonering, siden man plasserer hullene samtidig med armeringsjernene. I tillegg reduseres svinn av betong og stål fordi hullet ikke trengs å fylles. Vi antar at det ikke er behov for forsterkning for hullene, så både kjerneboring og forhåndsdefinerte hull vil gi sterk nok konstruksjon. Ulempen er at metoden med å lage hull før støping er mer tidkrevende da den innebærer å klippe hull i armeringsnettet ved installasjon. Det krever også større nøyaktighet for å sikre at hullet passer med kjerneboringen i den eksisterende veggen.

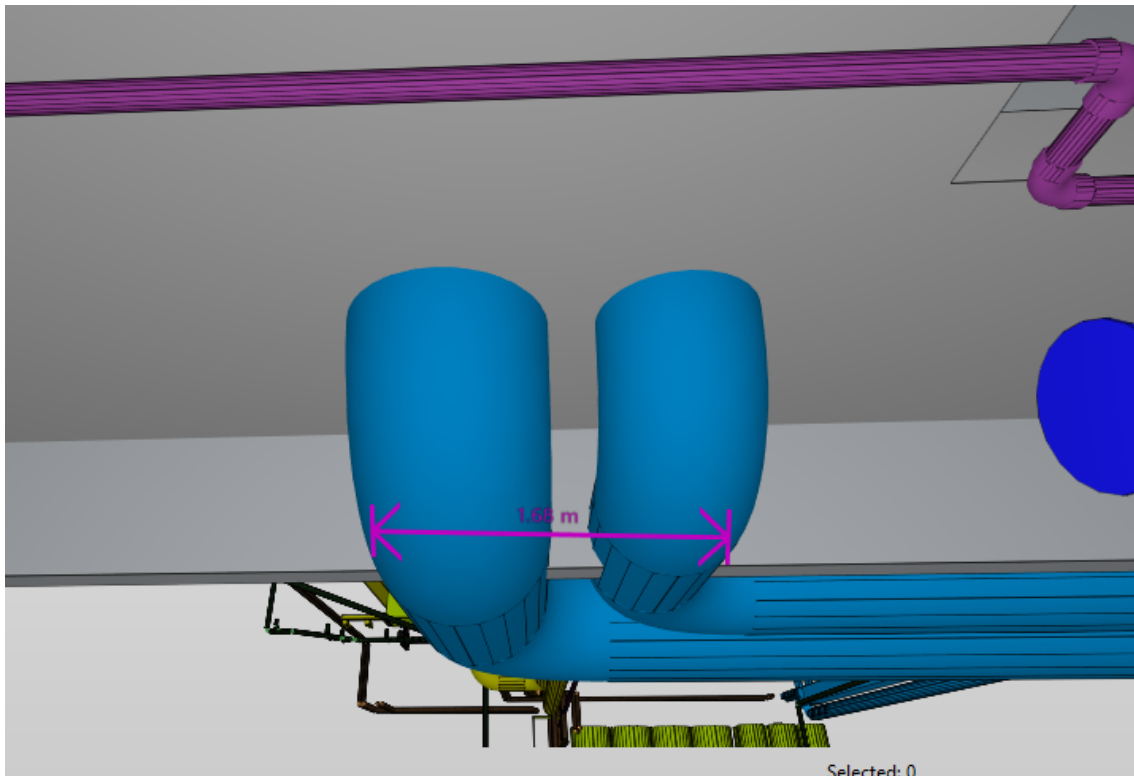
Siden eksisterende vegg likevel skal kjernebores gjennom, kan det være at den mest effektive løsningen er å kjernebore gjennom begge veggene. Byggeprosessen kan bli mer effektiv, da kjerneboringsutstyret allerede skal være på plassen. Da slipper man også å kutte armeringen på forhånd som sparer arbeidstid. Siden vi antar at det ikke trengs forsterkning rundt hullet er kjerneboring mest sannsynlig en lettere løsning med tanke på tidsbruk og presisjon i byggeprosessen. Ulempen er at det krever ekstra betong og stål som svinnes. Det kan også bores ugunstig slik at flere armeringsjern blir kappet, se figur 10.6. Det gir en lavere sikkerhet som må dimensjoneres for.



Figur 10.6: Ugunstig og gunstig hullplassering

Ettersom senteravstanden (c/c) er 400mm og det planlegges gjennomføringer på 800mm, er det mulig at kun to armeringsjern blir kappet hvis hullet plasseres på forhånd. Ved kjerneboring kan det i det mest ugunstige tilfellet kuttes tre armeringsjern, som illustrert i figur 10.6. Siden det er teoretisk mulig å treffe tre armeringsjern og plasseringen innenfor betongen ikke er nøyaktig kjent, må det tas i betraktning at tre jern kan bli kappet.

Siden det ikke er jordlast hvor det er gjennomføringer til rør er ikke strekkarmeringen dimensjoneringsmessig nødvendig, og det skal være sikkert å kjerneborre slik at noen av armeringsjernene ryker. Det er i midlertid problematisk at to store kanaler er rett ved siden av hverandre som her.



Figur 10.7: To kanaler

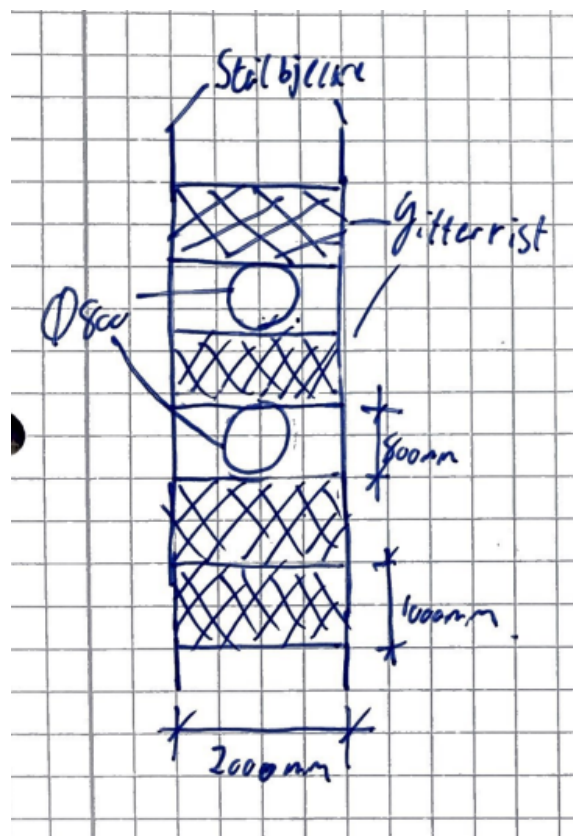
Her blir armeringsjern kappet som følge av kjerneboring i et område på 1.6m med mellom et og ingen armeringsjern i mellom rørene.

Et spørsmål som har blitt drøftet er hvorvidt det ville være mer hensiktsmessig å dirigere kanalene langs alternative ruter for så å lede dem gjennom treveggen eller med større avstander. Det er en løsning som gjør at konstruksjonen er lettere å bygge og man sparer kjerneboring/kappet armering. Imidlertid er det begrenset med plass i det eksisterende bygget for kanalføringer. Det ledet oss til konklusjonen om at de valgte gjennomføringene er godt plassert. Derfor utføres resten av løsningen med inntegrede kanaler som utgangspunkt.

11 Vertikale gjennomføringer i ståldekket

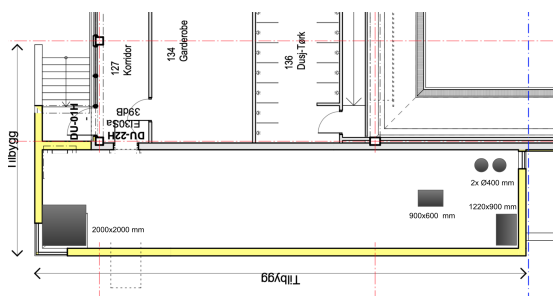
Ståldekket som vi har brukt som etasjeskiller fungerer som en erstatning for betongdekket som er skissert i anbudstegningene. Det gir en lettere konstruksjon som bygger midre i høyden og lar hele tilbygget være en brannteknisk sone. Det er en del gjennom-

føringer som skal gjennom ståldekket, og mange har dimensjoner som ville svekket stålpplatene så mye at vi måtte ha lagt til ekstra stålbjelker for å hjelpe dem å bære last. Den alternative løsningen blir å fjerne hele ståldekket med en bredde tilsvarende rørdiameteren.

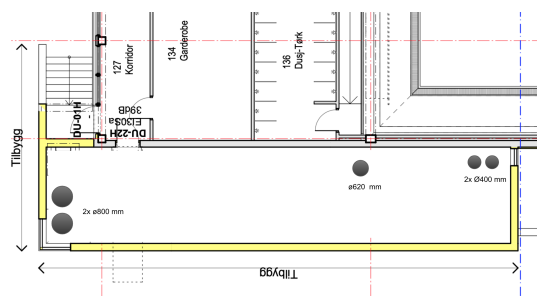


Figur 11.1: Tilpasset bjelkelag

I anbudsdocumentene er det skissert flere kanaler som skal gå gjennom dette dekket. De er store og rektangulære. I vår løsning har vi valgt å gjøre alle vertikale gjennomføringer sirkulære, og vi har forsøkt å plassere dem så nær veggene som mulig for å kunne fjerne ristene tilsvarende diameteren på røret uten å ødelegge fremkommeligheten på ståldekket. Det gjør også installeringen enklere da vi slipper hull i platene.



Figur 11.2: Vertikale gjennomføringer, fra kommunen



Figur 11.3: Vertikale gjennomføringer, vår løsning

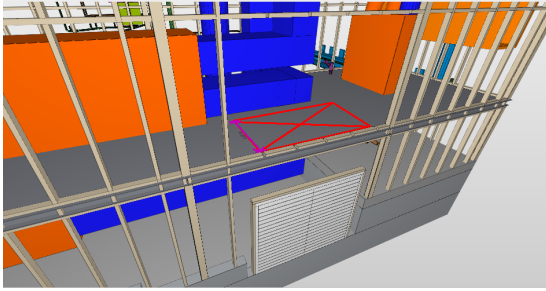
11.1 Alternativt kanalsystem

Det er mer effektivt å samle alle rør og kanaler i en enkelt sjakt for å minimere antall plater som må fjernes og på den måten optimalisere dekkets utforming. På den annen side kan denne tilnærmingen være mindre gunstig for VVS (ventilasjon, varme og sanitær) systemet. Dette skyldes at det medfører lengre rørlengder og flere bøyninger, noe som kan påvirke effektiviteten og ytelsen til systemet.

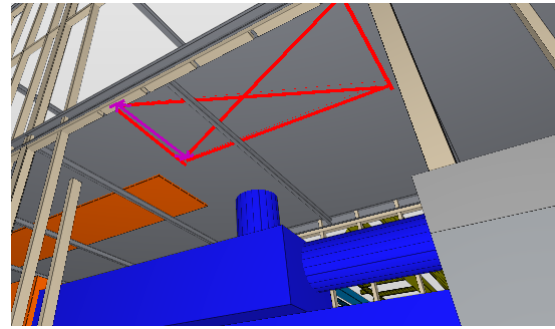
11.2 Åpning/luke

For å kunne installere, vedlikeholde eller bytte ut ventilasjonsaggregatet, kreves en åpning i etasjeskillet. Dette er fordi levetiden til et aggregat er betydelig kortere enn bygningens levetid, og det ville være en betydelig fordel å kunne bytte det ut uten å måtte rive en vegg. Vi anser det som nødvendig med en luke som måler 1.5x2 meter for å kunne transportere store varer og paller opp til andre etasje.

Vi kommer ikke til gå i detalj om den eksakte løsningen for denne luken, men det er essensielt at den er enkel å åpne og lukke, og fungerer som et vanlig gulv når den ikke er i bruk. Videre bør det installeres en form for kran eller løftesystem over luken for å håndtere tunge laster. Det er derfor viktig å sørge for fri passasje helt opp til taket over luken. Vi har valgt å plassere luken over garasjeporten siden det er plass helt opp til taket og det er enkelt å få noe inn og ut med umiddelbar nærhet til døren.



