

Martin Berge Aambakk
Eirik Brekke-Rasmussen
Trude Merete Hagen Bøe

PartnerHallen

Mai 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk

Bacheloroppgave

2020



Martin Berge Aambakk
Eirik Brekke-Rasmussen
Trude Merete Hagen Bøe

PartnerHallen

Bacheloroppgave
Mai 2020

NTNU

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

TITTEL: PartnerHallen

KANDIDATNUMMER(E): 10006, 10032, 10034			
DATO: 20.05.2020	EMNEKODE: IB303312	EMNE: Bacheloroppgave	DOKUMENT TILGANG:
STUDIUM: Bachelor i ingeniørfag - Bygg		ANT SIDER/VEDLEGG: 80 / 128	BIBL. NR:

VEILEDER(E): Torodd Skjerve Nord

SAMMENDRAG: <p>ElementPartner har lenge hatt en idé rundt en skalerbar og demonterbar industri-/lagerhall bestående av betongelementer. Vi har undersøkt muligheten for å oppfylle disse kravene ved hjelp av et gitt bestemt sett med forhåndsdefinerte elementer. Prosjektet har fått navnet PartnerHallen.</p> <p>Målet med denne oppgaven har vært å prosjektere betongelementer med grunnlag i ElementPartner sin idé. I oppgaven utvikler vi en samling standardiserte betongelementer som samlet eller hver for seg oppfyller krav til:</p> <ul style="list-style-type: none">- Monterbarhet, demonterbarhet og skalerbarhet- Tilnærmet ubegrenset bruk og plassering i Norge- Ulike energikrav- Implementering av basaltfiber- Begrenset antall elementer, til konkurransedyktige priser

Denne oppgaven er en eksamensbesvarelse utført av studenter ved NTNU i Ålesund

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Den enkelte student er selv ansvarlig for å sette seg inn i hva som er lovlige hjelpemidler, retningslinjer for bruk av disse og regler om kildebruk. Erklæringen skal bevisstgjøre studentene på deres ansvar og hvilke konsekvenser fusk kan medføre. Manglende erklæring fritar ikke studentene fra sitt ansvar.

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.	<input checked="" type="checkbox"/>
2.	Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen: <ul style="list-style-type: none">• ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands.• ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt.• ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt.• har alle referansene oppgitt i litteraturlisten.• ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	<input checked="" type="checkbox"/>
3.	Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å <u>betrakte som fusk</u> og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§14 og 15.	<input checked="" type="checkbox"/>
4.	Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver	<input checked="" type="checkbox"/>
5.	Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens studieforskrift §31	<input checked="" type="checkbox"/>
6.	Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider	<input checked="" type="checkbox"/>

Publiseringsavtale

Studiepoeng: 20

Veileder: Torodd Skjerve Nord

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten ([Åndsverkloven §2](#)). Alle oppgaver som fyller kriteriene vil bli registrert og publisert i Brage HiM med forfatter(ne)s godkjenning. Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU i Ålesund en vederlagsfri rett til å gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering:

ja nei

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)?
(Båndleggingsavtale må fylles ut)

ja nei

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over?

ja nei

Er oppgaven unntatt offentlighet?

(inneholder taushetsbelagt informasjon. [Jfr. Offl. §13/Fvl. §13](#))

ja nei

Dato: 20.05.2020

Forord

Bacheloroppgaven er utført ved NTNU Ålesund vårsemesteret 2020, i samarbeid med ElementPartner AS. Interessen for bedriften kom tidlig høsten 2019, da en av gruppens medlemmer utførte praksisperioden sin her. Under denne perioden fattet vi interesse for prefabrikkerte betongelementer og dets utviklingsmuligheter. Gjennom møter med ElementPartner senere på høsten så vi muligheten for en innovativ og innholdsrik bacheloroppgave. Oppgaven har utfordret oss til å undersøke nyskapende løsninger innenfor temaer som vil være viktig både nå og i fremtiden. Dette gjelder temaer som basaltfiber, energieffektive, demonterbare og skalerbare løsninger. Ved å løse disse utfordringene, med hensyn til det økonomiske aspektet, har vi tilegnet oss en helhetlig erfaring i den ingeniørfaglige yrkesutøvelsen.

Vi ønsker å takke alle interne og eksterne aktører som har vært medvirkende i bachelorperioden. Deres hjelp har vært uvurderlig for oss.

Vi ønsker å takke:

- Ivar Aambakk og Anders Digernes (Ivar Aambakk AS)
- Jan Heide Sigurdson (JHS Construction)
- Steinar Trygstad (Dr.Ing. Steinar Trygstad AS)

Vi ønsker spesielt å takke:

- Torodd Skjerve Nord (Intern veileder hos NTNU)
- ElementPartner AS (Oppdragsgiver)
- Smari Skulason (Konstruktør)

Trude Bøe

Martin Aambakk

Eirik Brekke-Rasmussen



20.05.2020 Åndalsnes

Sammendrag

ElementPartner har lenge hatt en idé rundt et prosjekt som har fått navnet PartnerHallen. Målet med prosjektet har vært å utvikle et sett med betongelementer som danner basen for et ubestemt antall prosjekter av ulik størrelse og med ulike bruksområder. Denne oppgaven har hatt som mål å utvikle og konkretisere dette prosjektet. ElementPartner har definert forutsetninger og ønsker for prosjektet, og dette har ført an arbeidet med det som har resultert i PartnerHallen.

Målet med prosjekteringen av PartnerHallen har vært å utvikle en lager-/industrihall bestående av betongelementer. Hallen er utformet med sikte på å være skalerbar og demonterbar, og det er undersøkt muligheten for å benytte basaltfiber som armering i betongen. Byggverket er utviklet for tre ulike nivåer med krav til energieffektivitet. For å nå ut i markedet er det også tatt hensyn til at hallen skal være konkurransedyktig på pris.

Bacheloroppgaven har tatt utgangspunkt i veletablert teori og godkjent regelverk for å finne de beste og mest holdbare løsningene. Det er brukt ulike kilder for å dokumentere grunnlaget for dimensjoneringen og prosjekteringen, og fagfolk fra ulike felt er brukt i utviklingen av prosjektet.

Ved hjelp av beregninger for hånd og i dataprogrammer er det dokumentert at konstruksjonen har påkrevde bærende egenskaper. Aktuelle laster som kan opptre på konstruksjonen er identifisert, og avgrensninger er gjort der det er nødvendig. Utformingen av betongelementene og prosessen med å utarbeide denne er beskrevet, og vurderinger med hensyn til konstruksjonens skalerbarhet og demonterbarhet er drøftet. Utforming og dimensjoner er også presentert ved hjelp av tegninger og modeller. Beregning av U-verdi med hensyn til tre ulike krav for energi er utført, og brannteknisk prosjektering med preaksepterte løsninger er beskrevet. Det er også vist overslag til en kalkyle for et eksempel på en PartnerHall.

Gjennom oppgaven viser vi at det er mulig å utvikle et nyskapende og fremtidsrettet prosjekt for lager- og industrihaller bestående av betongelementer. Vi viser hvordan skrudde forbindelser og sveisede ståldetaljer legger til rette for montering og demontering av elementer. Ved bruk av fleksible og robuste bæresystemer har vi utviklet en hall som kan skales både opp og ned i størrelse, samtidig som den har tilfredsstillende kapasitet til å ta opp lastene som påføres, eller kan bli påført, konstruksjonen. Oppgaven viser at det er mulig å utfordre godt etablerte byggematerialer ved å delvis benytte basaltfiber som armering i

betongen. Energieffektive industribygg er fullt oppnåelig, og i oppgaven vises det hvor lite som skal til for å oppnå resultater som er mye bedre enn det som i dag er minimumskrav. Til slutt blir det også presentert hvordan en konstruksjon med alle disse egenskapene kan leveres til en konkurransedyktig pris. Vi er stolte av å i oppgaven kunne presentere PartnerHallen; en innovativ, nyskapende og fleksibel betonghall som dekker dagens og morgendagens behov.

Innholdsfortegnelse

OBLIGATORISK EGENERKLÆRING/GRUPPEERKLÆRING	II
PUBLISERINGSAVTALE	III
FORORD	IV
SAMMENDRAG	V
FIGURLISTE	IX
TABELLISTE	X
TERMINOLOGI OG SYMBOLFORKLARING	XI
1. INNLEDNING	1
1.1 BAKGRUNN	1
1.2 FORMÅL OG PROBLEMSTILLING	1
1.3 AVGRENSNINGER	2
1.4 RAPPORTENS OPPBYGNING	2
2. TEORETISK GRUNNLAG	3
2.1 BETONG	3
2.1.1 Egenskaper	3
2.1.2 Støpning	4
2.1.3 Prefabrikkert og plasstøpt betong	4
2.2 ARMERING	6
2.2.1 Fiberarmering	7
2.2.2 Basaltfiber	7
2.2.3 Slakkarmering	8
2.3 LASTER	8
2.3.1 Permanente laster	8
2.3.2 Variable laster	9
2.3.3 Håndteringslast	10
2.3.4 Seismiske laster	10
2.3.5 Lastfaktorer	11
2.3.6 Kombinasjon av laster	11
2.3.7 Grensetilstander	12
2.4 DIMENSJONERING	12
2.4.1 Bygningsdeler	12
2.4.2 Avstivingsystemer i konstruksjoner	13
2.4.3 Dimensjonering av ulike konstruksjonstyper	14
2.4.4 Brann	15
2.5 TRANSPORT AV PREFABRIKKERTE ELEMENTER	15
2.6 ENERGI	16
2.6.1 Standard energikrav for bygninger	16
2.6.2 Kalde bygg	17
2.6.3 Lavenergibygg	17
2.7 KALKYLE	18
3. METODE	19
3.1 KILDEBRUK	19
3.2 DATAVERKTØY	20
3.3 SPESIELT MEDVIRKENDE	22

4. KONSEPTVALG OG FORUTSETNINGER	23
4.1 KONSEPTVALG	23
4.2 FORUTSETNINGER	25
5. RESULTATER	27
5.1 LASTER	27
5.1.1 Egenlaster	27
5.1.2 Snølast	27
5.1.3 Vindlaster	27
5.2 DIMENSJONERING	28
5.2.1 Søyle	28
5.2.2 Bjelke	29
5.2.3 Skive	29
5.2.4 Festeløsninger	29
5.3 ENERGI	30
5.4 KALKYLE	31
6. DISKUSJON	33
6.1 UTFORMING	33
6.2 LASTER	34
6.3 DIMENSJONERING	36
6.3.1 Forutsetninger for dimensjoneringen	36
6.3.2 Dimensjonering av søyle	38
6.3.3 Dimensjonering av bjelke	41
6.3.4 Dimensjonering av flattstål, lask og «Viggo-løsning»	42
6.3.5 Dimensjonering av SUMO veggsko	43
6.3.6 Dimensjonering av veggskiver i elementene	44
6.4 VALG AV FESTELØSNINGER	44
6.5 SKALERBARE LØSNINGER	46
6.6 JORDSKJELV	47
6.7 BRANN	48
6.8 ENERGI	51
6.9 KALKYLE	53
7. KONKLUSJON	57
8. LITTERATURLISTE	59
9. VEDLEGG	63

Figurliste

FIGUR 2.1.1: TILSLAGSFORDELING I BETONG (BRØRS, 2019A).....	3
FIGUR 5.1.2: VINDLAST RETNING 90 GRADER.....	27
FIGUR 5.1.1: VINDLAST RETNING 0 GRADER.....	27
FIGUR 6.1.1: PORTELEMENT – SIDE.....	34
FIGUR 6.1.2: MODULELEMENT MED VINDU.....	34
FIGUR 6.2.1: FORMFAKTOR FOR SNØ.....	34
FIGUR 6.6.1: OMRÅDER I NORGE FOR UTEN KRAV TIL JORDSKJELVBREGNING.	48

Tabelliste

TABELL 2.1.1: FORDELER OG ULEMPER MED PLASSTØPT BETONG	5
TABELL 2.1.2: FORDELER OG ULEMPER MED PREFABRIKERT BETONG	5
TABELL 2.6.1: ENERGIBEHOV I ULIKE BYGNINGSKATEGORIER	16
TABELL 2.6.2: MINIMUMSKRAV TIL ENERGIEFFEKTIVITET FOR ULIKE BYGNINGSDELER.....	17
TABELL 2.7.3: MINSTEKRAVENE TIL BYGNINGSDELER MED MER FOR LAVENERGI	18
TABELL 3.1.1: KVALITETSVURDERING AV KILDER	19
TABELL 5.1.1: EGENLASTER.....	27
TABELL 5.1.2: SNØLAST	27
TABELL 5.1.4: VINDLASTER PÅ VEGG MED RETNING 90 GRADER. OPPGIS I KN/M ²	28
TABELL 5.1.3: VINDLASTER PÅ VEGG MED RETNING 0. GRADER. OPPGIS I KN/M ²	28
TABELL 5.1.5: INNVENDIG VINDLAST.....	28
TABELL 5.2.1: LENGDEARMERING I SØYLER (MM ²)	28
TABELL 5.2.2: SKJÆRARMERING I SØYLE (MM ² /MM)	28
TABELL 5.2.3: LENGDEARMERING I BJELKENS STREKKSONE (MM ²)	29
TABELL 5.2.4: SKJÆRARMERING I BJELKE (MM ² /MM).....	29
TABELL 5.2.5: MINIMUMSARMERING I VEGGSKIVER (MM ²).....	29
TABELL 5.2.6: KONTROLL FOR FLATTSTÅL, LASK OG «VIGGO-LØSNING»	29
TABELL 5.2.7: DIMENSJONERENDE KREFTER FOR VALG AV SUMO VEGGSKO (KN).....	30
TABELL 5.3.1: U-VERDI BREGNINGER	30
TABELL 5.3.2: ENERGIBEHOV EKSEMPLER.....	30
TABELL 5.4.1: VEILEDENDE PRIS FOR ELEMENTER	31
TABELL 5.4.2: PRIS FOR TAK OG GULV	31
TABELL 6.7.1: KRAV TIL BRANNSEKSJON	49
TABELL 6.7.2: BRANNKLASSIFISERING AV BYGNINGSDELER	50
TABELL 6.8.1: U-VERDI FOR STANDARD ENERGIKRAV	52
TABELL 6.8.2: U-VERDI FOR LAVENERGIKRAV	52
TABELL 6.9.1: KALKYLE FOR KALDT BYGG	55
TABELL 6.9.2: KALKYLE FOR STANDARD ENERGIKRAV	55
TABELL 6.9.3: KALKYLE FOR LAVENERGI.....	56

Terminologi og symbolforklaring

Begreper

Armeringsstoler	Hjelpemiddel for riktig plassering av armering før utstøpning
Basaltfiber	Fiberarmering bestående av bergarten basalt
Betongelementer	Bygningsdeler i betong produsert et annet sted enn der de brukes
Brannalarmkategori	Kategorisering av brannalarmanlegg etter funksjon og egenskaper
Brannklasse	Klassifisering av konsekvensene ved brann i en konstruksjon
Densitet	Massetettheten til et materiale
Eksponeringsfaktor for snø	Faktor som tar hensyn til forholdet mellom snølast på tak og snølast på mark som følge av topografien
Energieffektivitet	Mål på hvor effektivt energien som tilføres et system benyttes
Energiprofil	Et sett med krav og regler for energi som man skal eller kan følge
Formfaktor for snø	Faktor som justerer snølast for den geometriske utformingen av tak
Forskallingsformer	Form som benyttes til å støpe betong i
Fuge	Tilslutning eller mellomrom mellom to bygningsdeler
Gavlvegg	Vegger som står i enden av konstruksjoner og har samme orientering som takets skråplan
Heft	Materialenes evne til å henge sammen
Herde	Bli fastere eller stivere
Jevnt fordelt last	En last som virker over et område
Korrosjon	Oppløsning av metalliske materialer. Kalles rust for stål
Kuldebro	Felt i en bygningskonstruksjon som leder vesentlig mer varme enn det resterende av konstruksjonen
Lask	Tre- eller metallbit som binder sammen endene på to emner
Lekkasjetall	Luftskiftninger per time
Prefabrikkert	Bygningsdel som bli fremstilt på fabrikk
Punktlast	Last som virker i et bestemt punkt
Retningsfaktor for vind	Reduksjonsfaktor for vind som tar hensyn til vindens retning
Returperiode	Hvor ofte en hendelse statistisk forekommer
Ribber	Bærende bygningsdeler innstøpt som en del av en større bygningsdel. F.eks. søyler støpt inn i sandwichelementer
Risikoklasse	Klassifisering av bygninger for risiko på liv og helse ved brann
Seismisk akselerasjon	Akselerasjon i berggrunnen ved jordskjelv

Sementklasse	Klassifisering av sement etter egenskaper
Sementlim	Produktet av reaksjonen mellom sement og vann
Skalere	Endre størrelse
Spaltestrekk	Strekkrefter som følge av at en punktlast fordeler seg i et materiale
Spesifikk brannenergi	Brannenergi per gulvareal. Avhenger av innholdet i konstruksjonen
Statistisk faktor for vind	Faktor for vind som avhenger av turbulens
Sveis	Sammenføyning mellom materialer utformet ved hjelp av varmebehandling
Tangentielt	Parallel med tangentens retning
Temperaturvirkningsgrad	Andel av tilført luft vi kan varme opp med bortledet luft i en varmegjenvinner
Terrengruhetskategori	Kategorisering av terreng etter motstand for vind langs bakken
Tilslag	Fellesnavn på grove og fine steinmaterialer i betong og mørtel
Tiltak	Oppføring eller endring av en konstruksjon
Toleranser	Øvre eller nedre grenseverdier for ulike egenskaper
Topografifaktor for vind	Faktor for vind som tar hensyn til variasjoner i terrenget
Totalleverandør	En bedrift som leverer alle tjenester innenfor et fagfelt
Transmisjonsvarmetap	Varmetap gjennom bygningsdelene
Infiltrasjonsvarmetap	Varmetap som følge av bevegelser i luften
Utmatting	Sprekkdannelse i materiale som følge av vekslende belastninger over tid
Utstøpingsform	Form for støpning av betongelementer
Vannsementforhold	Forholdet mellom vann og sement i en betongblanding
Varmegjenvinner	Installasjon som gjenvinner varme i luft som føres ut av ventilasjonsanlegg
Varmekonduktivitet	Angir stoffers egenskap til å lede varme
Årstidsfaktor for vind	Faktor som regulerer vindbelastning for variasjoner med hensyn på årstider