Figur 11.4

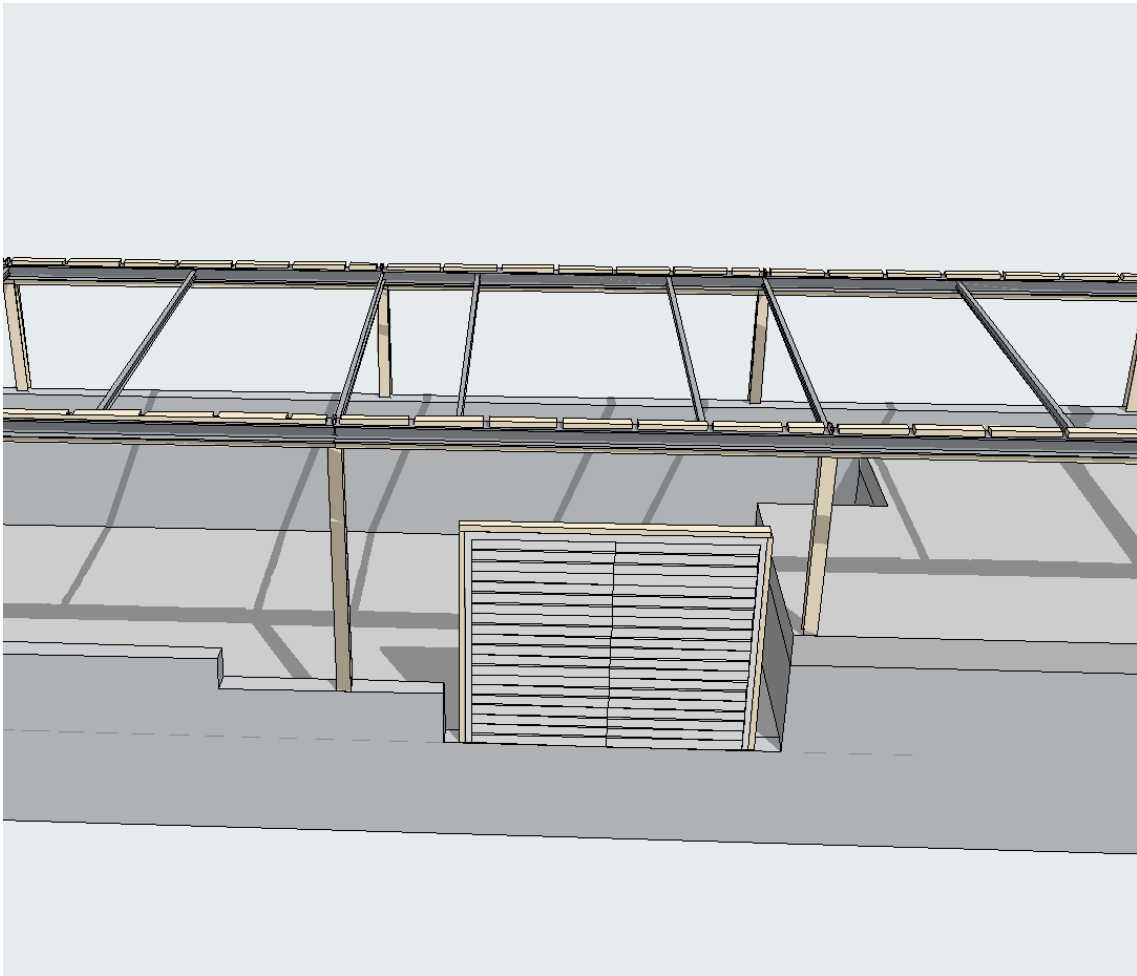


Figur 11.5

Et problem her er at åpningen går rett igjennom en stålbejelke. Dette løste vi ved å fjerne stålbejelken som kommer i konflikt med luken. Siden luken spenner 2 meter, som er det samme som platene vi skal bruke er det på sikker side dimensjoneringsmessig å endre bejelkelaget slik at det kommer en bejelke på hver side av luken. I figur 11.6 er det nye bejelkelaget tegnet inn, med to 1-meter spenn og et 2 meter langt spenn hvor luken skal legges inn. Ved å velge to spenn på 1 meter og et spenn på 2 meter, overstiges ikke maksimalt bredde på spenn. Gitterristene fåes også med standard 1 meters bredde, så ved å sørge for at de små spennene begge er på en meter vil det kunne bestilles inn prekuttete gitterriste.

Ved å velge to spenn på 1 meter og et spenn på 2 meter, overstiges ikke maksimalt bredde på spenn.

Luken legges rett inn på plassen til en plate og påvirker dermed ikke styrken til dekket i noen grad



Figur 11.6: Tilpasset bjelkelag

En bedre løsning med tanke på konstruksjonen ville være å flytte åpningen slik at den befinner seg midt mellom to bjelker. På den måten kan vi redusere en bjelke samt arbeidsmengden som skal til for å installere den og vi hadde unngått å måtte bestille inn plater på 1 meter. Siden alle spenn er på 2 meter vil det være tilstrekkelig plass til en slik åpning uten å endre på bjelkelaget. Stedet vi foreslår å plassere luken, har en stor fordel ved at den er nær begge aggregatene i 2 etasje, ikke i konflikt med rømningsveier og rett over garasjeporten. Derfor velger vi plassering på tross av at det er ugunstig for konstruksjonen.

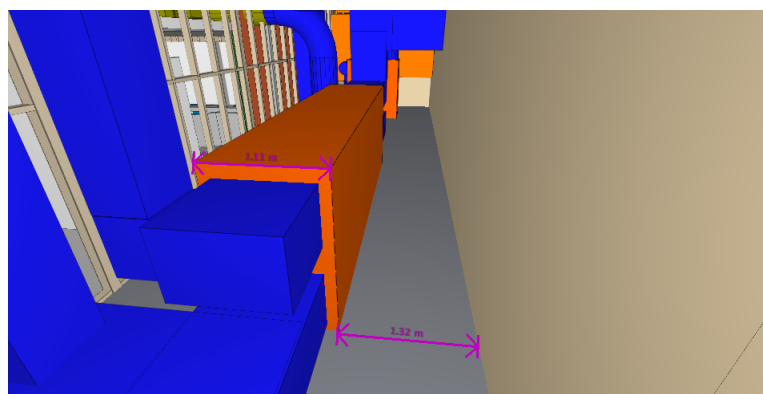
Dekket er bygget opp av gitterrist-plater som har dimensjon 1x2 meter, og det vil derfor være veldig enkelt å bytte ut en plate med en luke, da det bare er å ikke installere gitterrist der hvor luken skal legges.

12 Vedlikehold

For å sikre at et tilbygg er funksjonelt og effektivt, er det avgjørende å ta hensyn til vedlikeholdskravene allerede i prosjekteringsfasen. Dette betyr at man må sørge for at alle komponenter som krever regelmessig vedlikehold eller inspeksjon er lett tilgjengelige og enkle å håndtere. Eksempler på slike komponenter kan være filtre, vifter og selve platevarmeveksleren, som alle spiller en viktig rolle i driften av aggregatet. Ved å legge til rette for enkel tilgang til og vedlikehold av aggregatets komponenter, reduseres risikoen for driftsstans og øker påliteligheten til aggregatet. Dette kan også bidra til en mer økonomisk og miljøvennlig drift, ettersom godt vedlikeholdte aggregater generelt sett fungerer mer effektivt.

For å kunne utføre vedlikehold eller inspeksjon, må man kunne dra ut disse komponentene fra aggregatet. Dette innebærer at rommet der aggregatet er installert, må være bredt nok til å kunne romme to aggregat ved siden av hverandre. Dette er fordi komponentene, når de dras ut, vil ha samme bredde som selve aggregatet. Dette står også spesifisert i produktdataene til aggregatene [38–40].

I 3D-modellen som er utarbeidet for prosjektet, kan man se at det er tatt hensyn til disse kravene og at det er tilstrekkelig plass for vedlikehold og inspeksjon av aggregatkomponentene. Dette sikrer at arbeidet kan utføres på en effektiv og sikker måte.



Figur 12.1: Avstand ved siden av aggregatet 2 etg

12.1 Sluk

Våre rådgivere ved NTNU anbefalte sluk i teknisk rom. Det er viktig å inkludere sluk i tekniske rom for å sikre enkel og effektiv håndtering av ulike situasjoner. Sluk kan være til stor hjelp både under byggeprosessen, dersom det skulle regne inn i rommet, og i forbindelse med rutinemessig rengjøring og vedlikehold, som for eksempel spyling av gulv og utstyr.

Selv om sluket ikke er inkludert i den nåværende 3D-modellen på grunn av tidsbegrensninger, bør det definitivt vurderes å legge til dette elementet i den endelige planen.

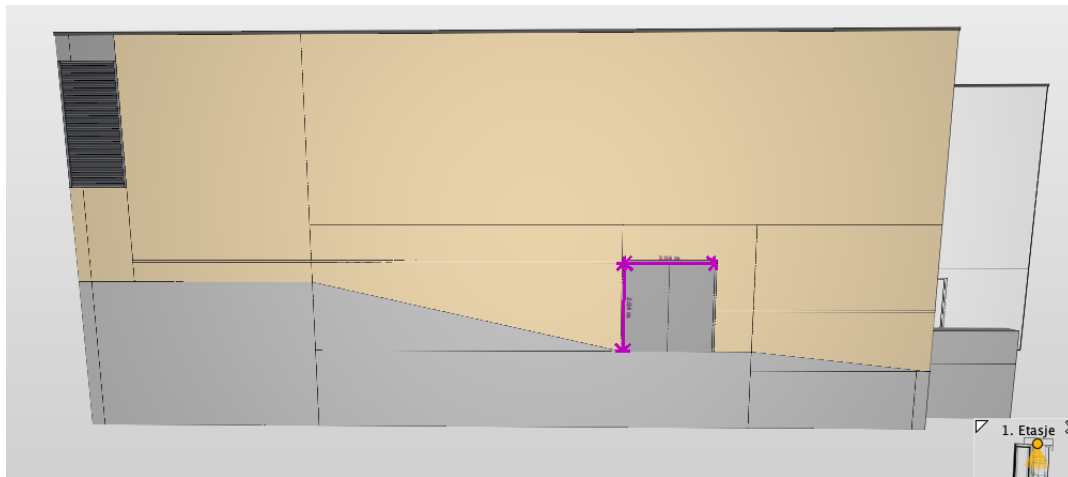
12.2 Dører og luker

Menerga leverer sine aggregater på europaller, noe som forenkler transport og håndtering [43]. For å kunne installere disse aggregatene er det viktig å sørge for at det finnes en passende åpning i det tekniske tilbygget. Åpningen må være stor nok til å ha plass til en europalle (1200mmx800mm) og andre paller med varer, som vil gjøre installasjonsarbeidet enklere og raskere.

Det er verdt å merke seg at noen bygninger ikke har en slik åpning, noe som fører til at aggregatene må installeres før taket eller veggene settes på plass, som vår rådgiver Arne-Mathias har erfart tidligere. Dette er imidlertid ikke en optimal løsning, ettersom aggregatene generelt har en kortere levetid enn selve bygningen og må byttes ut etter en viss tid. Å tilrettelegge for god tilgjengelighet og praktiske løsninger som ikke krever at bygningen må rives eller endres vesentlig, er en betydelig fordel som kan spare betydelige kostnader over tid. Dersom det i løpet av byggets levetid blir behov for større åpning enn døren tillater, er bærekonstruksjonen slik at treveggen kan rives uten å redusere bærekapasiteten. I såfall anbefales det å rive en kortvegg da ny kledning vil ha en annen farge enn gammel. Derfor bør hele veggen som er blitt åpnet få ny kledning for inntrykket sin del. Eventuelle lysåpninger ved revet vegg er 4m x 3,75m. Da kan man få inn et helt aggregat uten å montere inne i det tekniske

tilbygget.

I anbudsbeskrivelsen er det tegnet inn en dør på nordfasaden med mål 2mx2m, som anses å være tilstrekkelig for å kunne transportere og installere aggregatene og deres komponenter. Dette gir en åpning som er stor nok og gjør det enkelt å få inn og ut de nødvendige komponentene, garasjeporten sikrer en smidig installasjon og utskifting av aggregatene gjennom bygningens levetid.



Figur 12.2: Dør fra utsiden

Det er nødvendig å vurdere bæreevnen til veggene der døren er plassert. Bæresystemet på bygget er basert på stålsøyler og dragere, døren kommer midt i mellom to stålsøyler og er ikke høy nok til å være i konflikt med dragerne. Dette gjør at eneste utfordringen blir stenderverket. Det er kun dimensjonert for vindlast og egenlast siden stål-systemet tar resten. Døren er stor og får godt vindfang som blir konsentrert i innfestningene. Disse bør dimensjoneres for det ved å legge inn x antall ekstra stendere som utveksling samt spenne overgurten inn mot toppen skal konstruksjonen tåle den ekstra lasten.

En annen viktig faktor å vurdere er transport av utstyr og komponenter mellom etasjene i bygningen. For å sikre tilgang etter at gittergulvet er installert, bør det være en åpning i gulvet mellom etasjene, som nevnt i tidligere avsnitt.

En luke på 1,5mx1m er tilstrekkelig for å kunne heise europaller opp gjennom åpning-

gen, og er vårt minimumskrav for å sikre god tilgang. Ved å inkludere en slik luke legger man til rette for enkelt og effektivt vedlikehold. Strukturelt er en luke på 1mx1,5m en ordentlig utfordring om den blir plassert feil da det vil fjerne nesten all bæreevne i gulvplatene som er 2mx1m. Luken må plasseres i samme retning som langveggen for å ikke komme i konflikt med de tekniske installasjonene. Løsningen på de strukturelle utfordringene er veldig enkel siden det er mulig å øke dimensjonen på luken til 2mx1m. Da vil luken erstatte en plate og dermed ikke gi noen strukturelle ulemper.

13 Diskusjon

Vi representerer to tekniske disipliner - VVS og konstruksjon, men i praksis vil det være mange flere aktører involvert. Fra elektroingeniører til arkitekter. Derfor er det mye arbeid som gjenstår, og det understreker viktigheten av dialog og tilpasning gjennom hele prosessen. Målet vårt har vært å prosjektere et fungerende tilbygg, med optimaliserte løsninger fra begge fagfeltene våre for å lage et kostnadseffektivt og miljøvennlig resultat. Gjennom samtaler med Skanska forstår vi hvor kritisk det er at alle involverte parter er på samme side gjennom prosjektets utvikling, for å unngå unødvendig arbeid grunnet endringer i løsningsstrategi. Samspillet mellom ingeniører er helt essensielt.

Det er flere elementer som ikke er inkludert i vår modell. Sanitæranlegg, for eksempel, er ikke tegnet inn. Dette omfatter tilførsel av vannbåren varme, som leveres fra en felles energisentral sammen med skolen. Håndtering av varme- og kjølebehov er en kompleks oppgave i seg selv, og på grunn av tidsbegrensninger har vi ikke hatt mulighet til å gå i dybden på dette området.

Som tidligere nevnt, er avfukting viktig i svømmehallen. En utfordring kan være høy luftfuktighet utendørs, for eksempel på varme sommerdager med regn. I slike tilfeller må det tilføres store mengder uteluft for å redusere fuktigheten inne i hallen. Et alternativ fra Menerga er å installere en ekstra inntak for uteluft, som ledes gjennom plateveksleren med en varmepumpe som først kjøler ned luften og deretter varmer samme

luften opp igjen. Dette avfukter uteluften før den føres inn i hallen. Imidlertid vil dette kreve en ekstra kanal gjennom ståldekket i etasjeskillere, fordi inngangen til denne kanalen er på toppen av aggregatet. Som tidligere nevnt, kan dette skape utfordringer med hensyn på plassering av bjelker som da må flyttes eller forsterkes. Vi antar at dette problemet ikke vil være hyppig her i nord, med en lav gjennomsnittstemperatur gjennom året og relativt kjølige somre sammenlignet med resten av Europa.

Sprinklersystemet er heller ikke inkludert i modellen vår. Imidlertid, basert på samtaler med Skanska, er det verd å nevne at ved å erstatte betongdekket med gitterrist som etasjeskiller, kan det være tilstrekkelig med et sprinklersystem i taket som dekker begge etasjene. Selv om dette bare er en idé, kan det potensielt være en kostnadseffektiv løsning.

Modellen vår har heller ikke oversikt over hvordan veggen skal bygges opp med vindspærre, isolasjon og dampspærre. Siden all luften til svømmehallen skal gjennom rommet er det en fordel å ha god isolering slik at det ikke blir en uforutsett nedkjøling av kanalene.

13.1 Sikkerhet

Bygget må overholde flere krav knyttet til sikkerhet, rømningsveier og brannsikring, noe vi ikke fikk tid til å gå dypere inn på. I henhold til Teknisk forskrift (TEK 17) betraktes bygget som risikoklasse 1, noe som betyr at det er beregnet for sporadisk bruk. [2]

Basert på det opprinnelige anbudet er det planlagt noen rømningsveier som vi antar oppfyller kravene. Dette inkluderer en luke i taket, en utgangsdør, garasjeporten og en dør som fører inn til idrettsbygget. Disse rømningsveiene har fortsatt klare og frie passasjer.

Det er nødvendig med en brannslange i hver etasje. Ifølge TEK 17 skal det være lett å slokke en brann manuelt i et bygg [1]. Det kan også være verdt å vurdere utplassering av brannslukningsapparater. Bygget har mange svinger, kroker og hjørner som en

brannslange må kunne nå, så det er viktig med fri passasje for å sikre at en brann kan slukkes effektivt.

13.2 Vibrasjon

Aggregatene har store vifter som er i konstant drift. Vibrasjoner som overføres direkte til gulvet kan bli absorbert av bygget og potensielt skape problemer. Selv om vi foreløpig ikke har konkrete beregninger som viser til om bygningen kan tåle denne belastningen, er den uansett uønsket og bør bli unngått. Dette er fordi det kan produsere støy og være forstyrrende for rom i nærheten, ettersom vibrasjoner lett overføres mellom materialer.

Derfor anses vibrasjonsdempere mellom gulvet og aggregatet som nødvendige. De vil absorbere vibrasjoner og hindre uønsket støy, samt andre problemer knyttet til vibrasjoner.

14 Sluttkonklusjon

I denne oppgaven har vi fokusert på å utvikle en bærekraftig og effektiv løsning for et teknisk tilbygg i forbindelse med renoveringen av et idrettsbygg. Arbeidet har inkludert installasjon av nye ventilasjonsaggregater i en ny struktur festet til det eksisterende bygget. Oppgaven har krevd et tett samarbeid mellom begge fagfeltene for å sikre en optimal løsning, og vi har lagt fram en plan for byggets konstruksjon og tekniske innhold. Selv om vi har kombinert to fagfelt, er det fremdeles områder som ikke er tatt hensyn til. I en virkelig situasjon vil det være mange flere aktører involvert, som bidrar til å øke kompleksiteten.

Vi har sørget for at bygget er solid og stabilt, samtidig som vi har plassert kanaler, rør og ventilasjonsaggregater på en hensiktsmessig måte. Valg av passende bæresystem og ventilasjonssystem har vært sentralt i arbeidet, og vi har diskutert og begrunnet våre beslutninger underveis.

Målet vårt har vært å foreslå et gjennomtenkt design som er tilpasset byggets spesifikke behov og krav. Vi har lagt spesiell vekt på å adressere utfordringene knyttet til samspillet mellom konstruksjons- og VVS-ingeniører i prosjekteringsfasen, noe som vi anser som et viktig aspekt for å sikre byggets kvalitet og levetid.

Referanser

- [1] § 11-16. *Tilrettelegging for manuell slokking*. 2017. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/v/11-16>.
- [2] § 11-2. *Risikoklasser*. 2017. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2>.
- [3] § 13-2. *Ventilasjon i boligbygning*. 2017. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-2>.
- [4] § 13-3. *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*. 2017. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-3>.
- [5] *7 gode grunner til å bruke tre som byggemateriale*. 2019. URL: <https://www.tekna.no/kurs/innhold/7-gode-grunner-til-a-bruke-tre-som-byggemateriale/>.
- [6] *ADCONAIR 76*. 2016. URL: <https://www.menerga-adria.com/air-conditioning-ventilation/comfort-air-conditioning/adconair-76/>.
- [7] Kathrine Nitter Anders Homb. *Unngå støy fra ventilasjonsanlegg*. 2020. URL: <https://kommunikasjon.ntb.no/pressemelding/unnga-stoy-fra-ventilasjonsanlegg?publisherId=7235542&releaseId=17886792>.
- [8] Arbeidstilsynet. *Krav til ventilasjon*. URL: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/krav-til-ventilasjon/>.
- [9] *Arnfinn Emdal Introduksjon til GEOTEKNIKK*. 2021.
- [10] Mike Barth mfl. «Object-oriented engineering data exchange as a base for automatic generation of simulation models». I: nov. 2009, s. 2465–2470. DOI: [10.1109/IECON.2009.5415229](https://doi.org/10.1109/IECON.2009.5415229).
- [11] *Belastningstabell for gitterrist type H*. 2016. URL: <https://weland.no/nb-no/pdf/Belastningstabeller.pdf#page=3>.
- [12] *Betongkonstruksjoner : beregning og dimensjonering etter Eurocode 2*. 2013.
- [13] *Bindingsverk med Glava® vindsperreprodukter*. URL: <https://www.glava.no/losninger/bindingsverk-med-glava-vindsperreprodukter>.

- [14] *BUILDING INFORMATION MODELING*. URL: <https://www.nordicbim.com/no/alt-om-bim-bygningsinformasjonsmodellering-fra-vugge-til-grav>.
- [15] SINTEF Byggforsk. *Ventilasjon og avfukting i svømmehaller og rom med svømmebasseng*. 2003.
- [16] *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. 2017. URL: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>.
- [17] *Dimensjonerende utetilstand*. 2019. URL: <https://stensaasventtek.nemitek.no/dimensjonering-av-klimaanlegg-kapittel-62-stensaas-leif-i-ventilasjonsteknikk-del-i-grunlaget-og-systemer-1998/dimensjonerende-utetilstand/161575>.
- [18] *Energibruk i norske svømmehaller*. 2016. URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/nyhet/energibruk-i-norske-svømmehaller>.
- [19] *Eurokode*. URL: <https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/>.
- [20] *Fakta du bør vite om Proff 34*. URL: <https://www.glava.no/tema/proff34>.
- [21] *Fans - Efficiency and Power Consumption*. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/fans-efficiency-power-consumption-d_197.html.
- [22] *Friksjonstap med diagram*. 2019. URL: <https://venttek1.nemitek.no/kapittel-531-stromningsteknisk-grunnlag-ventilasjonsteknikk-del-i-ny-versjon-2019/friksjonstap-med-diagram/166756>.
- [23] *Har du kontroll på SFP-faktoren(e)?* 2021. URL: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/har-du-kontroll-pa-sfp-faktorene/>.
- [24] Knut Hofstad. *massetetthet*. 2021. URL: <https://snl.no/massetetthet>.
- [25] *Indoor swimming pool ventilation*. URL: <https://efficiencymatrix.com/indoor-swimming-pool-ventilation/>.
- [26] *KAI · ITH · AKH*. URL: <https://www.trox.no/takhatter/kai-%5C%C2%5C%B7-akh-%5C%C2%5C%B7-ith-378dd9fac9c93062>.

- [27] KAI, ITH og AKH. 2022. URL: <https://cdn.trox.de/3508b9a5ac4dae3e/c345152453ed/N00202-KAI-ITH-AKH.pdf>.
- [28] *Luftfukt i boliger*. URL: <https://www.anticimex.no/tips-bolig/ventilasjon-og-inneklima/luftfukt-i-boliger>.
- [29] John Mitchell. *Mollier Diagram – A Basic Guide*. 2019. URL: <https://www.engineeringclicks.com/mollier-diagram-a-basic-guide/>.
- [30] Ola Henning Målsnes. *Ny ungdomsskule på Garnes klar til å gjennomførast*. 2022. URL: <https://www.bergen.kommune.no/politikk/byradet/behandlede-saker/barnehage-og-skole/ny-ungdomsskule-pa-garnes-klar-til-a-gjennomforast>.
- [31] Niels Nautrup. *Hvorfor avfukting er førsteprioritet i en svømmehall*. 2023. URL: <https://www.danthermgroup.com/nn-no/dantherm/hvorfor-avfuktinger-f%C3%B8rsteprioritet-i-en-sv%C3%B8mmehall>.
- [32] Therese B. Nitter. «Ventilasjon og luftkvalitet i svømmeanlegg». I: (2018). URL: <https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/0m-ventilasjon-svømmehall-litteraturstudie-TBN.pdf>.
- [33] NTNU. *Forelesning i Ventilasjonsteknikk*. 2021.
- [34] Kristoffer Polak. *Ventilasjon av svømmehaller - del II*. 2019. URL: <https://ventok.nemitek.no/bruksomrade-kapittel-312-ventok/ventilasjon-av-svømmehaller-del-ii/344238>.
- [35] *Slik får du et energieffektivt ventilasjonsanlegg*. 2018. URL: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/slik-far-du-et-energieffektivt-ventilasjonsanlegg/>.
- [36] Jan Ketil Solberg. *stål*. 2022. URL: <https://snl.no/st%C3%A5l>.
- [37] *Stålkonstruksjoner Profiler og Formler*. 1997.
- [38] *Tekniske data Adconair 76*. 2016. URL: http://www.menerga.lv/files/Product/Adconair_76.pdf.
- [39] *Tekniske data ThermoCond 39*. 2016. URL: http://www.menerga.lv/files/Product/ThermoCond_39.pdf.

- [40] *ThermoCond 19 and 29*. 2016. URL: http://www.menerga.lv/files/Product/ThermoCond_19_29.pdf.
- [41] *THERMOCONDHP FOR OFFENTLIGE SVØMMEHALLER*. URL: <https://www.menerga.com/no/ventilasjon/thermocond-offentlige-svoemmehaller/thermocondhp/>.
- [42] Jan Vincent Thue. *betong*. 2019. URL: <https://snl.no/betong>.
- [43] *Transport- og monteringsanvisning*. 2023. URL: https://www.menerga.com/fileadmin/user_upload/Transport-_und_Montageanleitung_TX_Thermocond_2__no_NO.pdf.
- [44] *Trykkfallsberegning ventilasjon*. URL: <https://tutorial.dds.no/vvs/pdf/plc.pdf>.
- [45] *Trykktap*. 2019. URL: <https://stensaasventtek.nemitek.no/kapittel-44-stensaas-leif-i-ventilasjonsteknikk-del-i-grunlaget-og-systemer-1998-stromningsteknisk-grunnlag/trykktap/161621>.
- [46] *Varmegjenvinnere en oversikt*. 2019. URL: <https://venttek1.nemitek.no/kapittel-41-varmeoverforing-ventilasjonsteknikk-del-i-ny-versjon-2019/varmegjenvinnere-en-oversikt/167140>.
- [47] *Ventilasjon av svømmehaller - del I*. 2019. URL: <https://ventok.nemitek.no/bruksomrade-kapittel-311-ventok/ventilasjon-av-svomnehaller-del-i/344337>.
- [48] *Viftens virkningsgrad*. 2019. URL: <https://styring.nemitek.no/kapittel-106-styring-og-regulering-av-tekniske-anlegg-i-bygg-vifter-og-pumper/viftens-virkningsgrad/162578>.