Forkortelser

2D	todimensjonal
3D	tredimensjonal
BRA	Bruttoareal
DUT _s	Dimensjonerende utetemperatur
E.C	Eurokode
h	Time
K	Kelvin
kN	kilonewton
kr	kroner
kW	kilowatt
kWh	kilowatttime
m	meter
M.o.h	meter over havet
m/s ²	akselerasjon
m ²	kvadratmeter
m ³	kubikkmeter
mm	millimeter
PBL	Plan- og bygningsloven
R	Brannmotstand
s	Sekund
SFP	Spesifikk vifte-effekt
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient
°C	Grader celsius

Symboler

$\frac{A_{sw}}{s}$ – nødvendig skjærarmeringstversnitt per lengdeenhet

$\frac{1}{r_0}$ – maksimalkrumning i bruddgrensetilstand

$\frac{1}{r}$ – krumning

A_c – areal til gjeldende betongtverrsnitt

a_{cc} – reduksjon av trykkfasthet som følge av langtidslast

a_h – avstand mellom armeringstenger i samme lag

$A_{s,min}$ – minimum tillatt lengdearmering i bjelker/plate

A_s' – armering i trykksone

A_s – armering i strekksone

A_{s1} – atrekkarmering som tilsvare fullt utnyttet tykksone

A_{s2} – tilleggsarmering som må tåle ytre moment både i strekk – og trykksone

A_{sa} – spaltestrekkarmering alternativ a

A_{sb} – spaltestrekkarmering alternativ b

$A_{snø}$ – areal belastet av snø

$A_{stålplate}$ – areal til stålplateopplegg

a_v – avstand mellom armeringstenger i forskjellige lag

A_{vind} – areal belastet av vindkrefter

A_ϕ – Areal armeringstversnitt

b_{bjelke} – bredde til bjelke

B_{El} – bredde element

b_{inner} – tykkelse til bærende innersjikt

$b_{isolasjon}$ – tykkelse på isolasjonssjikt

b_{skive} – bredde på skive. Sette alltid til 1000 mm

$b_{stålplate}$ – bredde på stålplateopplegg

$b_{søyle}$ – avstand mellom senter trykk – og strekkarmering i søylens bredde

$b_{søyle}$ – bredde søyle

b_{ytter} – bredde yttersjikt betong

c_{e2} – faktor for å regne 2. ordens utbøyning

c_{nom} – nominell overdekning

$C_{rd,c}$ – faktor ved beregning av skjærkapasitet i betong

d_g – maksimal tilslagsstørrelse

e_2 – 2. ordens utbøyning

e_i – eksentrisitet for geometrisk avvik
 $F_1, F_2, F_3 \dots$ – Opplagerkrefter
 f_{cd} – dimensjonerende trykkfasthet
 f_{ck} – 28 – døgns sylindetrykkfasthet, betong
 f_{ctm} – midlere strekkfasthet for betong
 $f_{Ftu,ef}$ – reststrekkfasthet i fiberarmering
 f_{tud} – reststrekkfasthet for basaltfiber
 f_u – grunnmaterialets bruddspenning
 $F_{w,rd}$ – kapasitet for kilsveis per lengdeenhet
 h_0 – effektiv tverrsnitttykkelse
 h_{bjelke} – høyde på bjelke
 $H_{element\ u.p}$ – total høyde av element med unntak av høyde til parapet
 $H_{portbjelke,ytter}$ – høyde på yttersjikt i element over stor port
 $h_{stålplate}$ – høyde på stålplateopplegg
 $h_{søyle'}$ – avstand mellom senter trykk – og strekkarmering i søylens høyde
 $h_{søyle}$ – høyde søyle
 H_{tot} – total høyde av elementet
 h_{vind} – høyden vindlastenlasten fordeler seg over
 k_2 – faktor ved beregning av $C_{rd,c}$
 k_a – faktor i utregning av normalisert slankhet
 K_r – faktor for å ivareta krumningsvariasjon med aksialkraftnivå
 K_ϕ – faktor for å ivareta kryp
 $l_{inner_{eff}}$ – avstanden mellom søylene i innersjikt
 $l_{løftekrok}$ – avstand fra løftekrok til kant element
 l_{sveis} – total nødvendig lengde på sveis
 l_{vind} – lengden vindlastenlasten fordeler seg over
 $M_{ed,2}$ – dimensjonerende moment medregnet 2. ordens moment
 $M_{ed,qp}$ – moment i bruksgrensetilstanden
 M_{ed} – dimensjonerende moment
 $M_{eksentrisitet}$ – moment fra eksentrisitet
 n_{bal} – dimensjonsløs aksiallast ved balansepunktet
 $n_{opplager}$ – antall opplagere
 $N_{rd,c,lokal}$ – lokal trykkapasitet for betong
 n_u – dimensjonsløs aksialkraftkapasitet for aksiallast

q_{vind} – jevnt fordelt vindlast
 $s_{cl,max}$ – største avstand mellom bøyer i søyle
 $S_{l,max}$ – maksimal senteravstand mellom skjærarmeringsbøyer
 $S_{max,slabs}$ – maksimal senteravstand for lengdearmering
 v_1 – fasthetsreduksjonsfaktor for opprisset betong grunnet skjærkraft
 $V_{rd,c}$ – skjærstrekkkapasitet
 $V_{rd,max}$ – skjærtrykkkapasitet for betong
 w_e – utvendig vindlast
 w_i – innvendig vindlast
 β_w – kalibreringsfaktor
 γ_{betong} – tyngdetetthet betong
 γ_c – materialkoefisient for betong
 $\gamma_{Gj,sup}$ – Lastfaktor, ugunstig permanent last
 $\gamma_{isolasjon}$ – tyngdetetthet isolasjon
 γ_{M2} – materialfaktor for sveis
 $\gamma_{Q1}\psi_{0,1}$ – lastfaktor, dominerende variabel last
 γ_{Q1} – lastfaktor, dominerende variabel last i bruksgrensetilstand
 ε_{yd} – dimensjonerende flytetøyning
 λ_n – normalisert slankhet
 ρ_L – armeringsforhold for strekkarmering med fullstendig forankring
 $\rho_{w,min}$ – minimum skjærarmeringsforhold
 σ_1 – hovedspenning
 $\sigma_{cd,lokal}$ – lokal trykkspenningkapasitet for betong
 φ_{∞,t_0} – endelig kryptall
 φ_{eff} – effektive kryptall
 a – kilsveisens dimensjon
 $b\varnothing$ – armeringsbøyle
 c – faktor ved beregning av z for delvis utnyttet betong
 d – effektiv høyde
 D – dynamisk last forårsaket av transport og montasje av elementene
 g – egenvekt
 H – Høyde fra terreng til topp av element
 i – treghetsradius
 K – faktor ved beregning av momentkapasitet for betong

k – faktor ved beregning av skjærstrekkkapasiteten til betong
 $Last_{q,søyle}$ – egenvekt til søyle som jevnt fordelt last
 $Last_{q,bjelke}$ – egenvekt av bjelke som fordelt last
 $Last_{q,element,v}$ – jevnt fordelt last på element korrigert for vinkel v
 $Last_{q,element}$ – egenvekten av element som jevnt fordelt last
 S – snølast på tak
 u – omkrets av den delen som er utsatt for uttørking
 w – mekanisk armeringsforhold
 z – indre momentarm i betongtverrsnitt
 β – faktor for å regne ut K_ϕ
 λ – geometrisk slankhet
 Y – lastfaktor
 ϕ – diameter lengdearmring
 g – Karakteristisk permanent last
 P_γ – Total dimensjonerende lastvirkning i bruddgrensetilstanden
 $q1$ – Karakteristisk variabel last
 $q2$ – Øvrig karakteristisk variabel last
 k_L – Reduksjonsfaktor avhengig av pålitelighetsklasse
 μ_1 – Formfaktor for snø
 C_{HOH} – Nivåfaktor for vind
 ϕYsX – armering med diameter og senteravstnad
 $X\phi Y$ – Antall armeringer med diameter

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

ElementPartner AS er et selskap som holder til på Åndalsnes. Bedriften har siden 1970-tallet under ulike navn produsert prefabrikkerte betongelementer. I dag leverer de produkter til hele landet, og elementene deres produseres i Norges mest moderne elementfabrikk. Som totalleverandør leverer bedriften også tjenester for prosjektering, transport og montering av elementene.

Med et økende antall oppdrag de siste årene har ElementPartner sett på muligheten for å effektivisere prosjekteringen og produksjonen av betongelementer. Elementer har en utførelse som gjør dem gunstige for frakt og montering, et potensiale som i dag ikke utnyttes til det fulle. Økende fokus på miljø- og energieffektive løsninger har også gitt et ønske om å tilby et produkt som kan utfordre de standarder og spesifikasjoner som finnes i markedet. Én samling betongelementer som innehar disse ytelsene, og som kan tilpasses en større andel fremtidige prosjekter, vil gi stor gevinst for ElementPartner i form av økt kvalitet på produktene og økt effektivitet i produksjonen.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å utarbeide en samling med standardiserte betongelementer som hver for seg eller sammen skal oppfylle et sett med spesifikasjoner og ytelser. Disse ytelsene og spesifikasjonene er:

- Betongelementene og festeløsningene skal være monterbare og demonterbare
- Konstruksjonen skal kunne skaleres opp og ned i størrelse
- Antall elementer med ulike utførelse skal begrenses
- Der det er mulig skal tradisjonell stålarming erstattes med basaltfiber
- Elementene skal leveres med ulike toleranser for krav til energieffektivitet
- Konstruksjonen skal kunne plasseres tilnærmet hvor som helst i Norge
- Konstruksjonen skal kunne benyttes innen en rekke industrier og bruksområder

Ut ifra disse målsetningene har vi definert 1 problemstilling (1) og 2 delspørsmål (2,3):

1. Oppgavens problemstilling er å prosjektere en skalerbar og demonterbar lager-/industrihall som kan tilpasses ulike bruksområder og plasseres tilnærmet hvor som helst i Norge.
2. Kan stangarmeringen erstattes helt eller delvis av basaltfiber?
3. Kan konstruksjonen leveres med ulike spesifikasjoner til energi og samtidig være konkurransedyktig på pris?

1.3 Avgrensninger

Av hensyn til tid og ressurser er det gjort avgrensninger for hva oppgaven tar for seg. Oppgaven vil i hovedsak ha fokus på betongelementene. Der det er relevant for oppgaven er det gjort forutsetninger for takkonstruksjon, fundament og dekke, men disse er ikke detaljprosjektert. Innenfor noen av temaene i oppgaven er det også gjort avgrensninger, og disse gjøres rede for i de respektive kapitlene.

1.4 Rapportens oppbygning

Kapittel 2, «Teoretisk grunnlag», tar for seg teori og litteratur som er relevant for resten av oppgaven. Kapitlet gir en grunnleggende forståelse av temaene som belyses i oppgaven, og gir en innføring i hvilke lovverk og standarder som er benyttet.

Kapittel 3, «Metode», beskriver kvalitetsvurderingen vi har gjort av de ulike kildene i oppgaven. Denne delen gir også en kort innføring i hvilke dataprogrammer som er benyttet.

Kapittel 4, «Konseptvalg og forutsetninger», beskriver hvilke konsept oppgaven er bygget på, og hvordan vi har utviklet dette. Kapitlet beskriver også forutsetninger som er gjort i den resterende delen av oppgaven.

Kapittel 5, «Resultater», viser resultater fra beregninger. Utrekningene er vist i vedlegg.

Kapittel 6, «Diskusjon», presenterer diskusjoner og løsninger rundt det som er vist i resultatene, med sikte på å løse de utfordringene som er belyst i problemstillingen.

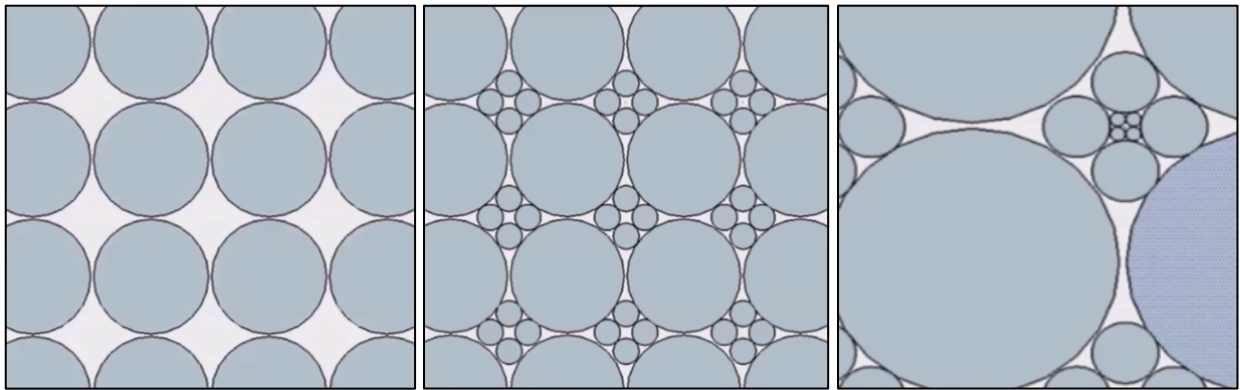
Kapittel 7, «Konklusjon», gir en konklusjon på det som er drøftet i diskusjonen. Her sammenfattes løsningene som et oppsummerende svar på problemstillingen.

Avslutningsvis presenteres henvisninger til litteraturen benyttet i oppgaven, samt de vedlegg som er referert til i teksten.

2. Teoretisk grunnlag

2.1 Betong

Betong er et av verdens mest brukte og viktige byggematerialer. Det består av vann, sement, tilslag og eventuelle tilsetningsstoffer. Tilslag er en fellesbetegnelse for sand, stein og pukk. Ved å blande vann og betong dannes sementlim som fyller hulrommene mellom tilslaget. Kornsammensetningen i tilslaget bør bestå av alle kornstørrelser slik at hulrommene mellom de større kornene blir fylt med mindre korn (Fig. 2.1.1). Ved å unngå store hulrom blir betongen tettere, sterkere og billigere ved at man sparer seg for større mengder sementlim. Ved riktig blandingsforhold har betongen høy styrke og god bestandighet (Kontrollrådet, 2020a).



Figur 2.1.1: Tilslagsfordeling i betong (Brørs, 2019a)

Tilsetningsstoffer benyttes for å oppnå eller fremheve spesielle egenskaper hos fersk eller herdet betong. Det er viktig at disse stoffene benyttes på riktig måte, da feil bruk eller mengde kan gjøre mer skade enn nytte. De vanligste tilsetningsstoffene er: akselererende stoffer som påskynder herdingen, retarderende stoffer som forsinker herdingen, luftinnførende stoffer for å gjøre betongen frostsikker, plastiserende stoffer som gjør den ferske betongen lettbearbeidelig og tettende stoffer som øker betongens vanntetthet (Thue, 2019).

Betong benyttes i plasstøpte konstruksjoner som dekker, vegger, demninger, broer og kaier og i prefabrikkerte betongelementer som søyler, bjelker, tak-, dekke- og veggelementer.

2.1.1 Egenskaper

Betong har dårlig strekkapasitet og det støpes derfor inn armering for å ta opp strekk-kreftene. Trykkfastheten til betong avgjøres i all hovedsak av dens vannsementforhold (v/c), som er

liter vann per kilo sement i blandingen. Når betongen herder bindes en vannmengde tilsvarende 40% av sementvekten i betongen. Det er ikke vanlig med lavere v/c-forhold enn 0,4. Lavere v/c-tall gir betongen større fasthet når den herder, men også en tørr og stiv betong som fordeler seg dårlig i støpeformen.

Massetettheten til betong varierer med sammensetning og tilslagstyper, men er i området 2200-2500 kg/m³. Betongens varmekonduktivitet, evnen til å lede varme, er avhengig av densiteten, fuktinnholdet, tilslagets egenskaper og mengde armering. Betong leder varme bedre enn isolasjonsmaterialene, og verdier for dimensjonerende varme- og fukttekniske egenskaper er gitt i NS-EN ISO 10456 (Thue, 2019).

2.1.2 Støpning

Armering må monteres før støpning. Støpning utføres med et tidsrom på inntil 1,5 time, slik at betongen ikke størkner. Dette vil variere avhengig av temperaturen i omgivelsene rundt. Det er viktig at betongblandingen har god konsistens slik at den fordeler seg bra i formen, rundt utsparinger og ved armeringen. For å sikre at blandingen legger seg tett kan den komprimeres ved hjelp av vibrering. Da vil partiklene i den ferske betongen pakke seg sammen.

Etter støpning må betongen herde. Herding er en gradvis kjemisk reaksjon mellom vann og sement som foregår parallelt med at vannet trenger inn i sementkornene. Dette er en tidkrevende prosess som krever at betongen holdes fuktig. Ved lave temperaturer går herdingen langsomt, og kan stoppe helt opp. Betongen må derfor beskyttes mot kulde ved støpning i lave temperaturer (Thue, 2019).

2.1.3 Prefabrikkert og plasstøpt betong

Plasstøpt betong er den tradisjonelle metoden å bygge med betong på. Her monteres og bindes armering til armeringsstoler og nett, som er plassert i forskallingsformer. Etter at armeringen er plassert, fylles forskallingen med betong. Sammenliknet med prefabrikkert betong er plasstøpt betong ofte et dyrere alternativ (Revfem, 2018). Fordeler og ulemper med plasstøpt betong er presentert i tabell 2.1.1.

Tabell 2.1.1: Fordeler og ulemper med plasstøpt betong

Fordeler	Ulemper
Stabil og tilpasningsdyktig	Krever lang arbeidstid på byggeplass
Mulighet til å rette opp feil og skjevheter underveis	Tørketid/herdetid
Konstruksjonen kan endres uten at den tar skade av det	Store konstruksjoner krever stor byggeplass
Arbeidet utføres på stedet, så råvarene trenger ikke å lagres på byggeplassen	Krever stor bemanning av fagarbeidere på byggeplass
Færre skjøter enn prefabrikkert konstruksjon, som gir høyere brannmotstand	Begrenset kjøreavstand fra blandeverket til byggeplassen
Vanntett	Ofte overdimensjonert
Lettere å lage skjulte løsninger	Som oftest mer betongavfall enn ved prefabrikkert betong
	Uegnede værforhold kan forsinke byggingen, f.eks. kulde og varme kan forstyrre herdeprosessen og dermed forlenge byggeperioden som igjen fører til større kostnader

Prefabrikkerte elementer støpes, armeres, herdes, pusses og overflatebehandles i fabrikk. Betongelementer produseres med ulike formål og tilpasses det enkelte byggeprosjektet. De vanligste elementene er bjelker, søyler, tak-, dekke- og veggelementer. Fordeler og ulemper med prefabrikkerte betongelementer er vist i tabell 2.1.2.