Vedlegg

A Luftmengder

Vedlagt i anbudet:

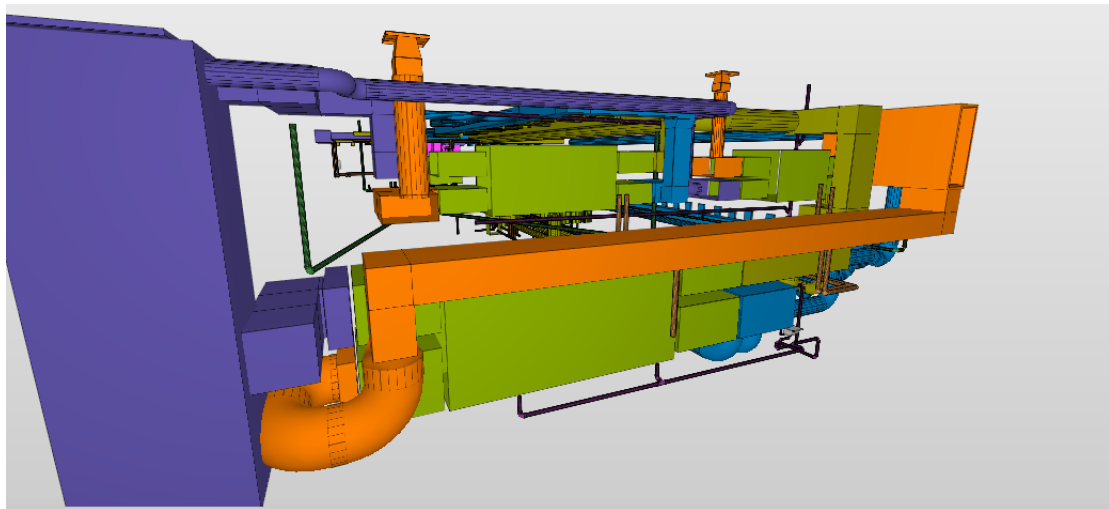
DAGFINN H. JØRGENSEN AS, Rådgivende ingeniør MRIF, Garnes ungdomsskule													
LUFTMENGDBEREGNING FOR GARNES basseng, gymsal og garderobe anlegg										Utført: 22.09.2021		Sign: DV	
Benytter ved beregningene:										Oppdr.nr.:		Rev. 07.02.19 DHJ	
7 l/s. pers 2 l/s. m2 materialer 0 l/s. m2 prosess -20 l/s san.utstvr 5 % kap reserve													
14 l/s. pers for lydrom og MIR													
ROM	Areal	l/s,m2	Ant.pers	l/s,pers	Ant.utst	l/s,utst	Prosess	Kap.res	m3/h beregnet	VALGT T	VALGT A	m3/m2h	ROM
PLAN U. ETG													
Rosa 1													
K001 - Trapper	13	2	-	-	-	-	-	5	98			-	K001 - Trapper
K002 - Renseanlegg Maskinrom	62	1	-	-	-	-	-	5	234	250	250	4,0	K002 - Renseanlegg Maskinrom
K003 - Hovedtavle	10	2	-	-	-	-	-	5	76			-	K003 - Hovedtavle
K004 - Trafo	29	2	-	-	-	-	-	5	219			-	K004 - Trafo
K005 - Inspeksjonsgang	142	1	-	-	-	-	-	5	537	500	500	3,5	K005 - Inspeksjonsgang
K006 - Sluse	9	2	-	-	-	-	-	5	68			-	K006 - Sluse
K007 - Tilfluktsrom Lager Drift	62	2	-	-	-	-	-	5	469			-	K007 - Tilfluktsrom Lager Drift
K008 - Redsk.	4,5	2	-	-	-	-	-	5	34			-	K008 - Redsk.
K009 - Syker.	4,5	2	-	-	-	-	-	5	34			-	K009 - Syker.
K010 - Gang	2,8	2	-	-	-	-	-	5	21			-	K010 - Gang
K011 - WC	3,5	2	-	-	-	-	-	5	26			-	K011 - WC
K012 - Vask	2	2	-	-	-	-	-	5	15			-	K012 - Vask
K013 - WC	3,4	2	-	-	-	-	-	5	26			-	K013 - WC
Ny teknisk rom	65	1	-	-	-	-	-	5	246	235	235	-	Ny teknisk rom
PLAN I. ETG													
101 - V.F.	4,5	2	-	-	-	-	-	5	34			-	101 - V.F.
102 - Ventehall	80	1	-	-	-	-	-	5	302	300	300	3,8	102 - Ventehall
102A - Renhold	7,2	2	-	-	-	-	-	5	54		45	-	102A - Renhold
102B - WC	2,3	2	-	-	-	-	-	5	17		45	-	102B - WC
102C - WC	2,3	2	-	-	-	-	-	5	17		45	-	102C - WC
103 - Korridor	49	2	-	-	-	-	-	5	370	300		6,1	103 - Korridor
104 - Rengjøring	8	2	-	-	-	-	-	5	60		45	-	104 - Rengjøring
105 Ventilasjon	13	2	-	-	-	-	-	5	98	50	50	3,8	105 Ventilasjon
106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	106
107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107
108 - Kontor vaktm.	12	2	-	-	-	-	-	5	91	150	150	12,5	108 - Kontor vaktm.
109 - Rekvisita vaktm.	5,9	2	-	-	-	-	-	5	45		50	-	109 - Rekvisita vaktm.
110 - Gang	8,2	2	-	-	-	-	-	5	62		50	-	110 - Gang
111 - Trapp	3,7	2	-	-	-	-	-	5	28		50	-	111 - Trapp
112 - Svømmehall	428	2	-	-	-	-	-	5	3 236	12000	12000	28,0	112 - Svømmehall
113 - Dusj-Tørk	26,4	2	-	-	-	-	-	5	200		600	-	113 - Dusj-Tørk
114 - Garderobe	31,6	2	-	-	-	-	-	5	239	750		23,7	114 - Garderobe
115 - WC	2,44	2	-	-	-	-	-	5	18		50	-	115 - WC
116 - Badstue	5,5	2	-	-	-	-	-	5	42		75	-	116 - Badstue
117 - Lærer	4,9	2	-	-	-	-	-	5	37		75	-	117 - Lærer
118 - Dusj-Tørk	26,8	2	-	-	-	-	-	5	307		600	-	118 - Dusj-Tørk
119 - Garderobe	32,2	2	-	-	-	-	-	5	270	750		-	119 - Garderobe
120 - WC	2,44	2	-	-	-	-	-	5	18		50	-	120 - WC
121 - Badstue	5,5	2	-	-	-	-	-	5	42		75	-	121 - Badstue
122 - Lærer	4,9	2	-	-	-	-	-	5	37		75	-	122 - Lærer
123 - EL	1,3	2	-	-	-	-	-	5	10			-	123 - EL
124 - Korridor	32	2	-	-	-	-	-	5	242	100		3,1	124 - Korridor
125 - Garderobe	33,2	2	-	-	-	-	-	5	251	300		9,0	125 - Garderobe
126 - Dusj-Tørk	14,3	2	-	-	-	-	-	5	108		450	-	126 - Dusj-Tørk
126 - Dusj-Tørk	12,1	2	-	-	-	-	-	5	91		300	-	126 - Dusj-Tørk
127 - WC	4,6	2	-	-	-	-	-	5	35		50	-	127 - WC
128 - Lærer	1,6	2	-	-	-	-	-	5	12		75	-	128 - Lærer
129 - BK	2,5	2	-	-	-	-	-	5	19		50	-	129 - BK
130 - EL	4,6	2	-	-	-	-	-	5	35		50	-	130 - EL
131 - Lærer	1,4	2	-	-	-	-	-	5	11		75	-	131 - Lærer
132 - WC	25,9	2	-	-	-	-	-	5	196		50	-	132 - WC
133 - Garderobe	26,4	2	-	-	-	-	-	5	200	750		28,4	133 - Garderobe
134 - Gymnastikksal	210	2	-	-	-	-	-	5	1 588	5000	3000	23,8	134 - Gymnastikksal
135 - Scene	62	2	-	-	-	-	-	5	469			-	135 - Scene
136 - Apparatrom	15,3	2	-	-	-	-	-	5	116		1100	-	136 - Apparatrom
136A - Lager	7	2	-	-	-	-	-	5	53		100	-	136A - Lager
Sum tot.	1 633,7												

Tabell 3: Luftmengder fra anbudet

B Trykktapsberegning

For å sammenligne trykkfallet i kommunens løsning mot vår modell, regner vi på trykkfallet fra aggregatet og ut.

B.1 Løsning fra anbud



Figur B.1: Oransje kanal er avkastet

Kanalfriksjon:

Rektangulære kanaler gjøres om til ekvivalent diameter med trykktapsdiagram [45] (Figur B.2).

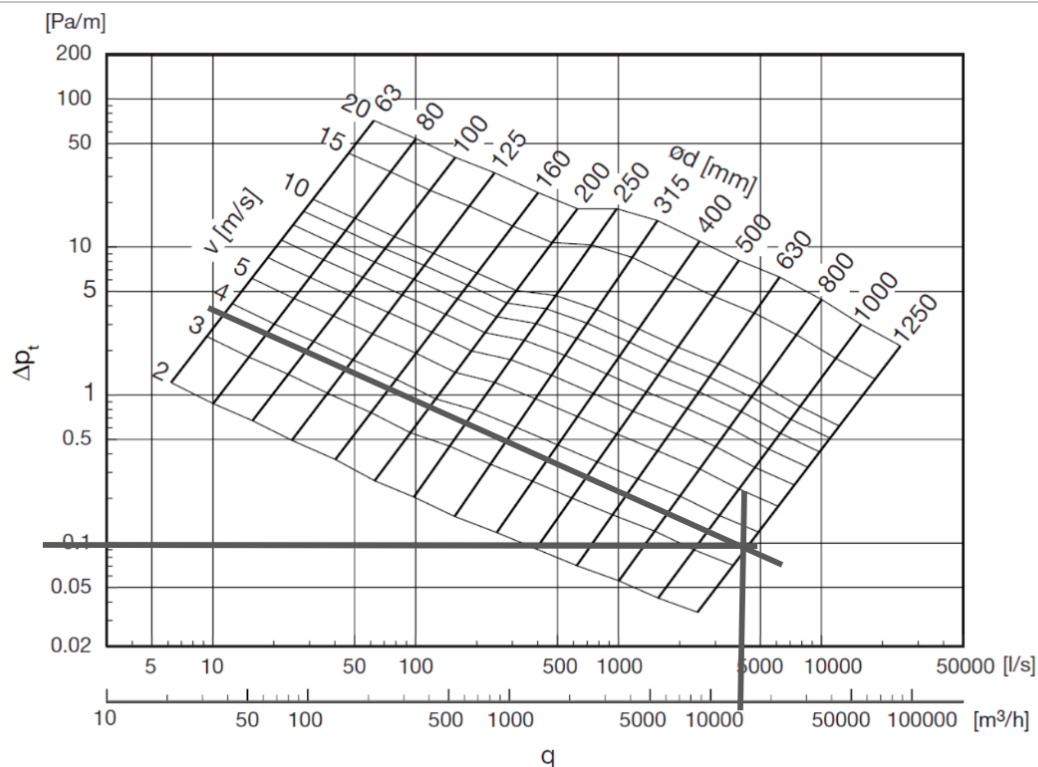
EKVIVALENT DIAMETER (LINDAB)

b \ a	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
100	152	169	183	207									
150	189	210	229	260	287	310							
200	219	244	267	305	337	366	414						
250		274	299	344	381	414	470	518					
300			328	378	421	458	521	575	621				
400				438	489	534	610	675	732	783	829		
500					547	599	688	763	829	888	941	991	1036
600						657	757	842	916	982	1043	1098	1150
800							876	978	1068	1148	1221	1289	1351
1000								1095	1199	1292	1376	1454	1527
1200									1314	1419	1514	1602	1684
1400										1534	1639	1736	1826
1600											1753	1858	1957
1800												1972	2078
2000													2191

– Alle størrelser i mm

Figur B.2: Ekvivalent diameter

1220x900 kanal tilsvarer \varnothing 1100mm. Det gir et trykktap på 0,1Pa/m ved $12000\text{m}^3/\text{h}$. (Figur B.3).

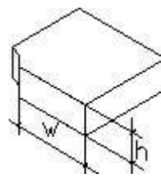


Figur B.3: Trykktapsdiagram

Kanallengde med denne dimensjonen er 16m, som gir et trykktap på $0,1\text{Pa}/\text{m} * 16 = 1,6\text{Pa}$

$$16m = 1,6Pa.$$

Støttap:



ζ for rektangulære bend uten avrunding

H=	200	300	400	500	600	800	1000	1200	1600	2000
w=200	.55	.50	.50	.50	.45	.45	.45	.40	.35	.35
w=300	.70	.65	.65	.65	.60	.55	.55	.50	.45	.40
w=400	.80	.80	.75	.75	.70	.65	.60	.55	.50	.45
w=500	.90	.85	.85	.80	.75	.70	.65	.60	.55	.50
w=600	1.00	.95	.90	.85	.80	.75	.70	.65	.55	.50
w=800	1.10	1.10	1.05	1.00	.90	.85	.80	.70	.65	.55
w=1000	1.20	1.20	1.15	1.05	1.00	.95	.85	.75	.65	.55
w=1200	1.35	1.30	1.25	1.15	1.05	1.00	.90	.80	.70	.60
w=1600	1.45	1.40	1.35	1.30	1.20	1.05	.95	.85	.75	.60
w=2000	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30	1.15	1.00	.90	.80	.65

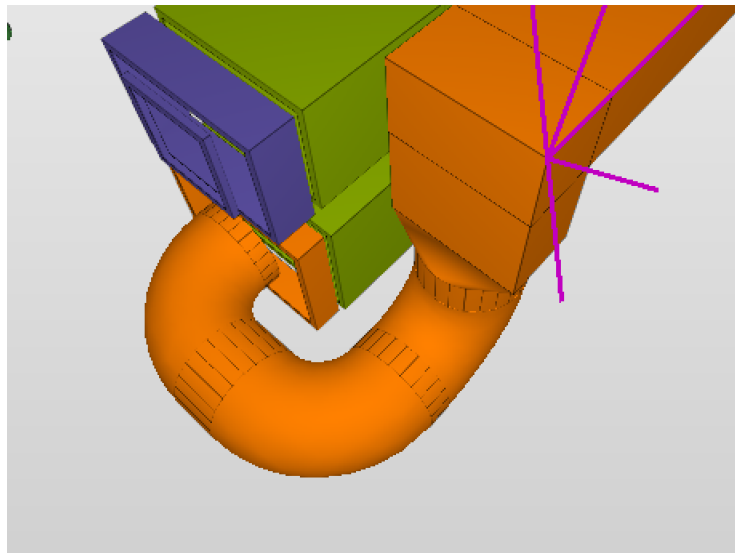
Figur B.4: ζ for rektangulære bend uten avrunding

ζ 1 velges for 90 graders bend med 1220x900 dimensjon. ρ er massetetthet til luft og settes lik $1,29kg/m^3$ [24]. Lufthastighet leses av fig B.3 og er tilnærmet 4 m/s. Da blir støttap:

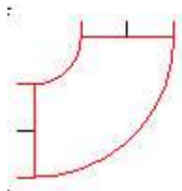
$$\begin{aligned}
 \Delta P_m &= \zeta * \frac{\rho * U^2}{2} \\
 &= 1 * \frac{1,29 * 4^2}{2} \\
 &= 10,32 Pa
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Det er tre slike bend etter aggregatet, dermed blir totalt støttap på disse $10,32Pa * 3 = \underline{30,96 Pa}$

For bend tilsvarende figur B.5, settes tre 90 grader bend sammen for å finne tilsvarende trykktap. Se fig B.6.



Figur B.5: Bend avtrekk svømmehall



ζ for sirkulære bend, avhengig av vinkel og hastighet

v m/s	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$\alpha=90^\circ$	.45	.45	.40	.40	.40	.35	.35	.35	.35	.35	.30	.30	.30	.30	.30	.30
$\alpha=60^\circ$	.35	.35	.35	.30	.30	.30	.30	.30	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.25	.20
$\alpha=45^\circ$	.25	.25	.25	.25	.25	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.20	.15	.15
$\alpha=30^\circ$	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.15	.10	.10	.10

Figur B.6

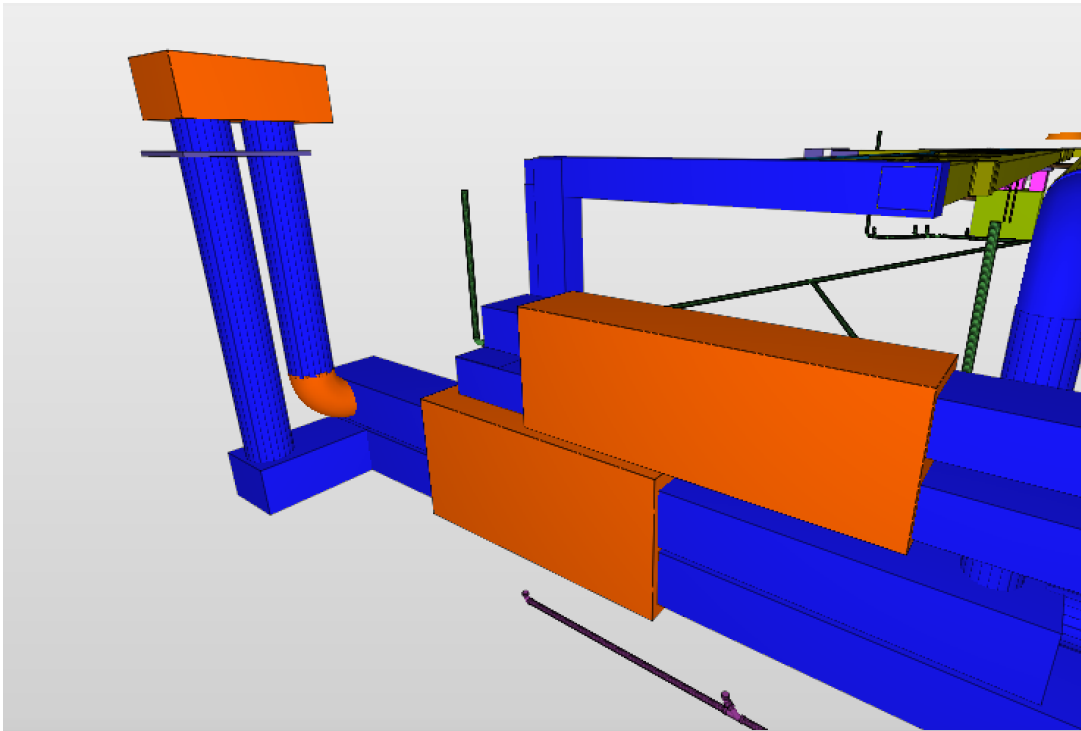
Lufthastighet er fortsatt 4 m/s, dermed $\zeta = 0,4$. Dermed trykktap for denne komponenten:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_m &= 3 * \zeta * \frac{\rho * U^2}{2} \\
 &= 3 * 0,4 * \frac{1,29 * 4^2}{2} \\
 &= 12,4
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Totalt trykkfall for denne strekningen blir da:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{tap} &= \Delta P_f + \Delta P_m \\
 &= 1,6Pa + (12,4Pa + 10,32Pa) \\
 &= 24,32Pa
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

B.2 Vår løsning



Figur B.7: Avtrekk svømmehall, helt til venstre på figur

Kanalfriksjon:

De rektangulære kanalene har fortsatt 0,1 Pa trykktap per meter grunnet samme luftmengde og hastighet. 2 meter gir neglisjerbart trykfall.

For de sirkulære kanalene leses trykktapet av trykktapsdiagrammet, se fig B.3.

Luftmengden som trekkes fra svømmehallen er $12000\text{m}^3/h$ gjennom kanal med dimensjon på $\text{Ø}800\text{mm}$. Det gir lufthastighet på 8 m/s og trykktap på 0,5 Pa/m. Totalt 6 meter gir 2,5 Pa trykfall.

Støttap:

Det er to rektangulære bend (overgangen fra rekt til rund kanal simplifiseres), ζ velges som 1 etter fig B.4, og hastighet fortsatt 4 m/s pga kanaldimensjonen. Da blir støttap for disse:

$$\begin{aligned}\Delta P_m &= 2 * \zeta * \frac{\rho * U^2}{2} \\ &= 1 * 2 * \frac{1,29 * 4^2}{2} \\ &= 20,64 Pa\end{aligned}\tag{9}$$

Totalt trykkfall blir da:

$$\begin{aligned}\Delta P_{tap} &= \Delta P_f + \Delta P_m \\ &= 2,5Pa + 20,64Pa \\ &= 23,14Pa\end{aligned}\tag{10}$$

C Lastberegning

Viser utregninger med henvisninger til eurocode for lastberegninger.

C.1 Vindlast

Vindlasten avhenger av en rekke faktorer.

C.1.1 Terrengkategori

Terrengkategori er brukt i flere av formlene for vindberegninger og er beregnet fra tabell 4.

Tabell 4.1 – Terrengkategorier og terrengparametere

Terrengkategori	z_0 m	z_{min} m
0 Kyststrøk som er eksponert for åpent hav	0,003	1
I Innsjøer eller flatt og horisontalt område med lite vegetasjon og uten hindringer	0,01	1
II Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med avstand minst 20 ganger deres høyde	0,05	2
III Område med vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med avstand minst 20 ganger deres høyde (landsbyer, forstadsterreng, permanent skog)	0,3	5
IV Område der minst 15 % av overflaten er dekket av bygninger, og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m	1,0	10

MERKNAD Terrengkategoriene er illustrert i A.1.

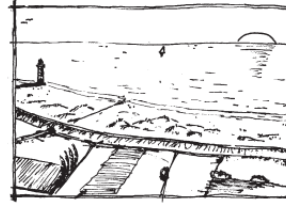
Tabell 4: Terrengkategorier og terrengparametre (EC 1-4)

De forskjellige kategoriene er illustrert ved figur C.1. Garnes ungdomsskole ligger i et ganske tett bebyggt område, og oppfyller kravet til terrengkategori III. om innbyrdes avstander på 20 ganger høyden. Det er relativt lav bebyggelse og høydesnittet ligger på under 15m. Bildet av skolebyggingen med omliggende terreng er lagt ved for å gi bedre oversikt.C.2

A.1 Illustrasjoner av største ruhet for hver terrengkategori

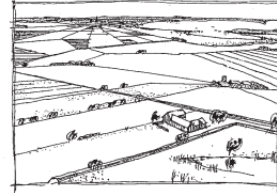
Terrengkategori 0

Kyststrøk som er eksponert for åpent hav



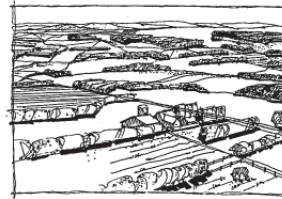
Terrengkategori I

Innsjøer eller områder med lite vegetasjon og uten hindringer



Terrengkategori II

Område med lav vegetasjon som gress og spredte hindringer (trær, bygninger) med innbyrdes avstander på minst 20 ganger deres høyde



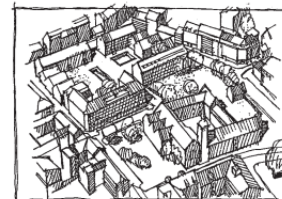
Terrengkategori III

Område med jevnt dekke av vegetasjon eller bygninger eller med spredte hindringer med innbyrdes avstander på høyst 20 ganger deres høyde (som landsbyer, forstadsterreng, permanent skog)



Terrengkategori IV

Område der minst 15 % av overflaten er dekket av bygninger, og deres gjennomsnittlige høyde overskrider 15 m



Figur C.1: Illustrasjoner av terrengkategori (EC 1-4)



Figur C.2: Flyfoto google maps

C.1.2 Basisvindhastighet

Basisvindhastigheten, v_b , er definert som en funksjon av vindretning og årstid for høyden 10 m over bakken og terrengkategori II. (EC 1-4, 4.1)

Basisvindhastigheten for kommunen finnes i Nasjonalt tillegg NA.4(901.1).

Vi leser av denne tabellen at Bergen kommune har $v_{b,0} = 26 \frac{m}{s}$. Bergen kommune er ganske stor og garnes ligger i utkanten av den, men siden nabokommunen osterøy har $v_{b,0} = 25 \frac{m}{s}$ betyr det at $v_{b,0}(Bergen)$ er på sikker side og kan brukes.

C.1.3 Topp hastighetstrykk

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}(EC1 - 4)$$

hvor $q_p(z_e)$ regnes ut fra (EC 1-4) kapittel 4.5:

$$q_p(z_e) = c_e(z) C.1.3 * q_b \quad C.1.3$$

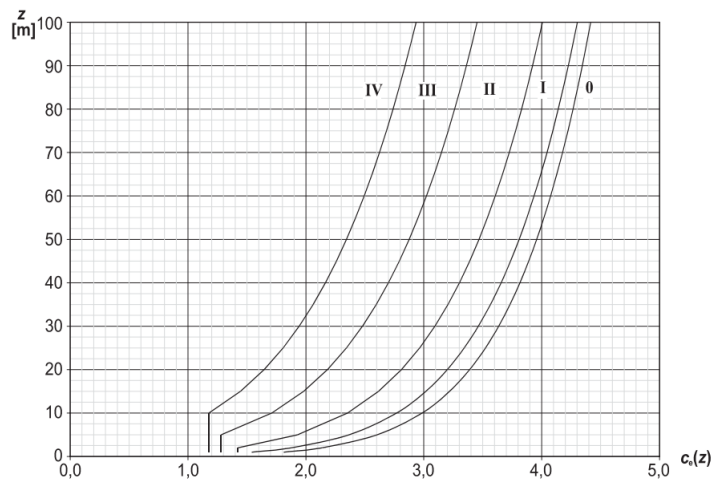
Finner $q_p(z_e)$ for de to dimensjonerende himmelretningene

$$q_p(z_e)(nord) = 1,5 * q_b = 0,634 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_p(z_e)(vest) = 1,5 * q_b = 0,634 \frac{kN}{m^2}$$

Dimensjonerende lasttiffelle blir med maks $c_{pe} = 1.2$ og vindkasttrykk C.1.3 som = $1.1kN/m^2$ $w_e = 1.34$

Eksponeringsfaktor $c_e(z)$ $c_e(z)$ hentes ut i fra figur C.3, diagrammet i figuren er avhengig av høyde over terreng (z_e) på bygningen og terrengkategori.