Tabell 2.1.2: Fordeler og ulemper med prefabrikkert betong

Fordeler	Ulemper
Kortere tidsramme som sparer byggherren for store kostnader	Skade på elementer under transport
Det kreves mindre arbeidskraft å montere prefabrikkerte elementer enn det kreves for plasstøpt betong	Begrenset i forhold til tilpasninger og endringer i konstruksjonen underveis og i ettertid. Dette kan eventuelt skape store kostnader

Sparer tid på forskalingsarbeid	Tidkrevende planlegging for presisjon i lang tid før utførelsen av arbeidet
Relativt liten deformasjon	Behov for påstøp
Ved tilpasset valg av løsning, kan det være mulig å demontere/gjenbruke elementene	Skade på elementer under bygging kan føre til byggestopp
Lite avhengig av lagringsplass på byggeplass	Krever stor byggeplass da det må brukes kran for å montere elementene
Arbeidet kan fortsette rett etter monteringen	For små konstruksjoner er det generelt billigere med plasstøpt betong
Gir mulighet for forspente elementer som kan gi økt spennvidde	Det dannes flere skjøter enn ved plasstøpte konstruksjoner, noe som gjør konstruksjonen mer sårbar for seismiske laster, gir lavere brannmotstand og reduserer energieffektiviteten
Lettere å kontrollere kvaliteten da man kan styre temperaturen i industrihallen hvor elementene produseres	Veggfugene kan med tiden bli løse
Prefabrikkerte konstruksjoner har ofte lengre levetid enn plasstøpte	Begrenset bordstørrelse
Kan fraktes over store avstander både på land, til havs og i luften	
Man kan utføre andre prosjektoppgaver i byggeprosjektet mens elementene produseres	

2.2 Armering

Å armere betyr å forbedre egenskapene til et materiale, slik at det tåler større påkjenninger. Betong tåler store trykkpåkjenninger, men har liten motstand mot strekk. Armering i betongens strekkside utjevner denne forskjellen, og gir materialet motstand mot både trykk- og strekkrefter. Eksempelvis vil en bjelke med belastning på midten, få strekk i underkant. For å ta opp strekkraften må det legges inn armering i underkant av bjelken (Brørs, 2019b).

Armert betong er det mest motstandsdyktige byggematerialet mot brann og vann. På grunn av den termiske ledningsevnen, er betongen effektiv mot brann. Betongen er vannavstøtende, og dersom man bruker membran og spesielle blandinger, kan den også bli vanntett (kontrollrådet, 2020b).

Armeringsjernene er utformet med kammer eller riller slik at det skal bli god heft med betongen. Armeringsjernene kommer i diameter fra 5-40 mm, hvor de tynneste som regel er sveiset fast og danner armeringsnetting. Jernene kan bøyes og kappes for å tilpasses tegningene.

For å sikre at betongen har en riktig og jevnt fordelt styrke, er det viktig at armeringen plasseres i forskalingen nøyaktig slik som det fremkommer i byggetegningene. For å sørge for at armeringen ikke flytter seg når betongen helles i forskalingen, bindes den til armeringsstoler. Armeringsstolene skal også sørge for tilstrekkelig overdekning. Overdekning er den frie avstanden fra betongoverflaten til armering. Denne avstanden bestemmes ut ifra konstruksjonens eksponeringsklasse, altså i hvor stor grad den er utsatt for vann som inneholder klorider. Dersom konstruksjonen utsettes for klorider og overdekningen ikke er stor nok, er det fare for at armeringen kan korrodere (Brørs, 2019b).

2.2.1 Fiberarmering

Fiberarmering er et alternativ til den tradisjonelle kamstålarmeringen, og kan erstattes denne helt eller delvis. Til forskjell fra tradisjonell armering, hvor armeringen bindes før støpning, blandes fiber direkte inn i fersk betong. Fiberne kan være laget av plast, glass, basalt og stål og er vanligvis 25-60 mm lange. Fibrene er utformet på en slik måte at de bidrar til god heft i betongen, enten ved å benytte en grov overflate, bølget utforming eller kroker i endene (Seehusen, 2013).

Det er en rekke fordeler med fiberarmert betong. Noen fordeler er:

- Arbeiderne spares for tungt arbeid med armeringen.
- Tidsbesparelse fordi man slipper/reducerer armeringsarbeidet.
- Armeringen legger seg på riktig sted i konstruksjonsdelene.
- Enklere utstøping.

2.2.2 Basaltfiber

Basaltfiber er et materiale fremstilt av svært fine fibre av basalt. Materialet ligner på, men har bedre egenskaper enn, glassfiber. Det er også betydelig billigere enn karbonfiber (Basalt fiber, 2020). Basaltfiber har det mest gunstige forholdet mellom kvalitet og pris sammenlignet med andre typer fibre.

I motsetning til metall korroderer ikke basalt. Det påvirkes ikke av syrer og har høye korrosjons- og kjemiske holdbarhetskvaliteter ovenfor etsende medier som salter, syrer og spesielt alkalier. Basaltfiberens tetthet er lik betongens og vil derfor verken synke til bunn eller stige til overflaten i betongblandingen.

Fordi basaltfiberen er korrosjonssikker, kan tykkelsen på overdekningen reduseres betraktelig. Dette utelukker ikke behovet for ekstra armering der belastningen er høy, da stålarmingen er stivere og kan ta opp punktvis større laster (Seehusen, 2014).

2.2.3 Slakkarmering

Armering av stål som støpes i betongen uten påkjenning fra ytre krefter, heter slakkarmering. Dette er den vanligste og mest brukte typen armering. Slakkarmering er tradisjonelle nett eller armeringsstenger som er innstøpt i betongkonstruksjonen. Fordelen med slakkarmering er blant annet at stål har en høy elastisitetsmodul. Armering av stål er også billig sammenliknet med styrken (Armering, 2019).

2.3 Laster

Alle konstruksjoner skal ifølge PBL ha en gitt sikkerhet mot sammenstørtning. Sikkerheten oppfylles ved å følge retningslinjer i Norsk Standard (SINTEF Byggforsk, 2003a).

Laster inndeles i krefter ut ifra hvorfor de oppstår og hvordan de virker på konstruksjonen. Hvilke typer og hvor store laster konstruksjonen skal dimensjoneres for, bestemmes av en rekke faktorer. Eksempelvis konstruksjonens utforming, hvilken kommune bygget står i og høyde over havet. Dimensjoneringen må oppfylle kravene til Norsk Standard. For beregning av dimensjonerende laster oppgis lastfaktorer og lastkombinasjoner i NS 3490.

2.3.1 Permanente laster

Permanente laster virker med konstant verdi og på samme sted på konstruksjoner over lengre tid. Eksempel på en permanent last er egenlast. Egenlasten er vekten til selve konstruksjonen eller bygningsdelen. Lasten kan fastsettes med god nøyaktighet, noe som gjør at lastfaktor γ for permanente laster har en lavere verdi en lastfaktor for variable laster (Rørvik, 2010).

2.3.2 Variable laster

Variable laster er laster som varierer med tiden, eller opptrer som midlertidige belastninger.

Det kan også være en fri last som kan virke hvor som helst på konstruksjonen.

Dimensjonering for variable laster må derfor utføres for den mest ugunstige plasseringen av lastene, med hensyn til den lastvirkningen som gjelder for tilfellet. Et eksempel på variabel last er nyttelast. Nyttelasten kan være lastpåkjenninger fra personer, varer, tekniske installasjoner eller inventar i en bygning. Variable laster er usikre, særlig naturlaster som vind og snø, og skal derfor ha lastfaktorer som er større enn for permanente laster (Rørvik, 2010).

Snølast

Snølast på tak skal beregnes etter karakteristisk snølast på mark, med femti års returperiode. Mengden snø varierer lokalt. På taket kan vinden føre til at snøen samler seg i fonner, mens det andre steder blir helt bart. Helning på underlaget kan gjøre at snøen glir av. Formfaktorer for hvordan snølasten fordeler seg er oppgitt i Norsk Standard.

NS 3491-3 oppgir karakteristiske laster for snø (SINTEF Byggforsk 2003).

For å finne snølasten på taket er det nødvendig å vite følgende:

- Hvilken kommune konstruksjonen er plassert i.
- M.o.h ved byggested.
- Utformingen av taket.
- Bygningens utforming/geometri.

Vindlast

Vindlasten er tidsavhengig og virker direkte på den lukkede konstruksjonens ytre overflater.

Dersom konstruksjonen har åpninger, vil vindlasten også virke på de indre flatene.

Vindtrykket påfører krefter normalt på deler av eller hele konstruksjonens overflater. I tillegg gir vinden friksjonskrefter tangentielt til større flater (SINTEF Byggforsk, 2003b).

NS 3491-4 oppgir karakteristiske laster for vind.

For å finne vindlasten er det nødvendig å vite følgende:

- Hvilken kommune konstruksjonen er plassert i.
- Topografien minst 10 km rundt byggestedet.
- Utformingen av taket.
- Byggets plassering i forhold til andre bygninger.

2.3.3 Håndteringslast

Ved transport og montasje av elementer vil det oppstå ekstra påkjenninger. Disse påkjenningene omtales som håndteringslaster (Betongelementforeningen, 2016).

Håndteringslastene deles gjerne inn i tre kategorier: formsug, friksjon og dynamisk last.

Formsug og friksjonskraft er de kreftene som oppstår når elementene løftes ut av formen de er støpt i. Disse kreftene varierer, men ligger i intervallet 1-3 kN/m² kontaktflate mellom formen og elementet. Verdien avhenger av materialet i, og behandlingen av, utstøpningsformen.

Dynamisk last er de påkjenningene som kan opptre under håndtering og transport. For løfting på fabrikk og byggeplass legges det til grunn en dynamisk tilleggslast på 20% av elementets egenvekt, mens det under transport skal regnes med en ekstra last på 50% av elementets egenvekt.

For praktisk dimensjonering av elementer vil man enten ta hensyn til friksjonskrefter og sug, eller dynamisk last. Disse vil ikke oppstå samtidig, og det dimensjoneres for den kombinasjonen av krefter som gir størst belastning.

2.3.4 Seismiske laster

Med et jordskjelv menes et plutselig naturlig brudd i jordskorpen av slik karakter at det sendes ut elastiske bølger. Disse merkes som rystelser i bakken og kan måles med seismometer.

Størrelsen på disse kan variere fra ikke merkbare til svært kraftige. Intensiteten på rystelsene minker med avstanden fra jordskjelvets sentrum. Det er en rekke faktorer som avgjør skadeomfanget av et jordskjelv, eksempelvis jordskjelvets intensitet, varighet og grunnforhold (Norsar, u.å).

Selv om Norge ligger i et lavseismisk område og merkbare jordskjelv sjelden opptrer, er ikke det sikkerhet mot at større jordskjelv ikke kan forekomme. Norge må derfor følge jordskjevreglene i Eurokode 8. Eurokoden deler konstruksjoner/byggverk inn i seismiske klasser. Klassene fastsetter sikkerhetsnivået mot jordskjelvpåkjenning med hensyn til konstruksjonens funksjon og betydning.

Rystelser fra jordskjelv transporteres via grunnen, og grunnforholdene er derfor av stor betydning for virkningen av de seismiske lastene. Under et jordskjelv endrer grunnens egenskaper seg. Dette kan føre til brudd/deformasjon i grunnen, som igjen kan føre til skader eller kollaps av overliggende konstruksjoner.

Alle bygninger har en svingefrekvens. Dette er naturlige svingninger og bestemmes ut ifra konstruksjonens masse og stivhet. Dersom konstruksjonens frekvens sammenfaller med jordskjelvets frekvens, blir virkningen av jordskjelvet betydelig større. Dette kan i verste fall føre til kollaps av konstruksjonen (Olsen, 2005).

2.3.5 Lastfaktorer

En lastfaktor er en koeffisient som karakteristisk eller nominell last skal multipliseres med. Disse faktorene benyttes for å kompensere for usikkerheten som er knyttet til karakteristiske laster. Denne usikkerheten kan eksempelvis være sannsynligheten for at flere laster virker med full belastning til samme tid.

2.3.6 Kombinasjon av laster

Konstruksjoner kontrolleres for kombinasjon av permanente og variable laster. Dersom eksempelvis snølasten og vindlasten virker mot hverandre, må påkjenningene for lastene kontrolleres hver for seg. Når man skal beregne konstruksjonens styrke mot brudd, må lastene beregnes i bruddgrensetilstanden (Byggforskserien, 2003). NS 3490 angir lastkombinasjoner som må undersøkes og normalt vil en av disse lastkombinasjonene være mest ugunstig:

$$p_{\gamma} = 1,2 * g + 1,5 * k_L * q_1 + 1,05 * q_2 \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

$$p_{\gamma} = 1,2 * g + 1,05 * k_L * q_1 + 1,5 * q_2 \left(\frac{kN}{m^2} \right)$$

Variable laster opptrer ikke med full last samtidig. Standardene for dimensjonering av konstruksjonsmaterialer vektlegger i enkelte tilfeller virkningene av lastene forskjellig ut ifra hvor lenge de varer.

I NS 3490 er det oppgitt fire ulike pålitelighetsklasser. Konstruksjoner klassifiseres etter hvilke konsekvenser et sammenbrudd eller en funksjonssvikt vil gi. Dersom hele eller deler av konstruksjonen er i pålitelighetsklasse 1 (småhus, mindre lagerbygg, taktekning m.m.), eller pålitelighetsklasse 2 (stor andel av kontorer, skoler, boligbygg), kan snølast og vindlast som beregnes i bruddgrensetilstanden multipliseres med en reduksjonsfaktor.

Ved beregning av nedbøyning skal konstruksjonen, eller konstruksjonsdelen, beregnes i bruksgrensetilstanden. Her beregnes den største nedbøyningen så presist som mulig, og lastfaktoren velges derfor ut ifra det gjeldende lasttilfellet (Byggforskserien, 2003).

2.3.7 Grensetilstander

Grensetilstander forteller hvor mye hele eller deler av konstruksjonen tåler, før den er uegnet eller ikke tilfredsstillende de kravene som settes til tilstanden. Det er fire grensetilstander som vanligvis skal kontrolleres før man kan bekrefte at konstruksjonen er egnet til bruk. Disse fire grensetilstandene er: bruksgrensetilstanden, bruddgrensetilstanden, utmattingsgrensetilstanden og ulykkesgrensetilstanden (Grensetilstandsmetoden, 2017).

Bruddgrensetilstanden

Dimensjonerende laster benyttes for kontroll i bruddgrensetilstanden. Det skal utføres kontroll for hver enkelt last og aktuelle lastkombinasjoner. Her medregnes ikke ulykkeslastene (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2003).

Dersom konstruksjonen ikke er utsatt for utmatting, skal kontrollen dokumenteres som bruddgrensek kontroll med relevante akseptgrenser. For motsatt tilfelle skal det utføres kontroll i utmattingsgrensetilstanden.

Bruksgrensetilstanden

I konstruksjoner hvor eksempelvis tetting, bevegelighet og opplagring kan påvirkes av deformasjoner, utføres det kontroll i bruksgrensetilstanden. Det skal da dokumenteres at deformasjoner ikke overskrider grenser som er satt med hensyn til blant annet nedbøying og tekniske installasjoner (NVE, 2003).

2.4 Dimensjonering

2.4.1 Bygningsdeler

Konstruksjoner består av en rekke bygningsdeler og komponenter. Komponentenes egenskaper bestemmes blant annet av utforming, materiale, belastning og plassering. Bygningsdeler kan deles opp i mange kategorier og klassifiseringer, men det finnes noen overordnede hovedgrupper.

Søyle

En søyle er en slank, vertikal konstruksjon. Den har som konstruktivt formål å lede krefter fra overliggende til underliggende bygningsdeler, eller til bakken (Søyle, 2019). Utformingen og materiale til søyler varierer.

Bjelke

En bjelke er en slank, horisontal konstruksjon. Den har som konstruktivt formål å lede krefter til underliggende eller sideliggende konstruksjoner (Bjelke, 2019). Utformingen og materialet bjelken består av varierer, og bjelken kan bære både punktlaster og jevnt fordelte laster.

Skive

En skive er en plate som påføres krefter i sitt eget plan. Skiven har en stor flate, og typiske eksempler på skiver er dekke- eller veggkonstruksjoner. Skiver har stor stivhet, og kan dermed ta opp store belastninger om sitt eget plan (Betongelementforeningen, 2016).

Sandwichelement

Et sandwichelement vil si et konstruksjonselement bestående av to betongsjikt adskilt av et isolasjonssjikt i midten. Sandwichelementer brukes hovedsakelig som fasader og i vegger. Sandwichelementer brukes gjerne som en del av bæresystemer, og kan utføres med integrerte ribber i elementene.

2.4.2 Avstivningssystemer i konstruksjoner

Et avstivningssystem i en konstruksjon er en sammensetning av flere konstruksjonsdeler. Hensikten med avstivningssystemer er å lede laster som påføres konstruksjonen ned i bakken, uten at det oppstår brudd i byggverket (Betongelementforeningen, 2016).

Enkelt søyle-bjelkesystem

Enkelt søyle-bjelkesystem er et statisk system med fritt opplagte bjelker som understøttes av gjennomgående søyler (Betongelementforeningen, 2016). Søyle-bjelkesystem er en enkel modell der forskyvningene ofte kan bli store. For mange tilfeller vil et slikt system være tilfredsstillende for å vise lastfordelingen i konstruksjonen.

Rammesystem

Et rammesystem er et statisk system bestående av søyler og bjelker, der sammenføyningen mellom konstruksjonsdelene er momentstiv (Betongelementforeningen, 2016). Fordelene med slike systemer er at de ofte gir mindre deformasjoner, kan utformes høyere enn for søyle-bjelkesystem, er materialøkonomisk og består av få produksjonsvarianter.