Figur 4.2 – Illustrasjoner av eksponeringsfaktoren $c_e(z)$ for $c_0=1,0$, $k=1,0$

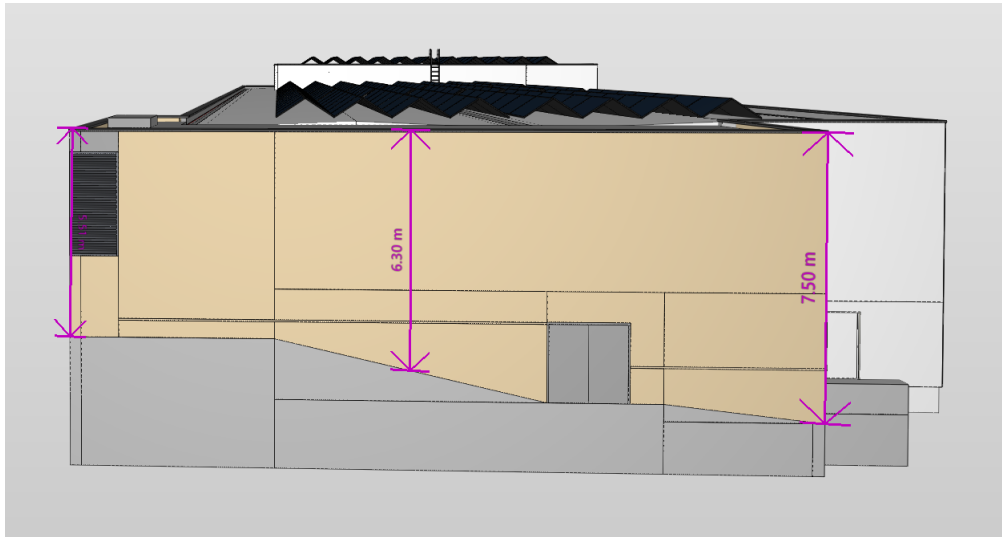
Figur C.3: Tittel (EC 1-4)

Finner z_e fra 3d-modell av bygget, se figur C.4. Det blir tre ulike verdier for vindtrykket da sørenden av bygget står inntil et eksisterende bygg. Vi regner vindretning fra nord som dimensjonerende på langsiden, og siden bygget er høyere i vest, regner vi vestlig vind som dimensjonerende for kortsidene.

$$z_{\emptyset st} = 5.5m, \quad b_{\emptyset st} = 6m$$

$$z_{nord} = 6.3m, \quad b_{nord} = 19.5m$$

$$z_{vest} = 7.5m, \quad b_{vest} = 4.2m$$



Figur C.4: Høyde tilbygg på 3d-modell

Referansehøyden z_e er i følge Eurocode lik den største høyden over terrenget for det aktuelle tverrsnittet (EC 1-4, 7.10)

Leser av tabellen med gitte høyder z_e og terrengkategori III til følgende c_e -verdier:

$$c_e(\text{nord}) = 1.5$$

$$c_e(\text{vest}) = 1.5$$

Basisvindhastighetstrykket q_b er basisvindhastighetstrykket og er gitt med formel 4.10 (EC 1-4)

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

ρ er anbefalt til å settes til $1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ etter EC 1-4 (4.10)

v_b er funnet tidligere i vedlegget, se C.1.2

$$q_b = 422.5 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}} \implies$$

$$q_b = 422.5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,423 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Vindkasttrykk Må også ta hensyn til vindkast for dimensjonerende last,

$$q_p(z) = 0,5 \rho v_m^2(z) [1 + 2k_p I_v(z)] \text{ (NA.4.8, EC 1991 1-4)}$$

$$q_p(z) = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 \cdot [1 + 2 \cdot 3,5 \cdot 0,259]$$

$$q_p(z) = 1098 \frac{N}{m^2} = 1,1 \frac{kN}{m^2}$$

Utrekning variabler

$$k_p = 3,5 \text{ (EC 1991 1-4, NA.4.8)}$$

$$k_I = 1 \text{ (EC 1991 1-4, 4.7)}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} \text{ (EC 1991 1-4, 4.7)}$$

$$I_v(z) = \frac{1}{1,2 \cdot \ln \frac{7,5}{0,3(\text{tabell4.1(}EC19911-4\text{)})}}$$

$$I_v(z) = 0,259$$

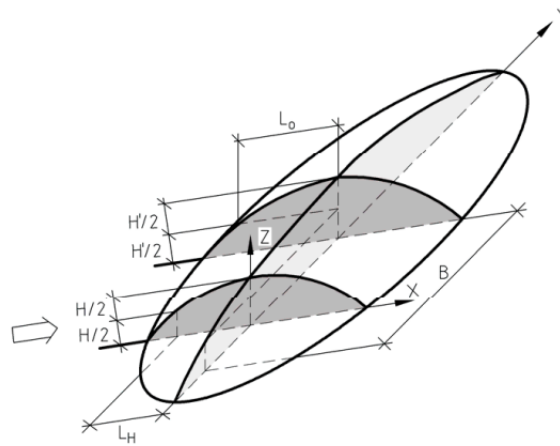
$c_o(z)$ Bestemmes ut i fra forskjellige ligninger, Tilbygget ligger i noe som minner om en ås/skråning og bygget ligger ganske nøyaktig på H/2 av skråningen, derfor bruker jeg ligning Na.4(901,5) (EC 1991 1-4)

$$c_o(z) = 1 + \Delta S_{z,maks} \cdot \left[\frac{B/L_0}{B/L_0 + 0,4} \right] \cdot \left[1 - \frac{x}{k_{vir} L_H} \right] \cdot e^{-\frac{\alpha \cdot z}{L_H}}$$

$$c_o(z) = 1 + 0,6 \cdot \left[\frac{380/550}{380/550 + 0,4} \right] \cdot \left[1 - \frac{350}{3 \cdot 250} \right] \cdot e^{-\frac{3 \cdot 7,5}{250}}$$

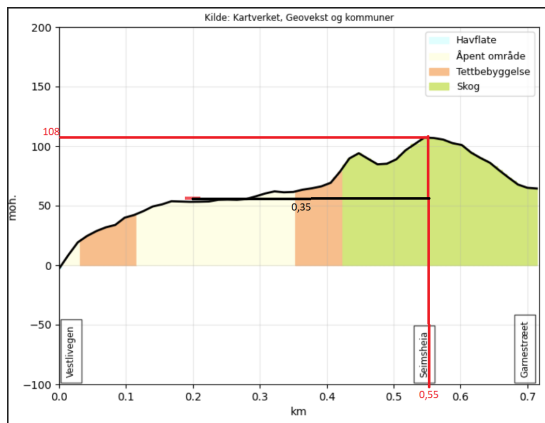
$$c_o(z) = 1,2$$

Mange av verdiene i formelen for $c_o(z)$ kan hentes ut fra høydeprofiler fra området tilbygget skal bygges i

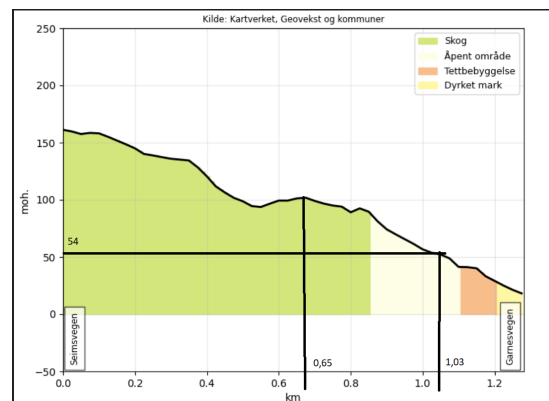


Figur NA.4(901.3) – Ås/skråning (skjematisk)

Figur C.5: NA.4(901.3 EC 1991 1-4



Figur C.6



Figur C.7

x = avstand fra bakketopp til bygning. (Na.4(901.5)) C.5 $x = 350\text{m}$ C.6

B = avstand fra bakketopp til $h/2$ ortogonalt på L_H C.5

L_H = er avstanden fra $H/2$ til bakketoppen (Na.4(901.5)) C.5 $L_H = 250\text{m}$ C.6

B = avstand fra bakketopp til $h/2$ ortogonalt på L_H (Na.4(901.5)) C.5 $B = 1030\text{m} - 650\text{m} = 380\text{m}$ C.7

L_0 = Avstand fra bakketopp til bunn av bakken C.5 $L_0 = 550\text{m}$ C.6

$\Delta S_{z,maks}$ = finner i tabell NA.4(901.8), ser på terrenget som en ås, da blir $\Delta S_{z,maks} = 1,8 \frac{H}{L_H} \Delta S_{z,maks} = 1,8 \frac{108}{250} = 0,6$ (Når $H/L < 0,5$ blir $H/L = 0,5$)

k_{virk} hentes fra tabell NA.4 (901.8) (EC 1991 1-4) $k_{virk} = 1,5$

a er en faktor fra tabell NA.4 (901.8) (EC 1991 1-4) $a = 3$

Formfaktor, c_{pe} Bruker $c_{pe,10}$ for å dimensjonere bærende konstruksjoner (EC 1-4, 7.2.1, Merknad 2).

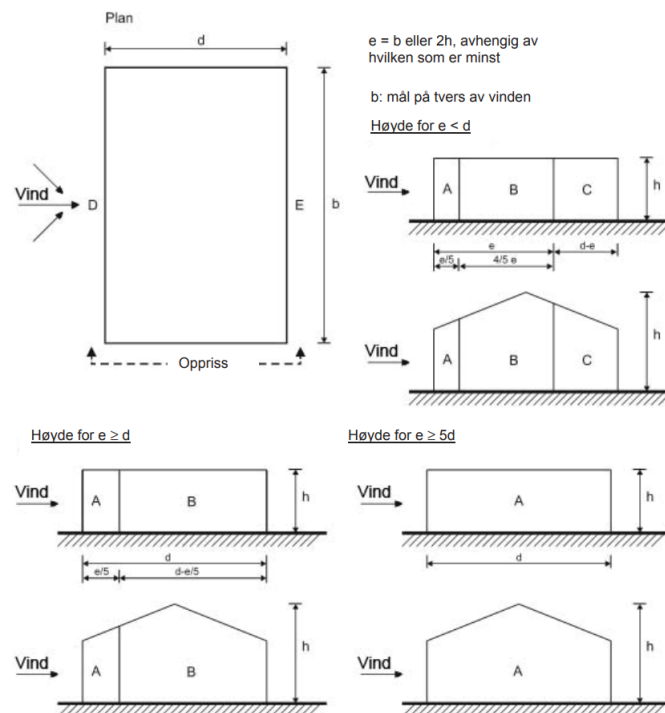
I nasjonalt tillegg er NA.7.2.2(2) Er det oppgitt at c_{pe} som er oppgitt i tabell 7.1 skal brukes brukes. C.8 Tabell 7.1 viser fordelingen av c_{pe} på et rektangulært bygg.

Tabell 7.1 – Anbefalte verdier av utvendige formfaktorer for vertikale vegger i rektangulære bygninger

Sone	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7		
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5		
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3		

Figur C.8: Tabell 7.1 EC 1991 1-4

Bokstavene A-E i Tabell 7.1 viser til forskjellige deler av bygget som er vist i figur 7.5

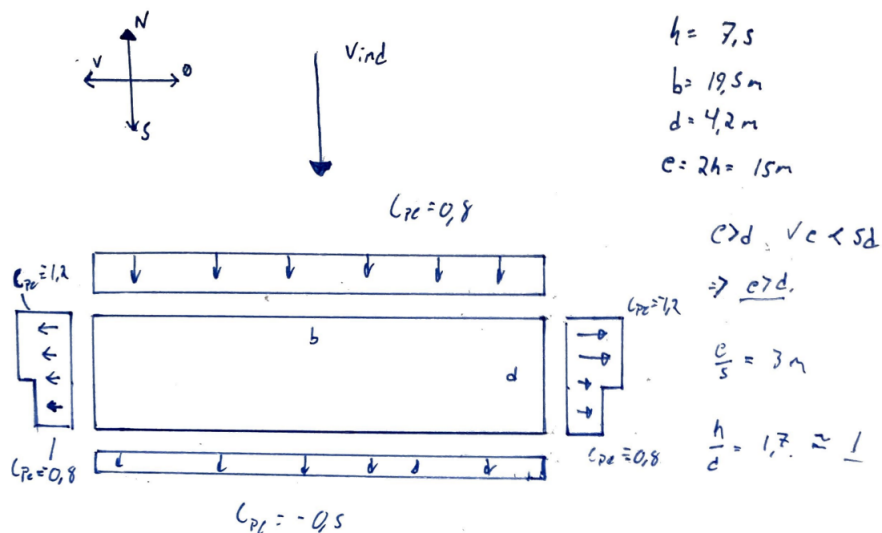


Figur 7.5 – Formfaktor for vertikale vegger

Figur C.9: Figur 7.5 EC 1991 1-4

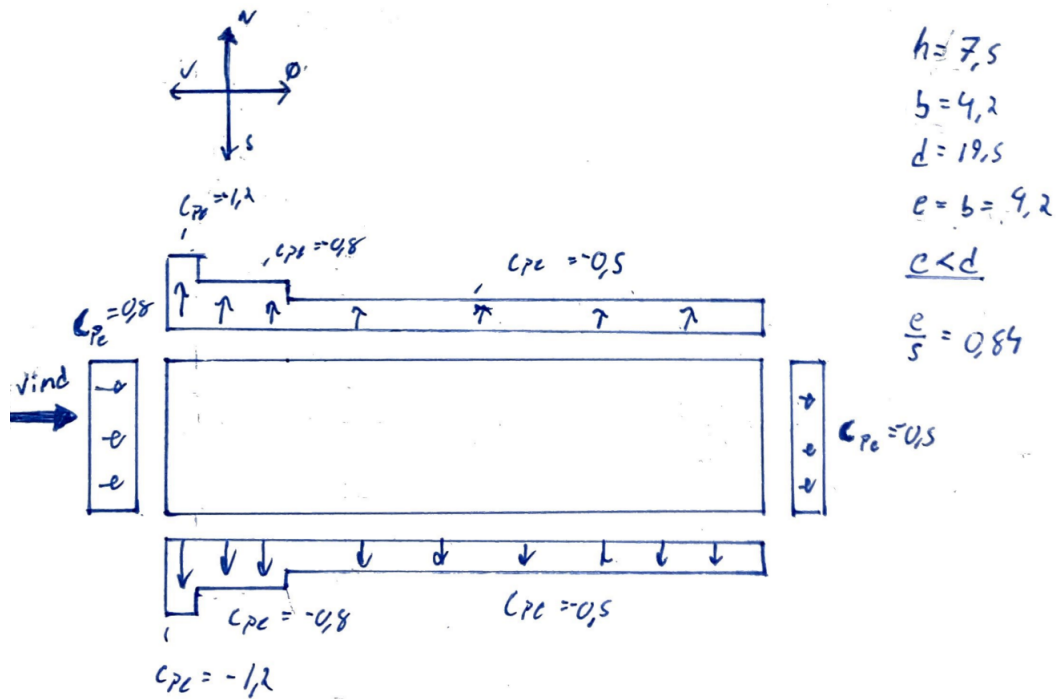
Siden tilbygget består av en rektangulær del til oppbevaring av tekniske installasjoner og et inngangsparti kommer vinddimensjoneringen til først og fremst å fokusere på hoveddelen av bygningen og anse den som et rektangel. Det er tidligere bestemt at vestlig og nordlig vind er dimensjonerende for denne konstruksjonen. C.1.3

Vind fra nord



Figur C.10: Beregning og fordeling av C_{pe}

Vind fra Vest



Figur C.11: Beregning og fordeling av C_{pe}

Bruker figur C.9 for å bestemme hvordan kreftene fordeles over bygget ved å finne ut forholdet mellom e og d og deretter lengden på sektor A ut i fra $e/5$

Tegningen oppgir de fordelte lastene med en C_{pe} faktor som skal ganges med dimensjonerende vindtrykk for å bestemme belastningen på konstruksjonen

C.2 Snølast

C.2.1 Snølast på mark , $s_{k,0}$

Snølast regnes ut etter en basisverdi fra kommunen, $s_{k,0}$ som finnes i tabell NA.4.1(901)C.12

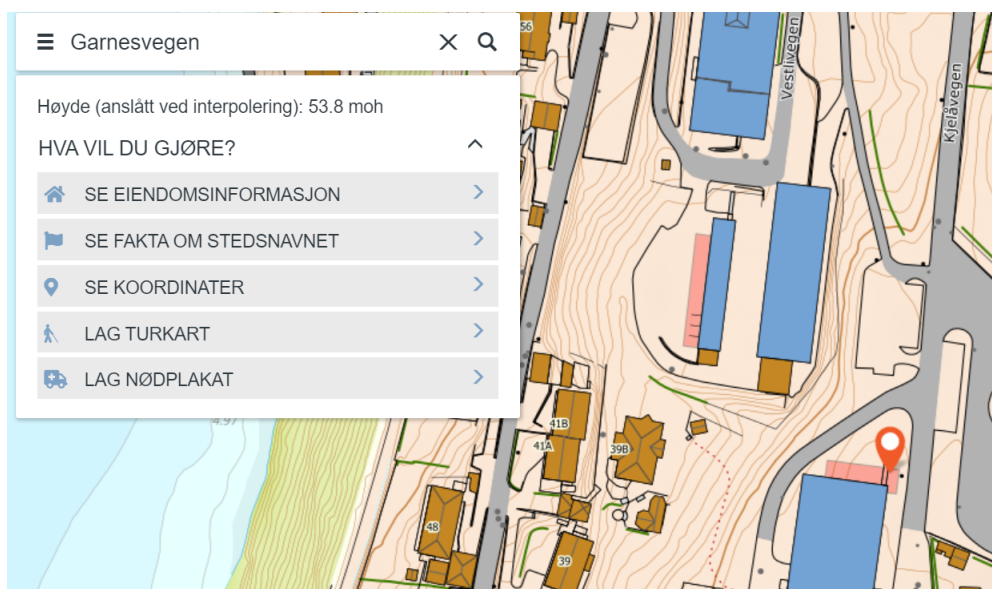
Kommune	$s_{k,0}$ kN/m ²	H_g m	Δs_k kN/m ²	$s_{k,max}$ kN/m ²
Osterøy	2,5	150	0,5	–
Radøy	1,5	150	0,5	–
Samnanger	3,0	150	1,0	–
Stord	2,0	150	0,5	–
Sund	1,5	150	0,5	–
Sveio	2,0	150	0,5	–
Tysnes	2,0	150	0,5	–
Ullensvang	2,5	150	1,0	–
– nær Folgefonna	2,5	150	1,0	8,5
Ulvik	3,0	150	1,0	–
Vaksdal	3,0	150	1,0	–
Voss	3,0	150	1,0	7,5
Øygarden	1,5	150	0,5	–

Figur C.12: NA 4.1(901) utdrag del 1

Hordaland				
Askøy	1,5	150	0,5	–
Austevoll	1,5	150	0,5	–
Austrheim	1,5	150	0,5	–
Bergen	2,0	150	0,5	–
Bømlo	1,5	150	0,5	–
Eidfjord	3,0	150	1,0	–
Etne	2,0	150	0,5	–
– nær Folgefonna	2,0	150	0,5	8,5
Fedje	1,5	150	0,5	–
Fitjar	1,5	150	0,5	–
Fjell	1,5	150	0,5	–
Fusa	3,0	150	0,5	–
Granvin	3,0	150	1,0	–
Jondal	2,5	150	1,0	–

Figur C.13: NA 4.1(901) utdrag del 2

s_k er avhengig av høyde over bakken og kommune, vi er i Bergen kommune og interpolering på norgeskart gir $H = 53.8$ C.14



Figur C.14: Høyde over havet tilbygg

Siden H_g i Bergen er ved 150moh og interpoleringen gir 53.8moh kan vi trygt anta at $H < H_g$ og derfor blir $s_k = s_{k,0}$ (EC 1-3 NA(4.1(1))) $s_k = 2 \frac{kN}{m^2}$

Snølast på tak for vedvarende/forbigående dimensjonerende situasjoner brukes formel $s = \mu_i C_e C_t s_k$ (EC 1998-1 (5.1))

μ_i er formfaktoren til taket og er avhengig av takvinkel og taktype. Det er ikke et eget avsnitt for flatt tak i EC, så taket dimensjoneres som et pulttak med mellom 0° og 30° etter Tabell 5.2 (EC 1998-1) $\mu = 0.8$

C_e er eksponeringsfaktoren og bestemmes etter om situasjonen er normal, vindusatt eller skjermet etter tabell 5.1 (EC 1998-1). Området er ganske normalt, og da blir $C_e = 1$

C_t er en reduksjonsfaktor som kan brukes dersom det er høy varmegjennomstrømming i taket som fører til smelting og derfor redusert snølast, i nasjonalt tillegg NA 5.2(8) (EC 1998-1) står det at dersom varmegjennomgang er lavere enn $1 \frac{W}{m^2K}$ eller kan isoleres til det nivået bør $C_t = 1$. Siden det er et teknisk rom som skal varme opp luft på vinteren samtidig som taket bygges uten vinduer antas det at bygget isoleres med tanke på energieffektiviteten og vi setter $C_t = 1$.

Derfor blir $s = s_k * 0.8 \quad s = 1.6 \frac{kN}{m^2}$

C.3 Jordskjelv

C.3.1 Designkrav Jordskjelv

I EC 1998-1 er en sentral del av jordskjelvsdimensjonering hvordan bygget skal planlegges

Regelmessighet og symetri Regelmessighet og symmetri er viktig for å få kunne beregne hvordan bygget vil oppføre seg ved eventuell kraftig seismisk aktivitet. Symmetri og regelmessighet vil også hindre eksentrisiteter. Det vil i tillegg bli en bedre fordeling og mer logiske veier for kreftene å gå (EC 1998-1, 4.2.1.2)

Motstand i to retninger Jordskjelv virker i alle horisontale retninger og bygget må derfor kunne ta opp belastningene begge veier, ortogonale hjørner bidrar til å øke to-veis stivhet. (EC 1998-1 4.2.1.3)

Skivevirkning Gulv og tak som er stive nok til å ikke deformeres i stor grad og som kan overføre krefter mellom bæresystemene er svært viktig for konstruksjonens samlede seismiske oppførsel.

C.3.2 Seismisitet. $a_g S$

Fra Nasjonalt tillegg N.A.3.2 For å finne ut om tilbygget kan dimensjoneres etter lav seismisitet brukes formel NA.3.2.1(4) $a_g S = \gamma_1 a_{gR} S \leq 1,0 \frac{m}{s^2}$ C.3.2 C.3.2 C.3.2

$$a_g S = 0,385$$

$$a_g S \leq 1,0$$

Tilbygget kan dimensjoneres med lav seismisitet

a_{gR} Finner a_{gR} fra tabell C.15

$$a_{gR} = \text{Bergen} = \text{Osterøy} = 0,55 \frac{m}{s^2} \text{ C.15}$$

Tabell NA.3.2 (907) — Spissverdier for berggrunnens akselerasjon a_{gR} (PGA) med en returperiode på 475 år for Vestland

Kommune	Nr.	a_{gR} [m/s ²]	Kommune	Nr.	a_{gR} [m/s ²]	Kommune	Nr.	a_{gR} [m/s ²]
Alver	4631	0,60	Gloppen	4650	0,55	Stad	4649	0,60
Askvoll	4645	0,60	Gulen	4635	0,60	Stord	4614	0,50
Askøy	4627	0,60	Hyllestad	4637	0,60	Stryn	4651	0,50
Aurland	4641	0,35	Høyanger	4638	0,55	Sunnfjord	4647	0,55
Austevoll	4625	0,60	Kinn	4602	0,60	Sveio	4612	0,50
Austrheim	4632	0,60	Kvam	4622	0,45	Tysnes	4616	0,50
Bergen	4601	0,55	Kvinnherad	4617	0,45	Ullensvang	4618	0,40
Bjørnafjorden	4624	0,50	Luster	4644	0,30	Ulvik	4620	0,40
Bremanger	4648	0,60	Lærdal	4642	0,25	Vaksdal	4628	0,50
Bømlo	4613	0,60	Masfjorden	4634	0,60	Vik	4639	0,45
Eidfjord	4619	0,40	Modalen	4629	0,55	Voss	4621	0,40
Etne	4611	0,45	Osterøy	4630	0,55	Øygarden	4626	0,60
Fedje	4633	0,60	Samnanger	4623	0,50	Årdal	4643	0,25
Fitjar	4615	0,60	Sogndal	4640	0,45			
Fjaler	4646	0,60	Solund	4636	0,60			

Figur C.15: Tabell NA.3.2(907) Fra EC 1998-1

γ_1 γ_1 bestemmes fra tabell NA.4(901) C.16 etter Seismisk klasse som bestemmes fra Tabell NA.4(902).C.16

Tabell NA.4 (901) — Verdier for seismisk faktor γ_1

Seismisk klasse	γ_1
I	0,70
II	1,00
IIIa	1,25
IIIb	1,70
IV	<u>a)</u>

a For byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store, for eksempel ved atomreaktorer og lagringsanlegg for radioaktivt avfall, store dammer, skal seismisk faktor vurderes særskilt enten på grunnlag en egen risikoanalyse eller en definert pålitelighet etter bestemmelsene for den aktuelle konstruksjonstypen.