Skivesystem

Et skivesystem er et avstivningssystem som hovedsakelig består av skiver (Betongelementforeningen, 2016). Konstruksjoner kan utformes utelukkende som

skivesystem, eller i kombinasjon med andre systemer. Systemer som utføres med en eller flere skiver, vil virke stivere enn systemer basert på bjelker og søyler.

2.4.3 Dimensjonering av ulike konstruksjonstyper

Konstruksjoner skal dimensjoneres med hensyn på et sett av ulike parametere og variabler. De ulike konstruksjonene har forskjellige egenskaper og utfordringer knyttet til seg, så denne prosessen vil variere for ulike konstruksjonstyper. Det sentrale regelverket knyttet til dimensjonering av konstruksjoner er Eurokodene, sammen med veiledninger og publikasjoner knyttet til disse.

Dimensjonering av betongkonstruksjoner

Dimensjonering av betongkonstruksjoner skal utføres etter Eurokode 2. Ved prosjektering av armerte betongkonstruksjoner er det 4 prinsipper som må oppfylles for at eier og bruker skal tilfredsstilles (Sørensen, 2017):

- Konstruksjonen må være sterk og sikker, som vil si at den må prosjekteres og utføres for de lastene som vil eller kan påføres konstruksjonen. Dette er for å unngå sammenbrudd og overbelastning.
- Konstruksjonen må oppføre seg som forventet ved bruk, som vil si at deformasjoner og riss ikke må overskride det som for eier og bruker føles trygt.
- Konstruksjonen må være bestandig, som vil si at materialet som benyttes og utformingen av konstruksjonen må gjøre den bestandig mot nedbrytning fra omgivelser og bruk.
- Konstruksjonen må være økonomisk, som vil si at både utforming av konstruksjonen og planlegging av byggeprosessen må gjøres med hensyn på det som er økonomisk mest gunstig.

Ved dimensjonering av betong vil det også være aktuelt å bruke veiledere og publikasjoner som retter seg spesifikt inn mot den konstruksjonsdelen man dimensjonerer. Eksempelvis vil det være gunstig å dimensjonere betongkonstruksjoner med fiberarmering etter Norsk betongforenings Publikasjon 38 (Norsk betongforening, 2020).

Dimensjonering av stålkonstruksjoner

Dimensjonering av stålkonstruksjoner og stålkomponenter skal gjennomføres etter Eurokode 3. Ved dimensjonering av stålkonstruksjoner skal det påvises at konstruksjonens påførte laster

ikke overskrider ståltversnittets kapasitet (Larsen, 2015). Det skal også kontrolleres at deformasjoner og utglidninger i konstruksjonen ikke kan være til fare for menneskeliv, eller skape store økonomiske tap. Dimensjoneringen av stålkonstruksjoner skal også utføres med hensyn til konstruksjonens funksjonsdyktighet, der konstruksjonens bruk og brukere skal være sentralt.

2.4.4 Brann

Konstruksjoner og konstruksjonsdeler skal prosjekteres og utføres på en slik måte at de tilfredsstiller kravene til sikkerhet for:

- Personer som oppholder seg i eller på byggverket.
- Materielle verdier.
- Miljø- og samfunnsmessige forhold.

Hovedmålet for kravene som stilles er å senke sannsynligheten for skade til et akseptabelt nivå (TEK17, 2017).

2.5 Transport av prefabrikkerte elementer

Prefabrikkerte elementer må fraktes fra fabrikk til der hvor tiltaket skal oppføres. For å sikre trygg transport er det utarbeidet et sett med regler som gjelder for dette. Reglene som er aktuelle er samlet i Betongelementboken bind G kapittel 6.1

(Betongelementforeningen, 2009). Ved transport i vogntog/semitrailer gjelder følgende regler:

- Lasten skal sikres for 100% av lastens vekt forover og 50% av lastens vekt til siden og bakover.
- Største bredde på vogntog og last er 2,55 meter.
- Største høyde på vogntog og last er 4 meter.
- Største lengde på vogntog og last er 19,5 meter for vogntog og 17,5 meter for semitrailer.
- Største tillatte vogntogvekt er 50 tonn dersom akselavstand fra fremste til bakerste aksel er minst 15,41 meter. For andre verdier henvises til totalvektverdi, utgitt av Statens Vegvesen.

Ved transport av elementer utenfor de overnevnte kravene kreves søknad om dispensasjon, og et sett med egne regler angitt i Betongelementhåndboken bind G kapittel 6.1 må følges. Det vil medføre betydelig økning i arbeidsomfang og kostnad.

2.6 Energi

Alle bygninger skal prosjekteres og utføres slik at de legger til rette for forsvarlig energibruk (TEK17, 2017). Det vil si at bygninger som oppføres skal ha et lavt energibruk og en miljøvennlig energiforsyning. Det finnes også ulike nivåer av energikrav, og tre vanlige nivåer for yrkesbygninger er:

- Energikrav som gjelder for bygningers oppvarmede del, det vil si minimumskrav til byggverk med innetemperatur høyere enn 15 °C. Refereres til som standard energikrav i det resterende av oppgaven.
- Energikrav som gjelder for bygninger som skal holde lav innetemperatur, definert i TEK17 som mindre enn 15 °C. Refereres til som energikrav for kaldt bygg i det resterende av oppgaven.
- Energikrav som skal tilfredsstille kravene til lavenergibygnings, det vil si skjerpede krav i forhold til første punkt. Refereres til som krav for lavenergibygnings i det resterende av oppgaven.

2.6.1 Standard energikrav for bygninger

Standard energikrav er gitt av TEK17 (TEK17, 2017) og er som følge:

- Det totale netto oppvarmingsbehovet skal ikke overstige energibehovet gitt i tabell 2.6.1. Beregningen av energibehov skal skje etter NS 3031:2014. For yrkesbygninger skal det beregnes et energibudsjet basert på både normative og reelle verdier.

Tabell 2.6.1: Energibehov i ulike bygningskategorier

Bygningskategori	Totalt netto energibehov (kWh/m ² oppvarmet BRA per år)
Boligblokk	95
Kontorbygning	115
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Lett industri/verksteder	140(160)

- Følgende minimumskrav til energieffektivitet for bygningsdeler gjelder (tabell 2.6.2):

Tabell 2.6.2: Minimumskrav til energieffektivitet for ulike bygningsdeler

Yttervegg (W/m ² K)	Tak (W/m ² K)	Gulv på grunn mot det fri (W/m ² K)	Vinduer og dører inkludert karm/ramme (W/m ² K)
0,22	0,18	0,18	1,2

Det er også krav til at lekkasjetallet ved 50 Pa trykkforskjell ikke skal overstige 1,5 luftvekslinger per time.

- Energiforsyningen skal følge krav om at det ikke er tillatt å installere varmeinstallasjoner for fossilt brensel. Oppvarming av bygninger over 1000 m² skal ha energifleksible varmesystemer og tilrettelegge for bruk av lavtemperatur varmesystemer. Dette kravet må vurderes i hvert tilfelle, men man kan også benytte preaksepterte ytelser gitt i TEK17.

2.6.2 Kalde bygg

For bygninger som skal holde lav innetemperatur gjelder det at energibehovet skal holdes på et forsvarlig nivå. Dette dokumenteres gjennom å vise at transmisjonsvarmetapet ved aktuell temperatur ikke blir større enn det som er definert i første punkt for standard energikrav (TEK17, 2017).

2.6.3 Lavenergibygging

Alle tabeller det refereres til i punktene under gjelder tabeller i «kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Yrkesbygninger» fra Standard Norge (Standard Norge, 2012). Det er også her kravene for lavenergibygninger er hentet fra:

- Varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap skal tilfredsstillere kravene i tabell 2. Beregning skal foregå etter NS3031.
- Oppvarmingsbehovet skal tilfredsstillere kravene i tabell 4. Beregning skal foregå etter NS3031.
- Der DUT_s dimensjonert etter NS-EN ISO 15927-2 er høyere enn 20 °C skal spesifikt energibehov til kjøling ikke overskride tabell 6. Beregning skal beregnes etter NS3031.

- Beregnet årlig spesifikt energibehov til belysning skal ikke overskride verdiene i tabell 8. Beregning skal foregå etter NS-EN 15193.
- Energiforsyningen skal tilfredsstille kravene som er gitt i tredje punkt for oppvarmede bygninger.
- Minstekravene til bygningsdeler, komponenter, systemer og lekkasjetall etter tabell 2.7.3 gjelder:

Tabell 2.7.3: Minstekravene til bygningsdeler med mer for lavenergi

Egenskap		Krav for lavenergibygninger
U-verdi vinduer og dører		Mindre enn eller lik 1,2 W/(m ² K)
Normaliserte kuldebroverdier		Mindre enn eller lik 0,05 W/(m ² K)
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner		Større enn eller lik 70%
SFP-faktor for ventilasjonsanlegg		Mindre enn eller lik 2 kW/(m ³ /s)
Lekkasjetall ved 50 Pa		Mindre enn eller lik 1,5 h ⁻¹
Belysning	Dynamisk dagslys- og konstantlysstyring	Minst 60% av installert effekt til belysning er underlagt styringssystemet
	Dynamisk behovsstyring ved tilstedeværelse	Minst en styringsenhet per rom eller en styringsenhet per 20 m ² i større rom

I «kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Yrkesbygninger» fra Standard Norge (Standard Norge, 2012) er det også gitt veiledende U-verdier for de ulike bygningsdelene. Disse er kun definert som veiledende, men kan brukes som pekepinn ved prosjektering.

2.7 Kalkyle

En kalkyle er en beregning eller et overslag knyttet til kostnaden av et produkt. Det viktigste med kalkylen er at den baserer seg på reelle tall fra tidligere utførte oppdrag eller produksjoner (Cappelen Damm AS, u.å).

3. Metode

3.1 Kildebruk

Oppgaven er basert på flere ulike kilder, både litterære og møter med ressurspersoner. Det er ikke til å unngå at kildene vil ha ulik kvalitet, der variabler som forfatter og organisasjon vil ha innvirkning på kildens troverdighet. Dette har vi vært påpasselig på i arbeidet med rapporten. Vi har tatt utgangspunkt i Praktisk Rapportskriving (Olsson, 2019) ved kvalitetsvurdering av kildene (tabell 3.1.1):

Tabell 3.1.1: Kvalitetsvurdering av kilder

Litteraturtype	Kvalitet	Kommentar
Standard	Svært høy	Teori gitt av norsk regelverk
Veiledere	Svært høy	Teori gitt av norsk regelverk
Bøker (pensum)	Svært høy	Teori brukt i opplæring
Rapport fra internett	Høy	Troverdig teori, kan være påvirket av forfatter
Vitenskapelige artikler	Høy	Troverdig teori, kan være påvirket av forfatter og utgiver
Produktdatablader	Middels til høy	Bygger på etablert teori, kan være påvirket av utgiver
E-post-korrespondanse	Middels	Troverdig teori, informasjon kan være begrenset og misforstås
Nettsider	Variierende	Troverdighet avhenger av nettsiden. Kan redigeres
Samtaler	Variierende	Troverdighet vil variere. Informasjon kan være begrenset eller misforstås

3.2 Dataverktøy

I oppgaven har vi benyttet programvare som er gjort kjent for oss gjennom studiet, samt relevante programmer benyttet av ElementPartner.

Revit

Programvaren er hovedsakelig rettet mot arkitekter, landskapsarkitekter og ingeniører innenfor bygg, mekanikk, elektronikk og VVS, men kan brukes av alle fagfelt. Programmet lar brukere designe og modellere bygninger i 2D og 3D, samt ha tilgang til bygningsinformasjons-modelleringsdatabase (BIM). I tillegg er det rom for implementering av tekniske installasjoner.

I dette prosjektet har vi brukt Revit til å tegne opp hele modellen. Alle komponenter er laget fra grunnen av. Dette gjør at vi har full kontroll over alle dimensjoner og utforminger.

Solibri

Solibri er et program som brukes for å undersøke 3D-modeller. Det brukes blant annet av tiltakshavere som kun har tilgang til IFC-fil. IFC-fil er en type filformat for å se modellen som er laget av arkitekten. Det er også mulig å kjøre kollisjonstester for å se til at rørføringen og ledningen ikke kommer i konflikt med hverandre. Analyse av rømningsvei er også mulig.

Vi har fått tilsendt IFC-filer fra ElementPartner. For å analysere filene har vi brukt Solibri. Det har gitt oss muligheten til å se nødvendige punkt som har vært aktuelle.

FEM-Design

FEM-Design er en avansert modelleringsprogramvare for elementanalyse og design av lastbærende materialer som betong, stål, treverk og fundament. Programvaren fungerer i samsvar med Eurokodene i forskjellige språk.

I samarbeid med ElementPartner AS har vi fått tegnet opp modellen i FEM-design. Vi har benyttet programmet for å lokalisere lokale maksimum og minimum belastninger i konstruksjonen.

Ove Sletten

Ove Sletten består av 6 forskjellige programvarer hvor alle har ulike funksjoner og bruksområder. Eksempler på noen bruksområder er dimensjonering av flatedekke, bjelker, søyler og skiver.

Vi har brukt Ove Sletten sitt program «BTSNITT» til å dimensjonere søylene i modulelementene våre.

InfraWorks

InfraWorks er en planleggings- og designplattform som gjør at ingeniører kan replikere verden rundt seg. Programmet kan hente inn terreng, lage veier og mye mer innenfor visualisering av området rundt selve konstruksjonen

For å visualisere modellen vår har vi hentet inn terreng fra InfraWorks. Dette for å gi en forståelse av hvordan konstruksjonen vil fremstå i den virkelige verden.

Excel

Excel er et regneark som er utarbeidet av Microsoft for forskjellige plattformer som Windows og macOS. Regnearket inneholder flere typer funksjoner som blant annet lar brukeren føre opp grafer og gjennomføre kalkulasjoner.

Vi har laget en rekke forskjellige Excel-filer for å automatisere og kontrollere beregninger. Blant annet krefter, laster og U-verdier.

Lumion

Lumion er et effektivt visualiseringsverktøy som lar brukeren bygge 3D omgivelser, skifte material på importerte modeller og lager imponerende bilder, videoer og gjennomganger av konstruksjon eller modell.

Vi har brukt Lumion som et program til å visualisere modellen vår. I samarbeid med InfraWorks gir dette gode visuelle effekter.

BetongKalkulatorEC2

BetongKalkulatorEC2 er utviklet av Runet. Programmet lar brukeren sjekke kapasiteter og dimensjonere tverrsnitt.

I denne oppgaven har vi brukt BetongKalkulatorEC2 for å kontrollere håndberegningene.

Holte SmartKalk

Holte SmartKalk hjelper entreprenører å utføre anbudsregninger. Ved bruk av SmartKalk kan brukeren prise element eller delementer.

Vi har brukt Holte SmartKalk til å beregne et kostnadsoverslag for en gulvkonstruksjon og en takkonstruksjon.

3.3 Spesielt medvirkende

Steinar Trygstad har vært en innholdsrik informasjonskilde innenfor bruk av basaltfiber. Han har vært behjelpelig med å finne frem til aktuelle regelverk og beregninger som gjelder for fiberen. Koeffisienter og egenskaper er også oppgitt av Trygstad.

Smari Skulason er ansatt i ElementPartner og har i stor grad vært involvert i prosjektet vårt. Han har blant annet vært behjelpelig med dataverktøy vi ikke tidligere har hatt opplæring i. Skulason har også hjulpet oss å se problemstillingene fra flere sider, og han har gitt oss innsikt i hvilke løsninger og prosedyrer som brukes i bransjen i dag.

JHS Construction har ansvar for prosjekteringen av takkonstruksjonen til PartnerHallen. De har gitt oss innsikt i hvordan en mulig takkonstruksjon kan se ut, og hvordan denne virker i sammenheng med resten av konstruksjonen.

4. Konseptvalg og forutsetninger

4.1 Konseptvalg

PartnerHallen tar utgangspunkt i et konsept om en skalerbar og demonterbar industrihall av prefabrikkerte betongelementer, hvor kamstålsarmeringen i størst mulig grad skal erstattes med basaltfiber. For at lagerhallen skal være attraktiv og konkurransedyktig i dagens marked, skal den tilbys i tre energiprofiler. Produktet vil da være attraktiv for en større kundegruppe.

Oppgaven legger til grunn at PartnerHallen skal være enkel å montere og demontere, uten at det påfører konstruksjonen deformasjoner. Med dette menes det at konstruksjonens delelementer skal være gjenbrukbare. Dersom PartnerHallens bruksområde eller lokasjon endres, skal det ved riktig demontering ikke være nødvendig å benytte nye elementer. Løsningen er valgt fordi hallen i større grad kan tilpasses ønsket bruk i tillegg til at levetiden forlenges, da alternativet er å rive og bygge nytt. Gjenbruk har en positiv innvirkning på miljøet fordi man slipper å produsere nye elementer ved flytting eller bruksendring av konstruksjonen.

Hallen skal være demonterbar, og for å oppnå dette har vi undersøkt ulike festeløsninger. Løsningene må være enkle og effektive, uten at det oppstår deformasjoner på konstruksjonen ved demontering. For å finne de beste festeløsningene har vi undersøkt og sammenlignet en rekke løsninger. Eksempler på festeløsninger som er undersøkt er: teleskopforbindelser, skruer, bolter og stålplater i form av innstøpte og sveiste forbindelser. Vi har kommet frem til at skrudde forbindelser vil være mest gunstig for fundament og gitterdragere, mens det i toppen av og mellom veggelementene burde benyttes sveiste stålplater. Montering og demontering kan da utføres på en effektiv og sikker måte, uten at det påfører konstruksjonen deformasjoner.

En viktig del av konseptet er at konstruksjonen skal kunne plasseres omtrent hvor som helst i landet. Dette bruker vi som utgangspunkt for å finne dimensjonerende laster for vind, snø og jordskjelv. Vindlasten oppfylder maksimale krav til vindlast i Norge, mens snølasten er begrenset med noen kommuner. Snølasten i disse kommunene er uforholdsmessig stor i forhold til antall potensielle prosjekter, somt gjør det lite hensiktsmessig å prosjektere alle hallene for så store belastninger. Dersom PartnerHallen skal plasseres i de øvrige kommunene, må den prosjekteres for snølasten som gjelder for den aktuelle kommunen.