Figur C.16: Tabell NA.4(902) Fra EC 1998-1

Tabell NA.4 (902) — Veiledende valg av seismisk klasse

Byggverk	I	II	IIIa	IIIb	IV
Byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store					x
Viktig infrastruktur: sykehus, brannstasjoner, redningsssentraler, kraftforsyning og lignende			(x)	x	
Industrialbygg ^{a)}		x	x		
Tårn, skorsteiner, siloer	(x)	x			
Kaier og havneanlegg ^{b)}	x	(x)			
Støttemurer, nedgravde konstruksjoner, geotekniske konstruksjoner ^{c)}	x	(x)			
Byggverk med store, og vedvarende, ansamlinger av mennesker og som ofte er i bruk: kjøpesentre, konferanselokaler, kinosaler, kulturelle institusjoner			x		
Byggverk med store, men sjeldne, ansamlinger av mennesker: tribuner, sportshaller		x			
Byggverk med små, men vedvarende, ansamlinger av mennesker og som ofte er i bruk: idrettsbygg		x			
Skoler og institusjonsbygg		(x)	x		
Kontorer, forretningsbygg, hotell og boligbygg		x			
Småhus, rekkehus, mindre lagerhus	x				
Landbruksbygg ^{d)}	x				
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	x				

MERKNAD Kryss uten parentes angir normalt valg av seismisk klasse.

a Der det er fare for stor skade på miljø og/eller biomangfold bør klasse IIIa velges.

b Der havneanlegg er en del av industrialbygg må disse vurderes også som industrialbygg

c Der bortfall av konstruksjoner påvirker stabiliteten til en konstruksjon med høyere konsekvensklasse må tilsvarende høyere konsekvensklasse vurderes. Konstruksjoner som bidrar til stabilitet langs vei og spor bør vurderes tilsvarende som bruer, se NS-EN 1998-2/NA.

d Landbruksbygg med fare for stor skade på miljø bør vurderes som industribygg

Figur C.17: Tabell NA.4(902) Fra EC 1998-1

Tilbygget skal oppbevare tekniske installasjoner, og vil ikke ha lengre opphold av personer. Av bygningen på listen er småhus, rekkehus og mindre lagerhus mest passende. Da funksjonen vil være relativt likt et lager og tilbygget ligger inntill idrettsbygget. Plasserer tilbygget i seismisk klasse I

Med seismisk klasse I blir $\gamma_1 = 0.7$, C.16

S Bestemmes fra grunntypen ved den aktuelle bygningen. I følge geoteknisk analyse (anbud) står hele det eksisterende direktefundamentert på fjell og det antas direktefundamentering av tilbygget. Derfor kan vi anta 5> meter med løsmasser over fjell ==> Grunntype A C.18

Tabell 3.1 – Grunntyper

Grunntype	Beskrivelse av stratigrafisk profil	Parametere		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (slag/30cm)	c_u (kPa)
A	Fjell eller fjell-liknende geologisk formasjon, medregnet høyst 5 m svakere materiale på overflaten.	> 800	–	–
B	Avleiringer av svært fast sand eller grus eller svært stiv leire, med en tykkelse på flere titalls meter, kjennetegnet ved en gradvis økning av mekaniske egenskaper med dybden.	360 – 800	> 50	> 250
C	Dype avleiringer av fast eller middels fast sand eller grus eller stiv leire med en tykkelse fra et titalls meter til flere hundre meter.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Avleiringer av løs til middels fast kohesjonsløs jord (med eller uten enkelte myke kohesjonslag) eller av hovedsakelig myk til fast kohesjonsjord.	< 180	< 15	< 70
E	En grunnprofil som består av et alluviumlag i overflaten med v_s -verdier av type C eller D og en tykkelse som varierer mellom ca. 5 m og 20 m, over et stivere materiale med $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Avleiringer som består av eller inneholder et lag med en tykkelse på minst 10 m av bløt leire/silt med høy plastisitetsindeks ($PI > 40$) og høyt vanninnhold.	< 100 (indikativ)	–	10 - 20
S_2	Avleiringer av jord som kan gå over i flytefase (liquefaction), sensitive leirer eller annen grunnprofil som ikke er med i typene A – E eller S_1 .			

Figur C.18: Tabell 3.1 Fra EC 1998-1 A1

I både tabell 3.2 og 3.3 er $S = 1.0$

Tabell 3.2 – Verdier for parametere som beskriver de anbefalte elastiske responsspektrene av type 1

Grunntype	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Tabell 3.3 – Verdier for parametere som beskriver de anbefalte elastiske responsspektrene av type 2

Grunntype	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,05	0,25	1,2
B	1,35	0,05	0,25	1,2
C	1,5	0,10	0,25	1,2
D	1,8	0,10	0,30	1,2
E	1,6	0,05	0,25	1,2

Figur C.19: Tabell 3.2 og 3.3 Fra EC 1998-1 A1

C.3.3 Konklusjon Jordskjelv

I utdanningen Byggteknikk ved NTNU er det ikke undervist i dynamikk og jordskjelvsberegning. Avsnittet for jordskjelvdimensjonering kommer ikke til å gå dypere enn å bestemme grad av seismisitet og liste opp designkriteriene i konstruksjonen. Designkravene kommer til å bli forsøkt oppfylt i konstruksjonen.

C.4 Egenlast

Egenlast beregnes ut fra antagelser om hvordan konstruksjonen kommer til å se ut før man i ettertid kontrollerer at de bjelke dimensjonene valgt for egenlast ga en korrekt last. Egenlast har en lavere lastfaktor enn nyttelast da det er knyttet mindre usikkerhet til egenlastene.

C.4.1 Egenlast takteking

Taktekkingen kommer ikke til å bli dimensjonert utover bærende ramme i stål i denne oppgaven, flatt tak er ikke en fryktelig tung tekking, antar $100 \text{ kg/kvm} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ for å være på sikker side.

C.4.2 Egenlast Isolasjon

Alle veggene skal isoleres, i tek 17 § 14-3 er det krav til u-verdi $\leq 22 \frac{W}{m^2 K}$ i yttervegg og $\leq 18 \frac{W}{m^2 K}$ i tak. Bruker tabellen til Glava for u-verdi med isolasjon og 48x98 trestender.

Velger vi proff 34 må det være minimum 200 mm i yttervegg og 300mm i tak [13].

Bruker det som utgangspunkt for vektberegning av isolasjon, glava proff 34 veier $\frac{kg}{m^3}$ [20]. ser bort i fra volum i bjelkelag mhp vektberegning, sikker side.

$$\text{tak} = 0.4m(19.4m \cdot 4.3m) \cdot 0.17 \frac{kN}{m^3} = 5.7kN$$

$$2 \text{ etasje} = 4m(19.4m \cdot 4.3m - 19m \cdot 3.9m) \cdot 0.17 \frac{kN}{m^3} = 6.3kN$$

$$1 \text{ etasje} = 1.5m(19.4m \cdot 4.3m - 19m \cdot 3.9m) \cdot 0.17 \frac{kN}{m^3} = 2.4kN$$

C.4.3 Egenlast trestender

Har i dimensjoneringen funnet ut at det skal brukes C24 48x98mm stender i ramme-
ne.

Egenlasten til C24 er $4.2 \frac{kN}{m^3}$ (EC 1991 1-1 tabell A.3)

Hver stender har tverrsnitt på $4.7 \cdot 10^{-3} m^3$, det gir en vekt på 0.02 kN/m

$$\text{Totalvekt 2 etasje} = 12 \cdot (6 \cdot 3.8m + 3 \cdot 4m) \cdot 0.02kN/m = 8,4kN$$

$$\text{Totalvekt 1 etasje} = 12 \cdot (6 \cdot 1,5m(\text{omtrentligsnitthydestender}) + 2 \cdot 4m) \cdot 0,02kN/m = 2.3kN$$

Gitterrist Gulvet i 2 etasje skal bygges opp av gitterrist på bærende stålbjelker. Gitterristen skal ha et spenn på 2000mm og skal bære minst $4,3 \frac{kN}{m^2}$. Brukte belastningstabellen til Weland for å finne en rist som oppfyller kravene. Gitterrist type H, c/c 33mm og med bærestål 40x3mm, skal ta opp $4.9 \frac{kN}{m^2}$ i bruksgrense med nedbøying L/200. [11] H6 risten er oppgitt til å veie 63.5kg per/stk(2kv), det tilsvarer $0,31 \frac{kN}{m^2}$

Stålsystem Bæresystemet i stål er bygget opp av HE100A, HE120A og HE140A, de har egenlastverdier [37]

HE100A = 16.7kg/m = 0.164kN/m HE120A = 19,9kg/m = 0,195kN/m HE140A = 24,7kg/m = 0,242kN/m

Totalt 9 x 4m HE100A $\cdot \gamma_m = 7$ kN (2.etg) Totalt 16 x 4m HE120A $\cdot \gamma_m = 15$ kN (2.etg)

Totalt 12 x 1.5m HE120A $\cdot \gamma_m = 4.212$ kN (1.etg) Totalt 12 x 4m HE140A $\cdot \gamma_m = 11.6$ kN

(2.etg) Totalt 12 x 4m HE140A $\cdot \gamma_m = 11.6$ kN (1.etg)

C.4.4 Installasjoner

Etter EC 1991 1-1, 5.2 (2) skal permanente installasjoner regnes som egenlast. Installasjonene våre er permanente og nøyaktig plassert etter vvs prosjekteringen.

Aggregatene i 2 etasje er henholdsvis 4970mmX1110mm, 1500kg [39] og 1690mmX730mm, 540kg [40] Dette gir fordelte laster på $2,7 \frac{kN}{m^2}$ og $4.3 \frac{kN}{m^2}$ Disse lastene vet vi nøyaktig hvor skal plasseres og de kommer ikke til å stables da begge aggregatene går i hele høyden. Men det bør tas hensyn til at aggregatene skal installeres og at det i den forbindelsen kan plasseres laster hvor som helst på konstruksjonen, og det kan komme opphopninger. Det er også en fordel å ta hensyn til at det kommer til å komme nye aggregater i løpet av byggets levetid.

C.5 Nyttelast

Nyttelast er lastene som ikke omfattes faste installasjoner og reisverk/byggningsdeler. I det tekniske rommet er nyttelastene i hovedsak i forbindelse med personale og materiell som skal inn i rommet i forbindelse med installasjon og vedlikehold.

Brukskategori Teknisk rom er ikke i tabellen over brukskategorier i EC 1991 og er derfor litt vanskelig å plassere. Antar at det er en plass mellom lagerbyggning og kontorlokale. Men siden de tekniske installasjonene er en del av egenlasten blir lagerbyggning veldig overdimensjonert. Velger nyttelast som ved et kontorbygg der der

hvor de tekniske installasjonene ikke skal være. Altså $2 \frac{kN}{m^2}$ (EC 1991, tabell 6.2, Brukskategori A)

Nyttelast 2 etasje Siden vi antar ikke høyere enn $2 \frac{kN}{m^2}$ og aralene som er dekket av aggregat ikke kommer til å bli utsatt for nyttelast fra personer antar vi en fordelt last på $4.3 \frac{kN}{m^2}$ som en fornuftig dimensjonering av kapaistet på dekket.

C.6 Oversikt Nytte- og egen-last med lastfaktor fra 2 etg

$$\text{snølast} = (1,6 \frac{kN}{m^2} \cdot 19.4m \cdot 4.3m) \cdot \gamma_n = 200kN \text{ C.2}$$

$$\text{Taktekking} = (1 \frac{kN}{m^2} \cdot 19.4m \cdot 4.3m) \cdot \gamma_m = 100kN \text{ C.4.1}$$

$$\text{Isolasjon tak} = 5.7kN \cdot \gamma_m = 6.8kN \text{ C.4.2}$$

$$\text{Trestender 2 etasje} = 8.4kN \cdot \gamma_m = 10kN \text{ C.4.3}$$

$$\text{Isolasjon 2 etasje} = 6.3kN \cdot \gamma_m = 7.6kN \text{ C.4.2}$$

$$\text{Gitterrist} = (0,31 \frac{kN}{m^2} \cdot 19m \cdot 3.9m) \cdot \gamma_m = 27.6kN \text{ C.4.3}$$

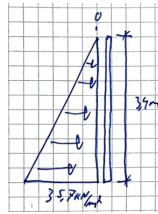
$$\text{Stålkonstruksjon 2 etg} = 33.6kN \text{ C.4.3}$$

$$\text{Nyttelast 2. etasje} = 4.3 \frac{kN}{m^2} (19m \cdot 3.9m) * \gamma_m = 478kN$$

$$\text{Karakteristisk totallast for 2 etasje} = 843.4kN$$

C.7 Jordtrykk

Jordtrykket er relevant for dimensjonering av betongbjelken og finnes ved hjelp av kompendium i Geoteknikk BYGT2001 [9]



Figur C.20: søyle

I figuren er lastene som vil virke på en betongvegg som er satt 3.4 meter ned i løsmasser hvor vi har antatt relativt tunge masser på $21 \frac{kN}{m^3}$ og ser bort fra grunnvannet.

$\sigma_z = \gamma \cdot z = 71.4 \frac{kN}{m^2}$ $\sigma_x = \sigma_z \cdot k_0 = 35.7 \frac{kN}{m^2}$ k_0 er hviletrykkskoeffesienten og beskriver forholdet mellom vertikal og horisontaltrykk, den bør finnes ved løsmassetester fra byggeplass på laboratorium, antar den til 0,5 som er relativt høyt for løsmasser.