Takkonstruksjonen skal bestå av gitterdragere uten fall, med selvbærende korrugerte stålplater som avstivere for å oppå ønsket skiveeffekt. Vi har valgt gitterdragere uten fall, da dette gir best løsning for innfesting av stålplater mot gavlvegg med hensyn på skalerbarhet og utforming. Tak har krav til fall for vannavrenning, og fallet tas opp i isolasjonssjiktet. Detaljprosjektering av taket er utenfor virksomhetsområdet til ElementPartner og vil utgjøre en stor del i forhold til det som er opprinnelig tema for denne oppgaven. Vi har derfor i samarbeid med ElementPartner kommet frem til at JHS Construction AS utfører prosjekteringen av takkonstruksjonen.

Spennvidden til gitterdragerne i taket gjør at PartnerHallen enklest skaleres i lengderetningen. Konstruksjonens veggelementer er satt opp i 3-gangen med opplegg for gitterdragere hver 6 meter. Hallen utvides med 2 og 2 elementer dersom lengden skal endres. Skal bredden endres, medfører dette ny prosjektering av takkonstruksjonen. For betonghallens bunnplate kreves det at denne prosjekteres i hvert enkelt tilfelle. Dette er for å spesifisere gulvets kapasitet i forhold til egnet bruk, slik at kunden ikke betaler for mer enn nødvendig.

Etter ønske fra ElementPartner undersøkte vi muligheten for å benytte basaltfiber i betongelementene. Vi tok derfor kontakt med Dr. Ing. Steinar Trygstad som har forsket og jobbet mye med fiberen. I samarbeid med han, og ved hjelp av nylig utgitt publikasjon for fiberarmering, har vi implementert basalt som en del av armeringen i betongkonstruksjonene.

Fundamentering er en viktig del av store konstruksjoner. Fundamentene til PartnerHallen vil være en del av det endelige konseptet, men er ikke tatt med som en del av denne oppgaven. Dette dels fordi det er usikkerhet rund om ElementPartner skal produsere disse selv, og dels for å holde oppgavens størrelse på et forsvarlig nivå. Der det har vært relevant, har vi gjort antakelser og forutsetninger for hvordan elementene skal utformes, og hvilke festeløsninger som skal benyttes. Helt overordnet er det også bestemt som en del av konseptet at fundamentene skal følge mønsteret til veggelementene med hensyn på dimensjoner, skalerbare og demonterbare løsninger.

Sammenlignet med dagens løsninger vil PartnerHallen prosjekteres med ytterligere fokus på miljø- og energieffektivitet. Hallen tilbys i tre energiprofiler som øker bruksområdet til hallen, og treffer en større andel kunder. Industrihallen er også demonterbar og gjenbrukbar, noe som reduserer miljøutslippet i et livsløpsperspektiv sammenlignet med løsninger som ikke er demonterbare.

4.2 Forutsetninger

Prosjekteringen av PartnerHallen forutsetter at en ekstern aktør prosjekterer og leverer takkonstruksjonen, med hensyn til spesifikasjonene satt i oppgaven. Hallens bunnplate må prosjekteres i hvert enkelt tilfelle slik at den er tilpasset kundens bruk. Karakteristiske nyttelaster på gulv vil variere fra kategori A til G, og differansen her er så stor at det ikke er hensiktsmessig å dimensjonere alle hallene for én kategori.

Hallen skal kunne stå tilnærmet hvor som helst i landet, og verdier for variabel last og ulykkeslast er valgt på grunnlag av dette. Vindlasten gjelder for hele landet, mens snølasten har unntak av noen kommuner. Unntakene for snølasten er som beskrevet i kapittel 4.1 gjort for å unngå overdimensjonering av tilnærmet alle fremtidige konstruksjoner.

Oppgaven skrives for ElementPartner, og det er forutsatt at bedriften produserer og transporterer PartnerHallens betongelementer. ElementPartner har et begrenset utvalg støpeformer, og elementene er tilpasset disse. Konstruksjonsdelene skal fraktes over store avstander, og det er en forutsetning at elementene tilpasses transportens størrelses- og vektbegrensning.

En konstruksjon som skal tilpasses alle tilfeller er lite gunstig, både med hensyn på utforming og økonomi. Det defineres derfor flere steder i oppgaven at «dette må prosjekteres i hvert enkelt tilfelle». Meningen bak denne setningen, slik den er bruk i oppgaven, er at den eller de egenskapene eller funksjonene det prosjekteres for, ikke egner seg som standard løsning. Løsninger som «prosjekteres i hvert enkelt tilfelle» må derfor tilpasses den enkelte PartnerHallen.

5. Resultater

5.1 Laster

5.1.1 Egenlaster

Tabell 5.1.1: Egenlaster

Hva	Produkt	Vekt	Referanse
Takpapp	Isola og Icopal takpapp	0,043 kN/m ²	(Isola, u.å) (BMI Group, u.å)
Isolasjon	FF Pir	0,4 kN/m ³	(Finnfoam, u.å)
	Styropor S60	0,5 kN/m ³	(Byggforsk, 2013)
Takplater	Tata SAB200R/750	0,1963kN/m ²	(Tata Steel, u.å)
Gitterdrager	Gitterdrager av stål	0,14kN/m	(Maku, u.å)
Betong		25 kN/m ³	(Byggforsk, 2013)
Stål		78,5 kN/m ³	(Byggforsk, 2013)

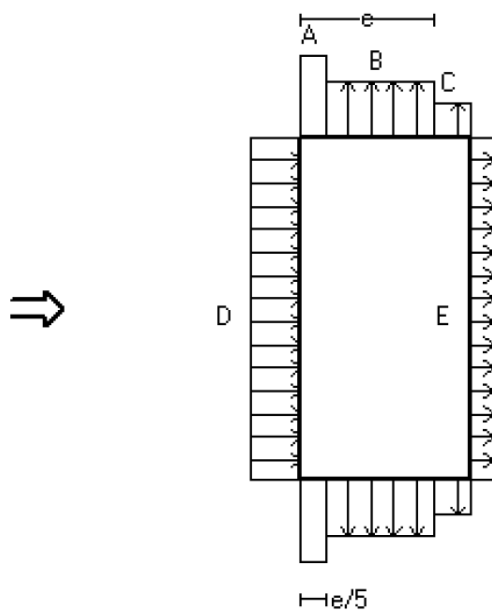
5.1.2 Snølast

Tabell 5.1.2: Snølast

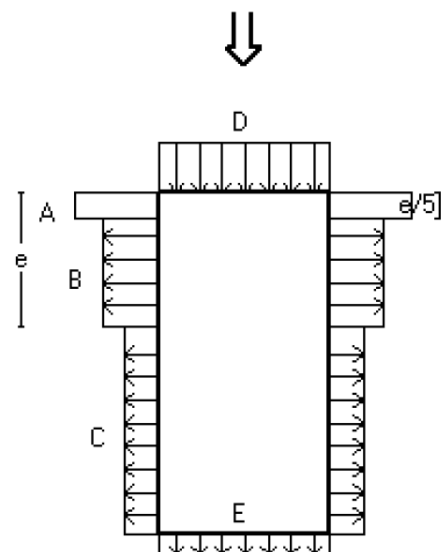
	Verdi
Snølast	4,8 kN/m ²

Snølasten er hentet fra vedlegg 5.

5.1.3 Vindlaster



Figur 5.1.1: Vindlast retning 0 grader



Figur 5.1.2: Vindlast retning 90 grader

Tabell 5.1.3: Vindlaster på vegg med retning 0. grader. Oppgis i kN/m²

Sone	Belastet areal		Utstrekning (mm)
	≥10 m ²	≤1 m ²	
A	-2,20	-2,56	3320
B	-1,47	-2,01	13280
C	-0,92	-0,92	4400
D	-1,32	1,83	42000
E	-0,62	-0,62	42000

Tabell 5.1.4: Vindlaster på vegg med retning 90 grader. Oppgis i kN/m²

Sone	Belastet areal		Utstrekning (mm)
	≥10 m ²	≤1 m ²	
A	-2,20	-2,56	3320
B	-1,47	-2,01	13280
C	-0,92	-0,92	25400
D	-1,28	1,83	21000
E	-0,62	-0,62	21000

Tabell 5.1.5: Innvendig vindlast

	Innvendig last (kN/m ²)
Undertrykk	-0,55
Overtrykk	-0,37

Resultatene er hentet fra vedlegg 6.

5.2 Dimensjonering

5.2.1 Søyle

Tabell 5.2.1: Lengdearmoring i søyler (mm²)

	Håndberegning	Ove sletten	Betongkalkulator RUNET	Minimumsarmering
Beregning 1	1014		724	966
Beregning 2	3734		4507	966
Beregning 3	1525*		1608*	966
Beregning 4	3043	4825		966

* Denne armeringsmengden gjelder i utgangspunktet kun for strekksonen.

Tabell 5.2.2: Skjærarmoring i søyle (mm²/mm)

	Håndberegning	Ove sletten	BetongKalkulatorEC2
Svak akse	-	0,22	-
Sterk akse	0,41	0,22	Behov for skjærarmoring
Søyle-topp/bunn	0,45	0,22	

- Ingen beregningsmessig behov for skjærarmoring.

Håndberegningene er vist i vedlegg 7.

Beregningene fra Betong Kalkulator EC2 er vist i vedlegg 8.

Beregningene fra Ove Sletten er vist i vedlegg 9.

5.2.2 Bjelke

Tabell 5.2.3: Lengdearmering i bjelkens strekksone (mm²)

	Håndberegning	Betongkalkulator RUNET	Minimumsarmering
Standardelement	348	402	90
Portelement	611		90

Tabell 5.2.4: Skjærarmering i bjelke (mm²/mm)

	Håndberegning	Betongkalkulator RUNET	Minimumsarmering
Standardelement	0,58	Behov for skjærarmering	0,68
Portelement	-	Behov for skjærarmering	0,68

- Beregning ikke gjennomført grunnet liknende opptredende krefter.

Håndberegninger hentet fra vedlegg 10.

BetongKalkulatorEC2 hentet fra vedlegg 11.

5.2.3 Skive

Tabell 5.2.5: Minimumsarmering i veggskiver (mm²)

	Yttersjikt	Innersjikt
Minimum armeringstverrsnitt vannrett	1166	1312
Minimum armeringstverrsnitt loddrett	389	437

Beregninger hentet fra vedlegg 12.

5.2.4 Festeløsninger

Tabell 5.2.6: Kontroll for flattstål, lask og «Viggo-løsning»

	Verdi
Total spenning i flattstål og lask	188,65 MPa
Nødvendig lengde for kilsveis	68 mm
Antall nødvendige «Viggo-løsninger»	3

Tabell 5.2.7: Dimensjonerende krefter for valg av SUMO veggsko (kN)

	Normalkraft	Skjærkraft
Standard element	250,5	37,6
Bjelke-element, stor port	306,3	20,1
Port-element, stor port	556,8	75,1

Håndberegninger hentet fra vedlegg 13.

Beregning av antall «Viggo-løsninger» vist i vedlegg 14.

5.3 Energi

Tabell 5.3.1: U-verdi beregninger

Isolasjonstype	Element	Håndberegning	Dataprogram
FF-PIR	Massiv	0,1501	0,125
FF-PIR	Dør		0,128
FF-PIR	1 Vindu		0,131
FF-PIR	2 Vindu		0,141
Neopor N60	Massiv	0,1845	0,170
Neopor N60	Dør		0,174
Neopor N60	1 Vindu		0,178
Neopor N60	2 Vindu		0,189

Tabell 5.3.2: Energibehov eksempler

Årsmiddeltemperatur	Innetemperatur	U-verdi	Energibehov
8	12	1,96	68,6784
6	12	1,96	103,0176
4	12	1,96	137,3568

Håndberegninger hentet fra vedlegg 15.

Beregninger i dataprogram hentet fra vedlegg 16.

5.4 Kalkyle

Tabell 5.4.1: Veiledende pris for elementer

Transport	Isolasjon	Veil. pris	Brutto areal	Kostnad
5km	Neopor N60	1717 kr/m ²	1134 m ²	1 947 078 kr
500km	Neopor N60	2003 kr/m ²	1134 m ²	2 271 402 kr
5km	FF Pir ALK	2013 kr/m ²	1134 m ²	2 282 742 kr
500km	FF Pir ALK	2299 kr/m ²	1134 m ²	2 607 362 kr
5km	Kaldt bygg	1538 kr/m ²	1134 m ²	1 744 596 kr
500km	Kaldt bygg	1694 kr/m ²	1134 m ²	1 921 304 kr

Tabell 5.4.2: Pris for tak og gulv

Element	Isolasjon	Areal	Pris	Kostnad
Gulv	Neopor N60	830 m ²	907 kr/m ²	752 810 kr
Tak	Neopor N60	830 m ²	1062 kr/m ²	1 331 460 kr
Sum Tak/gulv	Neopor N60	830 m ²	1969 kr/m ²	2 084 270 kr
Gulv	FF Pir ALK	830 m ²	1263 kr/m ²	1 048 290 kr
Tak	FF Pir ALK	830 m ²	1427 kr/m ²	1 634 410 kr
Sum Tak/gulv	FF Pir ALK	830 m ²	2690 kr/m ²	2 682 700 kr

Beregning av gulv og tak er vist i vedlegg 17.

Beregning av betongelementer er vist i vedlegg 18.

6. Diskusjon

6.1 Utforming

I oppgaven har vi utarbeidet en rekke forskjellige elementer: massive elementer, elementer med utsparing for dør og vindu, hjørneelementer, gavlelementer og elementer i tilknytning til liten og stor port. De ulike elementene er også prosjektert for vekslende utsparing på venstre og høyre side.

Elementene er bygget opp med en modullengde på 3 meter. Dette inkluderer 2 halve fuger, slik at senteravstand blir 3 meter. I elementenes ender går det 2 kontinuerlige søyler fra bunn til topp, med en overliggende bjelke i toppen av elementet. Søylene og drageren skal håndtere moment, aksial- og skjærkrefter.

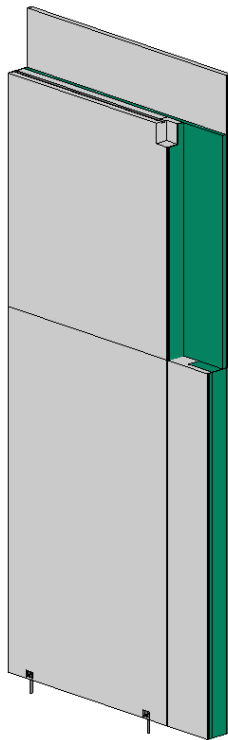
Fotavtrykket til konstruksjonen går opp i 3-gangen. Vi har valgt å ta for oss en konstruksjon bestående av 14 elementer på langsiden og 7 elementer på kortsiden som utgangspunkt for utforming og dimensjonering. Dette resulterer i et fotavtrykk på 21*42 meter. Ved skalering av bygget utvides eller innsnevres det med 3 meter av gangen, men for mest gunstig utnyttelse av dragerne bør 6 meter endring av gangen vurderes.

Portelementene leveres i 2 ulike størrelser. Stor port med dimensjoner 4,5*5 meter og en med liten port med dimensjoner 3*3 meter.

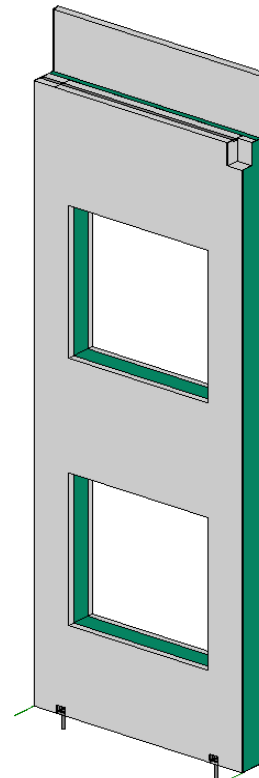
PartnerHallen kan leveres med en eller flere porter, og de ulike portstørrelsene kan kombineres i samme bygg. Begge portene består av en pakke sammensatt av 3 elementer. Pakken inneholder 2 sideliggende og et overliggende element. De sideliggende elementene har forskjellige dimensjoner, da totalspennet varierer mellom liten og stor port. Det overliggende elementet hviler på søyler i sideliggende elementer. Valg av antall porter kan redusere antall elementer med 2 vinduer. Dette fordi det kan oppstå komplikasjoner med kravene til U-verdi. Dersom konstruksjonen består av mange utsparinger, vil ikke energiberegningen være tilstrekkelig for energikravene som er definert.

Et av kravene til ElementPartner var at det skulle transporteres to elementer av gangen. Den reelle vekten av elementene kan da totalt sett ikke overskride 28 tonn. Som vist i «håndberegning for løft av bjelke» fra vedlegg 10, er vekten av to element tilfredsstillende til kravene gitt fra oppdragsgiver.

Tegninger og mål på de ulike elementene er vist i vedlegg 19.



Figur 6.1.1: Portelement – side

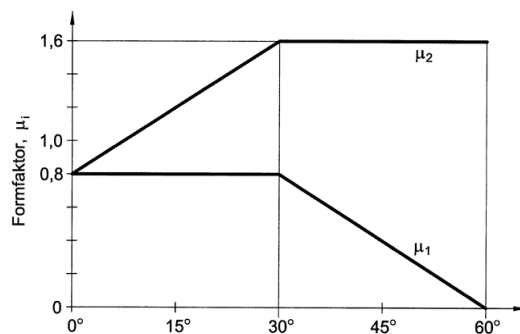


Figur 6.1.2: Modulelement med vindu

6.2 Laster

Snølast

Takkonstruksjonen er utformet som et flatt tak. Det vil si at fallet på takflaten er mindre enn 1:10 (ca. 6 grader). Vi kan da benytte en formfaktor for snø (μ_1) som er lik 0.8 for takvinkel under 30 grader, som vist i figur 6.2.1.



Figur 6.2.1: Formfaktor for snø

PartnerHallens karakteristiske snølast skal ikke overskride 6 kN/m^2 . Dette gjør at bygget ikke kan føres opp høyere enn høydegrensen i kommuner med karakteristisk snølast lik 6 kN/m^2 . Dette tilfredsstiller karakteristisk snølast for majoriteten av Norges kommuner. Kommunene

som overstiger verdien er Jostedal, Veitastrond, Namsskogan, Røyrvik, Grane og Hattfjelldal. Snølasten i disse kommunene er ikke dimensjonert for, da antall potensielle prosjekter ikke er stort nok til at det er hensiktsmessig å dimensjonere alle prosjekter for disse lastene.

Som følge av at helningen på taket gir en reduksjonsfaktor, blir den dimensjonerende snølasten $4,8 \text{ kN/m}^2$. I beregningen har vi antatt at både eksponeringsfaktor og faktor for snøsmelting (som ofte har sammenheng med glasstak) settes lik 1.

Vindlast

For dimensjonering av vindlast har vi valgt en basisvindhastighet på 31 m/s . Denne er hentet fra tabell 6. i Sintef datablad 471.043 «Vindlast på bygninger» (Sintef Byggforsk, 2003b), og representerer den største vindhastigheten det dimensjoneres for i Norge. For å opprettholde kravet om at byggverket skal kunne plasseres tilnærmet hvor som helst har vi også valgt terrengruhetskategori 0; åpent, opprørt hav.

Vindlaster over 30 m/s gir faktoren C_{HOH} lik 1. Årstidfaktor, retningsfaktor og statistisk faktor er satt til 1. Disse er bestemt etter anbefalinger i Sintef datablad. Terrengruhetsfaktoren er beregnet ut ifra verdier fra terrengruhetskategori og høydeegenskaper til bygget.

Topografifaktorene endrer seg ikke av hensyn til åser og skråninger, så både $C_t(z)$, $C_t'(z)$ og $C_t(z)$ settes lik 1.

Nevnte faktorer brukes til å regne ut vindkasthastighetstrykket som er den endelige belastningen på konstruksjonen. Resultatene av beregningene er vist i tabell 5.1.3, 5.1.4 og 5.1.5. Ved dimensjonering av soner over 10 m^2 brukes faktoren $C_{Pe,10}$, mens det ved dimensjonering av områder under 1 m^2 brukes faktor $C_{Pi,1}$. De endelige verdiene i tabellene er benyttet for videre dimensjonering.

Nyttelast, utmattelseslast og ulykkeslast

PartnerHallen er beregnet for bruk innen industri og lager. Nyttelastene i slike brukskategorier har stor variasjon, avhengig av type bruk. Derfor er det valgt å ikke fastsette noen spesifikk verdi for hvilke nyttelaster på gulv PartnerHallen skal tåle. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle. Som en veiledende verdi for hva som kan være en aktuell last er det i denne oppgaven antatt $7,5 \text{ kN/m}^2$. Denne verdien er hentet fra E.C.1 (Standard Norge, 2019) og er veiledende nyttelast for byggverk brukt til lagring.

For noen typer konstruksjoner skal det dimensjoneres for utmatting i materialet. I E.C.2 (Standard Norge, 2018, s.110) er det definert at «påvisning mot utmatting i konstruksjoner

skal påvises i spesielle tilfeller». Videre defineres spesielle tilfeller som «[...] konstruksjonsdeler som utsettes for regelmessig lastsykler (f.eks. kranskiner og bruer med store trafikkklaster)» i samme standard. Lastene som virker på PartnerHallen er i stor grad vind og snø, med unntak av lastene som virker på dekke. Vi anser ikke disse lastene som et spesielt tilfelle, og dimensjonerer dermed ikke for utmattelse.

I mange tilfeller vil det være aktuelt å kontrollere bærende konstruksjonsdeler for ulykkeslaster. For PartnerHallen vil aktuelle ulykkeslaster være eksplosjoner eller påkjørsel fra vogntog og gaffeltrucker. Disse lastene kan være vanskelige å forutsi, og de kan ofte bli meget store dersom det skal dimensjoneres for alle tenkelige utfall. Bruken av PartnerHallen vil variere, og det vil være lite hensiktsmessig å dimensjonere alle elementene for den verst tenkelige ulykkeslasten. Dette vil gi store og kostbare dimensjoner som for de aller fleste tilfeller ikke vil være nødvendig. Disse argumentene har ført frem til en avgjørelse om at konstruksjonen ikke dimensjoneres for ulykkeslaster. I de tilfellene hvor slike laster vil være til stede, kan tiltak som gjerder eller begrensning i hvor kjøretøy kan ferdes brukes som sikkerhet mot lastene. Dette er en vanlig praksis som benyttes i dag, blant annet hos ElementPartner. Ulykkeslasten jordskjelv er omhandlet i kapittel 6.6.

6.3 Dimensjonering

6.3.1 Forutsetninger for dimensjoneringen

For beregningene av elementene og konstruksjonen er det gjort en rekke forutsetninger og antakelser. Dette er vurdert opp mot kildene og litteraturen som er benyttet i prosessen. Forutsetningene og antakelsene er også satt samarbeid med ElementPartner og andre involverte parter, der dette har vært aktuelt.

Punktene på konstruksjonen det er dimensjonert for er basert på de punktene som av oss og konstruktører er vurdert som de mest belastede områdene. Disse har blitt bestemt ved å se på hvor de største kreftene opptrer og hvilke punkter som erfaringsmessig er mest kritiske. Lastene det dimensjoneres for er også de som i punktet virker minst gunstig. Der det kan være flere lastkombinasjoner som virker ugunstig på konstruksjonen, er det den kombinasjonen som gir størst belastning som er visst i utregningene.

Dimensjoneringen tar utgangspunkt i at konstruksjonen virker som en rammekonstruksjon. Taket virker som en skive og leder kreftene ned i jorden via gavlveggene, som også fungerer

som skiver. Taket er festet til elementene via gitterdragere med opplegg hver 6 meter på langveggene. I tillegg er taket skutt fast i en stålplate, som følger toppkanten av alle betongelementene.

For dimensjoneringen av elementene er mål og størrelser stort sett slik som vist på tegningene, med noen forenklinger. Beregningene tar utgangspunkt i at et standard element er 3*9 meter, der elementets høyde over terreng ved ferdig montasje er 8,6 meter. Målene baserer seg altså på at elementene står 0,4 meter ned i terrenget etter montasje, og ved beregning er det sett bort fra fugenes størrelse. Fordi fugene er små antas dette å ha liten betydning for belastningene. Det er også sett bort fra små utsparinger, som opplegg for gitterdragere og innfesting til fundament, ved beregning av egenvekter.

Dimensjoneringen av PartnerHallen baserer seg på et byggverk med dimensjoner 21*42 meter. Dette er i utgangspunktet bare en veiledende beregning for kapasiteten til elementene. For å fastsette belastninger og dimensjonerende kapasiteter på konstruksjonen er vi avhengig av å dimensjonere ut ifra noen faste mål. For konstruksjoner som har mindre dimensjoner vil elementene få lavere belastninger enn det de er dimensjonert for, og det kan derfor skaleres ned uten fare for brudd. Dersom konstruksjonene skal skaleres for større dimensjoner, bør det kontrolleres for kapasitet i bæresystem og i festeløsninger.

Elementene er bygget opp av et innersjikt, et isolasjonssjikt og et yttersjikt, samt ribber mellom disse sjiktene. For å forenkle dimensjoneringen er det antatt at ribbene mellom ytter- og innersjiktene skal virke som det bærende systemet, mens inner- og yttersjikt på hver side primært skal ha funksjoner knyttet til estetikk og brann-/lydisolerende egenskaper. Det bærende systemet av ribber fungerer som et lokalt rammesystem i hvert element, og består av en søyle vertikalt på hver sin side av elementet, med en horisontal bjelke i toppen. Dette er også vist i tegning fra vedlegg 19. En slik betraktning av sandwichelementer er vanlig innen betongelementindustrien, og kalles dimensjonering uten samvirke. Metoden er brukt etter råd fra konstruktører hos ElementPartner.

Elementene er prosjektert med en betongkvalitet B35, armering B500NC og sementklasse S; standard. Dette er vurdert som tilfredsstillende for bruksområdet til elementene.

Konstruksjonen og dens elementer er vurdert til å være i pålitelighetsklasse 2, og er dimensjonert deretter. Ut ifra dette, samt vurdering av utstøpning og heft, er det satt en overdekning til 42 mm.

I veggskivene er det benyttet basaltfiber som armering for å delvis erstatte den tradisjonelle stangarmeringen. Beregningene her er gjort ut ifra standarder som beskrevet i teorien, samt ved hjelp fra Steinar Trygstad. Verdier for egenskapene til fiberen brukt i dimensjoneringen er hentet fra Trygstad.

For de fleste beregninger er det tatt utgangspunkt i lengdearmering med diameter 32 mm og bøyer med diameter 8 mm. Ved beregning av skjærkraftkapasitet er det benyttet vinkelverdier tilsvarende det som er oppgitt i boka Betongkonstruksjoner (Sørensen, 2017).

Elementene er festet til fundamenter ved hjelp av Sumo veggsko, en boltet forbindelse. Mellom elementene er det lagt inn en løsning referert til som «Viggo-løsningen», som skal ta opp momenter. I toppen er elementene opplagret til gitterdragere, som leder kreftene inn i takskiven. Samtidig ligger det en kontinuerlig stålplate øverst i elementene, som skal ta opp skjær- og normalkrefter mellom gitterdragerne. Dette stålbandet refereres til i beregningene som flattstål. Festemidlene mellom elementene utført i stål har stål kvalitet S355.

Tallfestede verdier for materialkvaliteter og faktorer som er benyttet i dimensjoneringen er vist i vedlegg 4.

Dimensjoneringen ved håndberegninger er gjort etter følgende litteratur:

- Dimensjonering av søyle, kontroll for skjær og beregning av bjelke gjort etter boka Betongkonstruksjoner (Sørensen, 2017).
- Kontroll for søyletopp og søylebunn gjort etter Betongelementboka bind C (Betongelementforeningen, 2020).
- Beregning av stålforbindelser er gjort etter boka Dimensjonering av stålkonstruksjoner (Larsen, P. K., 2015).
- Kontroll av veggsko er gjort etter datablad vist i vedlegg 20.
- Kontroll av veggskiver er gjort etter Publikasjon 38 (Norsk Betongforening, 2020).

6.3.2 Dimensjonering av søyle

Dimensjonering av søyle, beregning 1

Her dimensjoneres søylene for en vindbelastning bestående av utvendig trykk og innvendig sug ved vindretning 0 grader, samt normalkraft påført fra takets egenvekt og snølast. Antar at vindlastene fordeles likt på de to søylene i elementet, og ser på disse som leddlagret i hver

ende. Diagrammet for å finne w er hentet fra Betongkonstruksjoner Apendix A (Sørensen, 2017).

Ser av resultatene i tabell 5.2.1 at resultatene fra Betongkalkulatoren til Runet er noe lavere enn håndberegning. Ved nærmere undersøkelse av resultatene viser det seg at Betongkalkulatoren ikke har tatt hensyn til nasjonale tillegg i E.C.2, så resultatet fra håndberegningene legges til grunn ved bestemmelse av Armeringen. Med armeringsdiameter 32 mm blir armeringen $2\phi 32$.

Dimensjonering av søyle, beregning 2

Søylene dimensjoneres for lasttilfelle der takskiven leder horisontale krefter til gavlveggene. Disse vil virke som skiver og lede kreftene ned i fundamentet. Kreftene vil skape et moment i veggen, som søylene skal ta opp. Den horisontale kraften er summen av trykk- og sugkreftene som dannes når vinden står 0 grader på konstruksjonen. Søylene dimensjoneres som for en bjelke belastet med moment, men ettersom vinden kan komme fra begge sider må både trykk- og strekksone armeres som for strekksone. Armerings-arealet blir dermed dobbelt så stort som beregnet areal.

Resultatene i tabell 5.2.1 viser noe avvik mellom håndberegningene og beregningene i Betongkalkulatoren. En grunn til dette kan være at det er brukt forskjellige metoder for dimensjoneringen. Programmet har brukt M/N-diagram, mens håndberegningene tar utgangspunkt i beregning for rent moment. Selv om resultatene i armeringstverrsnittet blir noe forskjellig, vil armeringen $6\phi 32$ godkjenne begge resultatene. Betongkalkulatoren angir at dette er over grensen for maksimal armering, men dersom man regner med netto betongtverrsnitt etter NA i E.C.2 tilfredsstilles også dette kravet.

Dimensjonering av søyle, beregning 3

Elementet dimensjoneres for løft på fabrikk, under transport og under montasje. Vi antar at egenlasten til elementet fordeler seg jevnt over lengden, med unntak av bjelken som vil gi en tilleggslast. Antar at største moment vil virke i midten av søylen, selv om det i realiteten vil være noe forskjøvet. Dette gir lite utslag på resultatet.

Resultatene i tabell 5.2.1 viser liten forskjell mellom nødvendig mengde armering i søylen. Her vil søylen oppføre seg som en bjelke, og det er derfor kontrollert for armering i strekksonen. Denne armeringen vil bare være nødvendig på strekksiden i den søylen der det er festet løftecroker, og beregningene viser at det må armeres med $2\phi 32$.

Dimensjonering av søyle, beregning 4

Her dimensjoneres søylen etter samme lasttilfelle som ved beregning 1. Søylen kontrolleres her for knekking, og det kontrolleres for 2. ordens moment. Metoden som benyttes baserer seg på nominell knekking. I beregningene benyttes endelig kryptall, som er hentet fra figur 3.5 i boka Betongkonstruksjoner (Sørensen, 2017). Knekk lengden i beregningen er antatt som hele lengden av søylen, ettersom den er fritt opplagt i begge ender.

Resultatene som er vist i tabell 5.2.1 for denne beregningen kan ikke direkte sammenliknes, da Ove Sletten kun har kontroll for en forhåndsdefinert armering. Det kan også se ut som at programmet har tatt hensyn til en utbøying som ikke er forårsaket av geometriske avvik. Velger derfor å følge beregningsprogrammet og anta armering $6\phi 32$.

Kontroll for skjærarmering i søyle

Søylen kontrolleres for skjærarmering om sterke og svake akse. Om svake akse kontrolleres søylen for skjærkraften i lasttilfelle som vist i beregning 1. For beregning av skjærarmering om sterke akse er det lagt til grunn lasttilfelle som vist i beregning 3. Det er ikke tatt hensyn til reduksjon av skjærkraftene nær oppleggene, da dette vil ha minimal effekt og blir behandlet i egen beregning for søyletopp/søylebunn. Der det kan være flere formler som angir skjærkapasitet er den som gir minst kapasitet vist i håndberegningene.

Resultatene i tabell 5.2.2 viser at det er skjærbelastningen om søylens sterke akse som gir størst beregningsmessig behov for skjærarmering. Resultatene fra Ove Sletten kan sees bort i fra da disse ikke gjelder for dimensjonerende lasttilfelle for skjærkraft. Betongkalkulatoren beregner bare hvorvidt det er behov for skjærarmering eller ikke. Går derfor ut ifra håndberegningene, og velger bøyer $\phi 10s180$.

Kontroll av søyletopp og søylebunn

Søylen kontrolleres for lokal trykkapasitet i topp og bunn. Kapasiteten er betydelig større enn lastene som påføres, og det vil dermed ikke oppstå trykkbrudd i topp og bunn av søylene. Stålplateoppbygget for gitterdragerne må prosjekteres av JHS Constructions, men vi antar for beregningens skyld at de i toppen av hver søyle har dimensjoner 130×350 mm, og at lastene virker sentrisk. Søylene er også kontrollert for spaltestrekk i topp og bunn. Det er kontrollert for normalkraft og skjærkraft som i beregning 1.

For å ta opp belastninger i søylens topp og bunn armeres det med $\phi 10s150$ i en avstand på 0,5 meter fra endene. Dette er innenfor resultatene i tabell 5.2.2.

Oppsummering av resultater for søyle

Søylen skal dimensjoneres for den største belastningen, som i dette tilfellet er ved beregning

4. Tar også hensyn til største skjærarmering, som gjør at søylene i alle elementene armeres med:

- Lengdearmering: $6\phi 32$.
- Skjærarmering/bøylar i midten: $\phi 10s180$.
- Skjærarmering/bøylar i topp og bunn: $\phi 10s150$.

6.3.3 Dimensjonering av bjelke

Dimensjonering av bjelke i standardelement

Bjelken i elementene er under størst belastning ved løft og transport, og det er disse belastningene den er dimensjonert for. Egenvekten til elementet antas å være jevnt fordelt over bjelken, med et tillegg for søylene i bjelkeendene. I løftet antas det at bjelken må bære hele elementet. Ved starten av beregningen antas armering med diameter 32 mm, men ved kontroll av antall armeringsstenger viser det seg at dette er overdimensjonert. Diameteren endres derfor til 16 mm. Dette påvirker ikke kapasiteten i negativ retning. I beregningen vises kun utregning av skjærkraftkapasiteter som gir minst verdi.

Resultatene fra tabell 5.2.3 er tilnærmet lik for håndberegning og BetongKalkulatorEC2. Etersom bjelken har kapasitet i trykksonen, vil det kun være beregningsmessig behov for lengdearmering på $2\phi 16$. Velger $2\phi 8$ i trykksonen for å kunne binde bøylene fast. Ser av tabell 5.2.4 at det er beregningsmessig behov for skjærarmering, og velger denne til $\phi 10s110$ for å tilfredsstillе minstekravet.

Dimensjonering av bjelke i element over stor port

Bjelken dimensjoneres etter samme prinsipper og forutsetninger som bjelkene i standardelementet, men med dimensjoner tilhørende portelementet. Ser også av dimensjoneringen at skjærarmeringen her vil bli den samme som for bjelke i vanlig element.

Av resultatene i tabell 5.2.3 ser man at dimensjonering kun er gjort for hånd. Bjelken er belastet med et noe større moment enn bjelken i vanlig elementer, og av den grunn må $2\phi 20$ brukes som strekkarmering. Ellers velges armering i trykksone som $2\phi 8$ med samme begrunnelse som for vanlige elementer, og skjærarmering som $\phi 10s110$ da bjelkene belastes med tilnærmet like skjærkrefter. Antar også samme armering i tilsvarende element for liten

port. Denne vil ha samme dimensjonerende lasstilfelle med noe mindre belastning, og valgt armering er derfor til sikker side.

6.3.4 Dimensjonering av flattstål, lask og «Viggo-løsning»

Dimensjonering av flattstål og lask

Over gitterdragerne må det legges lasker som binder flattstålet sammen, slik at det går kontinuerlig over alle elementene. Det antas at laskene må ta opp de samme kreftene som resten av flattstålet, og disse blir derfor dimensjonerende. Kreftene det dimensjoneres for er de største trykk-/sugkreftene som følge av vinden, og dette vil gjelde for området i hjørnene av konstruksjonen. Beregningen blir noe forenklet ved å utvide sonene for de ulike vindbelastningene, men dette gir en konservativ beregning på sikker side. Ved dimensjonering er det kontrollert for en lask med dimensjon 20*40 mm. Lasken dimensjoneres ikke for moment, da dette skal tas opp av «Viggo-løsningen». For kontroll av lasken brukes von Mises bruddkriterium.

Sveisen mellom laskene og flattstålet er bestemt som kilsveis, basert på dagens praksis hos ElementPartner. For å få plass til sveis på begge sider er det antatt at flattstålet i elementene har en dimensjon på 20*50 mm. Fri bredde på hver side av lasken blir da 5 mm. Sveisen er beregnet etter forenklet metode, som er noe konservativ.

Som vi ser av resultatene i tabell 5.2.6 har flattstålet og lasken en tilfredsstillende dimensjon for å ta opp kreftene de påføres. Utnyttelsen av lasken er som vist i formelen under, og utnyttelsen av flattstålet vil være noe mindre. Dersom konstruksjonen skaleres opp og lastene overskrider dimensjonerende kapasitet, vil det heller ikke være noe i veien for å øke dimensjonene på laskene og flattstålet.

$$\frac{\sigma_{ed}}{f_{yd}} = \frac{188,65}{338,1} = 56\%$$

Dimensjoneringen av sveisen viser at det trengs en total lengde på 68 mm. Denne fordeles på 2 sider av lasken, slik at hver side trenger 34 mm. Her går vi opp til 40 mm, som altså blir overlappen mellom lasken og flattstålet.

Dimensjonering av «Viggo-løsning»

Elementene er støttet opp horisontalt av gitterdragerne, som ligger med en avstand på 6 meter. Ettersom elementene er 3 meter brede, vil det være en side på hvert element som ikke er

opplagret i gitterdragerne. I dette punktet vil det oppstå momenter, og disse skal overføres ved hjelp av «Viggo-løsningen».

Det dimensjonerende momentet beregnes ut ifra en antakelse om at veggplatene kun er opplagret hver sjette meter, og uten innfesting på midten. Dette gir en konservativ modell, der dimensjonerende moment er høyere enn det virkelige momentet. Dette er likevel mot sikker side, og det nærmeste vi kommer et reelt svar. For å kompensere for noe av denne overdimensjoneringen antar vi at det mot innfestingen i bunn ikke vil oppstå momenter. Dette er sannsynlig da elementene er festet i to punkter og vil være svært stive. Bestemmer også at det må være minst en «Viggo-løsning» i toppen, slik at flattstålet ikke må ta opp moment.

Kontroll av moment ved hjelp av beregningsprogram gitt av ElementPartner vises det at det trengs 3 «Viggo-løsninger» for å ta opp dimensjonerende moment. Tabell 5.2.6 viser dette. «Viggo-løsningene» kan enkelt implementeres i elementene, og antallet vil ikke endre seg dersom konstruksjonen skaleres, med mindre avstanden mellom feste for gitterdragerne i taket endres.

6.3.5 Dimensjonering av SUMO veggsko

Veggskoene dimensjoneres for de største lastene de kan utsettes for. Flere lasttilfeller er vurdert, men kun de største er vist i utregningene. Mot de dimensjonerende skjærkreftene vil det ved siden av kapasiteten i veggskoene også virke friksjonskrefter fra bakken. Ved dimensjonerende normalkrefter antar vi at de belastningene som påføres søylene vil ledes gjennom disse ned til bakken, mens egenvekten av elementene vil fordele seg jevnt over underlaget det plasseres på. Egenlasten av bjelkeelementet er hentet fra «dimensjonering av bjelke i element over stor port», men justert for lastfaktorer.

Resultantene vist i tabell 5.2.7 kontrolleres opp mot dimensjonerende kapasiteter for SUMO veggsko vist i vedlegg 20. Dette gir at følgende forbindelser må velges som minimum:

- Standard element krever SUMO veggsko 30P med ankerbolt PPM30.
- Bjelke-element over stor port krever SUMO veggsko 36P med ankerbolt PPM36.
- Port-elementene for stor port krever SUMO veggsko 45P med ankerbolt PPM45.

Elementene tilknyttet liten port vil ha mindre belastning enn stor port, men ettersom lastene virker likt antar vi samme veggsko for disse. Kravet til avstander og overdekning rundt veggskoene gjør at vi velger SUMO veggsko 39P med ankerbolt PPM39 for alle forbindelser,

unntatt for stor port der det må benyttes SUMO veggsko 45P og ankerbolt PPM45. Selv om løsningene som velges har noe større kapasitet enn det som er beregningsmessig nødvendig, gjør kravene til overdekning og plassering det mest fornuftig å velge disse. Dette gjør også at fundamentforbindelsene har god kapasitet ved en eventuell skalering av konstruksjonen.

6.3.6 Dimensjonering av veggskiver i elementene

Skivene er for de foregående beregningene antatt å ikke ha en bærende evne på konstruksjonen. Dette gjør at de kun skal kontrolleres for minstearmering. I tillegg er det bestemt at veggskivene skal armeres med basalfiber, noe som reduserer antall armeringsjern ytterligere. Selv om skivene i utgangspunktet ikke dimensjoneres for belastninger, er det et tilfeller hvor det kan oppstå momenter. Dette tilfellet gjelder når elementet løftes ut av form. Kontroll for dette er gjort i dimensjoneringen, med en antatt vinkel i løft på 70 grader.

Ved beregning av nødvendig armering er det antatt at armeringsnettet legges som ett lag i hver av de to skivene. Med en senteravstand på 640 mm (Norsk betongforening, 2020) gir det følgende armering fra tabell 5.2.5:

- | | | |
|---------------|-------------------------|-------------------------|
| - Yttersjikt: | Vannrett – $\phi 8s640$ | Loddrett – $\phi 6s640$ |
| - Innersjikt | Vannrett – $\phi 8s640$ | Loddrett – $\phi 6s640$ |

Ser også at det dimensjonerende momentet som opptrer ved løft ikke overskrider kapasiteten til minimumsarmeringen. Overnevnte armeringsnett håndterer altså denne belastningen.

6.4 Valg av festeløsninger

Ved valg av festeløsninger er det bestemt noen felles kriterier som er gjeldende for alle festene, gitt av prosjektets beskrivelse. Et kriterium er at alle festepunkter med lik plassering i elementene skal ha samme utforming. Det skal også være symmetri i plassering av festepunkter, som legger til rette for et minst mulig antall av elementer med ulik utforming. Alle festeløsningene skal også gi mulighet for montering og demontering. Et siste felles kriterium er at alle festene må velges slik at de tåler den største belastningen på konstruksjonen.

Alle kriteriene er gitt av at konstruksjonen skal være demonterbar og monterbar, at den skal ha mulighet for skalering og at alle elementene skal kunne plasseres hvor som helst i konstruksjonen.

Festeløsning mellom element og fundament

Valg av festeløsning mellom element og fundament er gitt av kriteriene over. For å tilfredsstillere kravet om demonterbar løsning er det funnet som et godt alternativ å bruke en løsning basert på bolter og skruer. Det er også vurdert at løsningen bør kunne støpes inn i elementet ved produksjon. SUMO veggsko fra Peikko er valgt som løsning, da denne tilfredsstiller disse kravene. Plasseringen av veggskoene er lik i alle elementene, med unntak av port-elementene. Her har kravene til lysåpning gjort at festene må plasseres med litt andre mål. Festenes plassering er vist i vedlegg 19, og er bestemt fra SUMO veggsko produktdatablad vist i vedlegg 20.

Festeløsning mellom element og tak

Festeløsning mellom element og tak er utformet gjennom to festeanordninger. Av prosjektering for takkonstruksjonen er det gitt at gitterdragerne i konstruksjonen har en senteravstand på 6 meter. Festepunktene mellom gitterdragerne og elementene vil dermed bli som vist i vedlegg 19, med ett festepunkt på hver side av parvis sammensatte elementer. Festene er utformet som boltede løsninger mot søylene i elementene, som gir mulighet for demontering. Over gitterdragerne i takkonstruksjonen er det selvbærende takplater. Disse vil være festet til gitterdragerne, men vil også være festet til elementene der det er mulig. Festene vil være utformet slik at platene skytes fast i et flattstål som ligger på toppen av alle elementene. Disse festeløsningene er prosjektert spesifikt for dette prosjektet. Festene er også utformet slik at de tar hensyn til skiveeffekten som taket skal ha i konstruksjonen.

Festeløsning mellom elementer

Ved valg av løsning mellom veggelementer har 2 alternativer vært særlig aktuelle. Det første alternativet var en teleskopløsning. Denne løsningen tilfredsstilte godt kravet til monterbare og demonterbare løsninger, og kunne leveres med de kapasiteter som var ønskelig. Unntaket var kapasiteten for moment, som var svært liten. Den andre løsningen som har blitt vurdert er sveisede stålplater. Fordelen med disse er at de kan utformes mot påkjenninger fra alle krefter og momenter, og at de sammenliknet med teleskopløsningen er enklere å implementere i elementene under produksjon. Festene er også raskere å montere på byggeplass. Av disse

hensyn ble denne løsningen valgt. Det er også gjort en vurdering på at denne løsningen er forholdsvis rimelig sammenliknet med andre alternative løsninger.

Festeløsningene mellom elementene er utformet som to fester. Det ene feste er et flattstål som går kontinuerlig gjennom toppen av alle elementene. Mellom elementene er flattstålet sveiset med lasker for å gjøre det kontinuerlig. Dette ivaretar også demonterbarheten, ettersom disse laskene kan skjæres av og sveises på nytt ved andre gangs montasje. For å ta opp momentene som oppstår mellom elementene, er det lagt inn det som i denne oppgaven refereres til som «Viggo-løsningen». Denne består av to innstøpte stålplater i hvert element, som sveises sammen ved hjelp av et gjengestag. Sammen skal «Viggo-løsningen» og flattstålet ta opp kreftene mellom elementene som takskiven ikke overfører. Se vedlegg 19. og vedlegg 21. for beskrivelse av flattstål og «Viggo-løsning».

6.5 Skalerbare løsninger

Et av kriteriene for PartnerHallen er at den skal være skalerbar. I begrepet legger vi at konstruksjonen og dets elementer skal prosjekteres og utvikles slik at de ut ifra denne oppgaven skal kunne skaleres opp eller ned i størrelse ved hjelp av de løsninger som er presentert.

Et av prinsippene for å oppnå skalerbarhet er at alle elementene er utført i samme størrelse. Her er det to unntak. Alle elementene med unntak av portelementene er utført med en bredde på 3 meter og høyde på 9 meter. Festeløsningene som binder elementene til hverandre, og til resten av konstruksjonen, er også lik på alle elementene. Dette gjør at hvilke som helst av elementer skal kunne bindes til hverandre, og til resten av konstruksjonen. Elementene er også utført med konsekvent plassering av utsparinger for gitterdragerne. Festepunktene for tak havner da på samme punkt, uavhengig av hvilke elementer man setter sammen.

Unntakene fra elementer med uniform utførelse er de som omslutter liten og stor port. For begge typer porter vil dette dreie seg om 3 elementer. For å sikre at disse elementene inngår som en del av et skalerbart bygg, er systemet av 3 elementer som omslutter hver port utformet slik at det passer inn med de øvrige elementene i konstruksjonen. Tegninger av dette er vist i vedlegg 19.

For å sikre skalerbarhet i konstruksjonen er det også nødvendig å se på kapasiteten til elementene. Systemet for PartnerHallen er et rammesystem som overfører kreftene gjennom takskiver og veggskiver ned i jorda. Av beregninger i vedlegg 7. ser vi at det er momentet og skjærkraften i veggskivene som blir den begrensende belastningen for hva elementene kan tåle, dersom bygget skaleres opp. Det må også tas hensyn til hvilken retning man skalerer i. Skalering i lengderetning vil medføre større krefter og momenter i skivene. Skalering i bredderetning vil gi større normalkrefter i elementenes søyler, kombinert med endrede krefter i skivene.

Takkonstruksjon er utformet slik at den gir mulighet for å skalere PartnerHallen i lengderetningen. De bærende konstruksjonene i taket står med en fast avstand på 6 meter. Dersom spennet ikke endres vil belastningen være lik, uavhengig av lengden på bygget. Takkonstruksjonen er også utformet på en slik måte at dersom man skalerer bygget i bredderetning, kan samme konstruktive løsninger i taket benyttes. Dette forutsetter at dimensjonene økes. Dette er bekreftet fra JHS Construction AS som står for prosjekteringen av takløsningen.

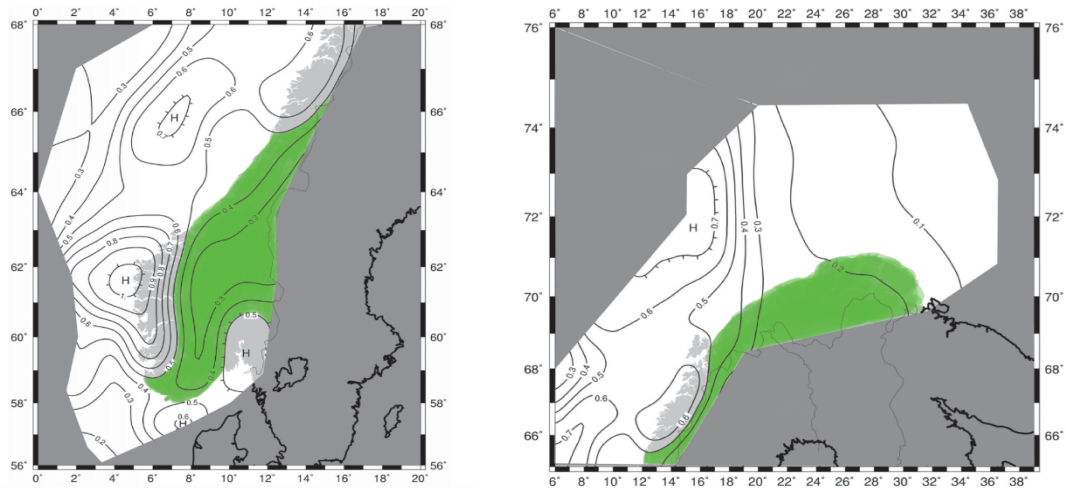
Dekke i konstruksjonen er plasstøpt, og blir tilpasset hvert enkelt prosjekt. Dette vil derfor ikke være skalerbart, men kan bygges på eller rives opp dersom en eksisterende konstruksjon skaleres opp eller ned. Dekke vil ikke ha noen innfesting til resterende konstruksjonsdeler, og vil dermed ikke påvirke festeløsninger eller annet som eventuelt kunne hatt påvirkning på skalerbarheten.

6.6 Jordskjelv

PartnerHallen er kontrollert for utelatelseskriteriene som gir anledning til å unnlate videre jordskjelvberegninger. Vedlegg 22. viser disse beregningene. Av beregningene for mest ugunstige plassering av konstruksjonen, ser vi at det må dimensjoneres for jordskjelvbelastninger. Det er ikke mange områder som utsatt for disse belastningene, men ettersom PartnerHallen skal kunne settes opp tilnærmet hvor som helst i landet må også disse områdene kontrolleres.

Kontrollen av utelatelsespunktene viser at det i all hovedsak er den seismiske akselerasjonen i grunnen som avgjør hvorvidt beregninger for jordskjelv kan utelates eller ikke. Beregningene viser at dersom denne akselerasjonen er under $0,5 \text{ m/s}^2$ så vil det ikke være nødvendig med

jordskjelvberegninger. Som vist i kartet vil plassering i store deler av landet ikke kreve dimensjonering mot jordskjelv (Fig 6.6.1). Kriteriet forutsetter at grunntypen tilfredsstillende klasse A.



Figur 6.6.1: Områder i Norge for uten krav til jordskjelvberegning. Forutsatt grunntype klasse A

Dersom plassering eller grunntype ikke tilfredsstillende utelatelseskriteriene for jordskjelv, som vist over, må konstruksjonen kontrolleres for seismiske laster. Denne beregningen er stor og kompleks, og mange av faktorene vil være avhengig av hvor i landet konstruksjonen plasseres og hvordan grunnforholdene er i det området. For områdene der PartnerHallen ikke tilfredsstillende unlatelseskravene, må det dermed dimensjoneres for jordskjelv i hvert enkelt tilfelle. De seismiske lastene vil ved mest ugunstig virkning være så store at det ikke lønner seg å prosjektere for at ett sett med standard elementer skal ta opp disse. Der det viser seg at de seismiske lastene er større enn det elementene er dimensjonert for, bør det benyttes andre løsninger enn de ferdigprosjekterte elementene i PartnerHallen.

6.7 Brann

Den branntekniske prosjekteringen gjennomføres ved forenklet metode. Dette innebærer at vi baserer løsningene på preaksepterte ytelser definert i veilederen til TEK17 (TEK17, 2017).

Risikoklasse

Bygget er et industri-/lagerbygg og er etter veileder definert i risikoklasse 2.

Brannklasse

Bygget er i risikoklasse 2 og bygges i 1. etg. Dette gir brannklasse 1.

Krav til bæreevne og stabilitet

Kravet til bærende bygningsdeler for konstruksjonen er R 15. Dette er gitt av at bygningen ligger i risikoklasse 2. Kravet gjelder både for primære og sekundære bæresystem. Av tabell D 4.11 og D 4.12 (Betongelementforeningen, 2017) i elementhåndboken vurderes det at brannmotstanden i betongelementene vil ha minimum brannmotstand R 30, noe som tilfredsstillende kravet. Takkonstruksjonen prosjekteres av leverandør med krav til utførelse med R 15 eller bedre. For alle praktiske formål vil dette kunne la seg gjøre, for eksempel med brannisolasjon eller brannmaling.

Sikkerhet mot eksplosjon

Dersom bygningens bruk medfører fare for eksplosjon, skal dette prosjekteres for. Dette vil ikke være tilfelle for de fleste bruksområder ved bygget, og er dermed ikke tatt høyde for i denne oppgaven. Prosjekter med eksplosjonsfare må prosjekteres for i hvert enkelt tilfelle.

Tiltak mot brannspredning mellom bygg

Dette avhenger av prosjektets plassering, og må derfor prosjekteres i hvert enkelt tilfelle. Men kravene for tiltak mot brannspredning mellom bygninger vil være godkjent dersom avstanden til andre byggverk er minst 8 meter, og virksomheten som er i byggverket ikke medfører stor sannsynlighet for brann.

Brannseksjoner

Hvorvidt byggverket må deles inn i flere brannseksjoner avhenger av størrelse på og bruk av bygget. For ikke å endre fleksibiliteten til byggverket er det ønskelig at det ikke skal være krav om flere seksjoner, da dette vil føre til innvendige konstruktive vegger. Kravet til brannseksjoner bestemmes basert på byggets spesifikke brannenergi. Av Standard Norges «Laster på konstruksjoner ved brann» (Standard Norge, 2008) tabell E.4 vurderes det at den spesifikke brannenergien for byggverket ved de fleste typer bruk vil overstige 400 MJ/m². Med denne verdien som forutsatt spesifikk brannenergi angir tabell 6.5.1 hvilke preaksepterte ytelser som gjelder for å oppfylle kravet om 1 brannseksjon:

Tabell 6.7.1: *Krav til brannseksjon*

Bruttoareal til og med 800 m ²	Ingen krav
Bruttoareal mellom 800-1200 m ²	Krav til brannalarmanlegg
Bruttoareal mellom 1200-5000 m ²	Krav til sprinkleranlegg

Brannceller

Av veiledende forskrift er det ikke gitt noen krav til at byggverket må deles opp i en eller flere brannceller. Byggverket er derfor ikke prosjektert for dette. Dersom bygget innvendig deles opp i deler med ulik bruk, kan det være aktuelt med en eller flere brannceller. Dette må i så fall prosjekteres for i hvert enkelt tilfelle.

Materialers og produkters egenskaper ved brann

Tabellen under angir hvilke branntekniske egenskaper det stilles krav til for de ulike overflatene i byggverket. Videre angir tabellen hvilke faktiske egenskaper overflatene har der dette er prosjektert, og hvilke krav som stilles der det ikke er prosjektert.

Tabell 6.7.2: Brannklassifisering av bygningsdeler

Overflate	Krav til egenskaper	Faktiske egenskaper
Innvendige overflater	D-s2, d0	Betongoverflater: A1-s1, d0 (Betongelementforeningen, 2020) Takkonstruksjon: dokumenteres av leverandør i henhold til krav
Isolasjon i sandwichelementer	D-s2, d0 eller Eurefic-klasse E	FF Pir: D-s2, d0 (Vedlegg 23.) Neopor S60: Eurefic-klasse E (Vedlegg 24.)
Isolasjon i tak	Ingen klassifisering (Krever 30mm med ubrennbar isolasjon i overkant og underkant av isolasjonen)	Hoved-isolasjon: Alle produkter godkjent Isolasjon i over- og underkant: A1 (Vedlegg 26.)
Selvbærende takplater	A2-s1, d0	Selvbærende takplater: dokumenteres av leverandør i henhold til krav
Utvendige overflater	D-s3, d0	Betongoverflater: A1-s1, d0 (Betongelementforeningen, 2020)
Taktekking	B _{ROOF} (t2)	Takpapp: dokumenteres av leverandør i henhold til krav

Tekniske installasjoner

Tekniske installasjoner vil variere med bruken av byggverket, og må derfor prosjekteres i hvert enkelt tilfelle.

Tiltak for å påvirke rømnings- og redningstider

Det må installeres brannalarmanlegg i brannalarmkategori 1.

Rømningsvei

Rømningsvei vil være avhengig av utformingen til innsiden av byggverket. Prosjekteres derfor i hvert enkelt tilfelle.

Tilrettelegging for manuell slokking samt rednings- og slokkemannskap

Det skal være tilgjengelig håndsløkkeapparat eller brannslange som rekker inn i alle rom. Brannslukningsutstyret skal være tydelig merket. Plassering og antall må prosjekteres i hvert enkelt tilfelle. Det må også tilrettelegges for kjørbare adkomst til hovedinngangen, noe som anses som oppfylt da all bruk byggverket er beregnet for krever dette for normal drift.

6.8 Energi

Alle bygninger skal utføres og prosjekteres slik at de legger til rette for forsvarlig energibruk. Energikravene som settes gjelder i utgangspunktet for konstruksjonens oppvarmede bruksareal (BRA). PartnerHallen skal kunne plasseres tilnærmet hvor som helst i landet, ha ulike bruksområder og inneholde ulike virksomheter. Dette gjør at en samlet kontroll for alle variantene av bygningen ikke vil være mulig.

For å forenkle prosessen med å dokumentere energikravene, som må gjøres for hvert enkelt tilfelle, har vi gjort kontroll for de verdiene som er konstante for alle varianter av PartnerHallen. Dette vil for det meste innebære U-verdiberegninger. Beregningene er gjort med hensyn på tre ulike krav til energieffektivitet, der de ulike kravene krever ulike isolasjons- eller lagtykkelser i konstruksjonens deler.

Ved beregningene av U-verdi har vi tatt i betraktning en armeringsmengde på 2%.

Beregningene er gjort for hånd og ved hjelp av beregningsprogram fra Betongforeningen. Håndberegningene vil være noe konservative, da isolasjonslaget i toppen av elementene ikke er medregnet. Dette er gjort for å forenkle beregningen, og kan forklare avviket mellom U-verdiene i beregningsprogrammet og U-verdiene regnet for hånd. Håndberegningene er kun gjort for massivelementer, da fremgangsmåte for de andre elementene vil være lik. Dette

kontrollerer at beregningsprogrammet og håndberegningene gir omtrent samme svar, og validerer at de resterende beregningene stemmer.

De tre energinivåene det er regnet U-verdi for er standard energikrav, lavenergi- og krav til kaldt bygg.

Standard energikrav

Tabellen under viser resultatene fra beregningene for standard energikrav vist i tabell 5.3.1, samt minimumskravene som gjelder:

Tabell 6.8.1: U-verdi for standard energikrav

Element	Håndberegning	Beregning i program	Minimumskrav
Massivelement	0,1845	0,17	0,22
Dør		0,174	
1 vindu		0,178	
2 vindu		0,189	

Som resultatene viser er alle elementene innenfor kravene som stilles til U-verdi.

Beregningene viser også at dersom det settes inn dører eller vinduer vil U-verdien bli noe svekket. Dette er likevel innenfor kravet. Her er det tatt utgangspunkt i U-verdi $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ for vinduer og dører. Isolasjonen som er benyttet er Neopor N60. Dette er isolasjonen ElementPartner benytter mest i dag, da forholdet mellom varmeeffektivitet og pris er svært gunstig.

Lavenergi- og krav

Tabellen under gir en sammenfatning av resultatene fra beregningene for lavenergi- og krav, vist i tabell 5.3.1, samt veiledende verdier som gjelder:

Tabell 6.8.2: U-verdi for lavenergi- og krav

Element	Håndberegning	Beregning i program	Veiledende verdi
Massivelement	0,1501	0,125	0,16
Dør		0,128	
1 vindu		0,131	
2 vindu		0,141	

Resultatene ovenfor viser at både håndberegningene og beregningene gjort i program er godt innenfor de veiledende verdiene som gjelder for lavenergibygninger i industrien. De veiledende verdiene er ingen fastsatte krav, men ved å tilfredsstillere disse bør det være oppnåelig å få et energiregnskap som tilfredsstillere passivbygg-standarden. Utformingen av elementene er lik som ved normale krav, men isolasjonen som benyttes er FF Pir. Denne har bedre egenskaper enn Neopor med hensyn til varmeledningsevne, noe som kreves i lavenergibygninger.

Kaldt bygg

For kalde bygg er det ingen krav til hvilke U-verdier som gjelder. Her stilles kravet til at transmisjonsvarmetapet ikke skal overstige standardenergikrav. Vi har derfor valgt å dokumentere dette ved å vise transmisjonsvarmetapet i veggene med ulike utetemperaturer, forutsatt en innetemperatur på 12 grader celsius. Vi ser av resultatene i tabell 5.3.2 at dersom alt varmetapet gikk gjennom veggene, ville utformingen tilfredsstillere kravene helt ned til årsmiddeltemperatur på 4 grader celsius. Det vil i realiteten også ledes varme gjennom tak og gulv, men resultatene her gir en indikasjon på hvilke årsmiddeltemperaturer som kreves for at PartnerHallen skal oppfylle energikravene.

Utformingen av elementene i det kalde bygget er noe annerledes enn for elementene i de to resterende energiklassene. Elementene her har et tynnere isolasjonssikt, som følge av at kravene til varmemotstand er lavere. Utformingen av disse elementene er som vist i Vedlegg 19. Standard isolasjon i veggelementene i kaldt bygg er FF Pir. Dersom energiberegningene skulle tilsi at det kreves bedre varmemotstand i veggene, kan isolasjonssjiktet utvides.

6.9 Kalkyle

Resultatene i kapittel 5.4, «Kalkyle», viser estimert kostnad for tak, gulv og veggelementene i PartnerHallen. Kalkylene for gulv og tak er bestemt ved hjelp av database i «Holte SmartKalk», og kalkyle for veggelementene er laget av ElementPartner. Det innebærer at estimatet for veggelementene er forholdsvis nøyaktig, mens kostnaden for gulv og tak kan avvike noe fra reell pris. For veggelementene er det kun tatt utgangspunkt i massive elementer uten vinduer og dører. I beregningen er det ikke inkludert fundamentering.

Tabell 5.4.1 viser pris for elementene med bruk av forskjellige isolasjonstyper og dimensjoner, basert på brutto flate. I kalkylen for elementene er det ikke tatt hensyn til

utsparinger, da kostnaden knyttet til utformingen av disse er anslagsvis lik materialkostnaden ved å fylle dem med betong. I tabellen er det beskrevet pris for element med hensyn på transport for henholdsvis 5 og 500 kilometer fra fabrikk. Kostnadsoverslag er hentet fra ElementPartner, se vedlegg 18.

Tabell 5.4.2. viser kostnad av tak og gulv med bruk av forskjellige isolasjonstyper. Kalkylen er gjort med to ulike isolasjonstyper, der resten av oppbygningen til de to bygningsdelene er identisk. I kalkylen er glidesjikt og radonsperre medtatt i prisen. Isolasjonen i gulvet gir en usikkerhet i beregningen da trykkapasiteten denne må ha, vil gi store utslag på kostnaden. Kalkylen tar utgangspunkt i at dekke er plasstøpt og taket er plassbygd.

Pris for isolasjon og frakt til fabrikk er hentet fra leverandør, se vedlegg 26. Denne kostnaden er inkludert i kalkylen for veggelementene. Pris for gitterdragerne i taket er hentet fra møte med DS Nor AS, se vedlegg 27. Kostnadsestimatet fra disse er noe konservativt. DS Nor var en aktuell leverandør av takkonstruksjonene før det ble besluttet å velge JHS Construction til dette. Vi antar at kostnaden for produksjon og montasje fra disse leverandørene er omtrent den samme.

Utregnet pris fra «Holte SmartKalk» er noe endret fra det som er vist i vedlegg 17. I programmet er det benyttet EPS som isolasjon. Denne kostnaden er justert for prisdifferansen til FF Pir og Neopor N60. I kalkylen er det ikke medtatt pris for gitterdragerne i taket. Denne er inkludert i de endelige resultatene, og prisen per gitterdrager er estimert til ca. 75 000 kr.

Kostnadsoverslaget for tak og gulv er gjort med utgangspunkt i referansebygget på 21*42 meter. Disse dimensjonene er også brukt for beregningene av totalsummen for byggverkene. Dersom byggverket skaleres opp, vil prisen per kvadratmeter bli rimeligere sammenliknet med det kalkylene viser. Tilsvarende vil nedskalering gi en høyere kvadratmeterpris.

Det å kunne konkurrere med dagens marked har vært et viktig tema for ElementPartner. Gjennom konseptet med 3 ulike energiprofiler har PartnerHallen stor diversitet innenfor pris og energieffektivitet. I sammenlikning med konkurrerende leverandører av betongelementbygg viser det seg at PartnerHallen har en pris som er konkurransedyktig (Overhalla betongbygg, u.å).

Kaldt bygg

Tabell 6.9.1: Kalkyle for kaldt bygg

Hva	Transportlengde	Kostnad
Kostnad per element	5 km	41 526 kr
Kostnad per element	500 km	45 738 kr
Sum total kostnad for byggverk	5 km	3 828 866 kr
Sum total kostnad for byggverk	500 km	4 005 574 kr

Elementene i kaldt-bygget har en noe annen oppbygning enn elementene i de to andre energiprofilene. Kravene som stilles til denne konstruksjonen med hensyn på energi er ikke like strenge som for oppvarmede bygg. Det gir reduksjon i mengde betong og isolasjon som benyttes i elementene, og dermed en lavere total kostnad. Sjøttet med isolasjon som benyttes i elementene er FF Pir. Kaldt-bygget er godt egnet for bruk som medfører tungt arbeid eller annen bruk der temperaturen bør holdes på et lavt nivå.

Standard energikrav

Tabell 6.9.2: Kalkyle for standard energikrav

Hva	Transportlengde	Kostnad
Kostnad per element	5 km	46 359 kr
Kostnad per element	500 km	54 081 kr
Sum total kostnad for byggverk	5 km	4 031 348 kr
Sum total kostnad for byggverk	500 km	4 355 672 kr

Elementene som leveres med standard energikrav leveres som standard elementer for PartnerHallen. Elementene oppfyller kravene til oppvarmede bygninger i TEK17. Isolasjonen som benyttes i disse elementene er Neopor N60, og byggverket som helhet kan benyttes for de fleste bruksområder. Kostnad for disse elementene er høyere enn for kaldt bygg, som har sammenheng med at elementene som skal tilfredsstillende standard energikrav har en større mengde isolasjon og flere sjikt med betong.

Lavenergi

Tabell 6.9.3: Kalkyle for lavenergi

Hva	Transportlengde	Kostnad
Kostnad per element	5 km	54 351 kr
Kostnad per element	500 km	62 073 kr
Sum total kostnad for byggverk	5 km	4 629 778 kr
Sum total kostnad for byggverk	500 km	5 290 062 kr

Elementene i denne kategorien er innenfor de veiledende kravene til veggelementer for lavenergibygninger for industri og lager. Det gjør at de egner seg godt for bygninger der det kreves eller ønskes en mer energieffektiv profil. For å tilfredsstille disse kravene er FF Pir benyttet som isolasjon. Denne har en bedre varmemotstand, men også en høyere pris enn Neopor. Dette gjør at kostnaden for disse elementene er noe høyere enn for elementene som tilfredsstiller standard energikrav. Merkostnaden kan til gjengjeld spares inn ved at mengden energi som kreves til oppvarming reduseres. For store byggverk kan dette utgjøre en stor kostnad.

Oppsummering av kostnader

Totalt ser man at variasjonen i kostnadene for PartnerHallen henger sammen med avstanden fra fabrikk til der hvor byggverket skal plasseres, og hvilke energikrav man ønsker å oppfylle. Større avstander gir en høyere transportkostnad og dermed en høyere totalkostnad. Større andel og/eller bedre isolasjon gir også en økt kostnad. Men variasjonen for de ulike byggene er forholdsvis liten, som gjør det attraktivt å velge det mer energivennlige alternativet. De ulike utformingene av elementene gir kunden mulighet til å velge ut ifra sine forutsetninger og forventninger.

7. Konklusjon

Prosjekteringen av PartnerHallen viser at det er mulig å lage et prosjekteringsgrunnlag for en betonghall med standard elementer, som kan benyttes for mange ulike bruksområder og i mange ulike bransjer. Men kravet til at en standard modell skal passe alle behov, har også sine utfordringer.

Ved utvikling og prosjektering av konstruksjoner er lastene som virker viktige. Laster varierer med hensyn på blant annet plassering, klima og bruk. Variasjonen i lastene er så stor at det viser seg lite hensiktsmessig å dimensjonere for alle maksimale laster. For vind og snø vil en konstruksjon dimensjonert for tilnærmet alle laster være både ønskelig og oppnåelig. Det er fordi variasjonen i lastene ikke nødvendigvis har en sammenheng med variasjon i plasseringer av PartnerHallen. Det betyr at dersom det ikke dimensjoneres for største laster, kan en stor potensiell kundemasse falle bort. Et lite unntak fra dette er maksimal snølast. Den forekommer i 6 kommuner, der folketall og aktivitet er forholdsvis liten. Å utelate denne medfører derfor ingen stor begrensning av lokalisering.

Nyttelast vil derimot i stor grad variere. Lasten vil være veldig spesifikk for hvert enkelt bruk, og selv innenfor samme bransje kan dimensjonerende nyttelast ha svært ulike verdier.

Vurderingen rundt denne lasten er derfor at dette er noe som bør prosjekteres i hvert enkelt tilfelle. Det vil heller ikke medføre store konsekvenser for det resterende av prosjektet, da løsninger for dekke er utformet slik at det ikke virker som en del av resten av konstruksjonen. Seismiske laster er også en last med store variasjoner. Jordskjelv er ikke et stort problem i Norge, men de største seismiske lastene som kan forekomme kan ha stor virkning på en konstruksjon. Som en måte å sikre konstruksjonene mot jordskjelv på er det gjort kontroll for hvilke områder som er innenfor akseptabel grense. Dersom konstruksjonen står på utsiden av disse områdene, må det gjøres en vurdering av seismiske laster i det enkelte tilfelle. Det å lage en konstruksjon som er sikker mot alle seismiske laster vil gi mange overdimensjonerte og lite økonomisk gunstige betonghaller.

Av dimensjoneringen ser vi at skivesystem med lokale rammer i hvert betongelement er en effektiv måte å ta opp lastene på. Dette begrenser mengden materialer som er nødvendig i bygningsdelene, og gir en fleksibel konstruksjon som kan ta opp alle påkjente laster. Systemet har også en slik utforming at fordeling og virkning av laster forblir den samme, selv om bygget skaleres og størrelsene på lastene endres. Dersom påførte laster skulle bli større enn

konstruksjonens kapasitet er det heller ingenting i veien for å benytte samme konsept, men med større dimensjoner.

Bruken av basaltfiber har vist seg å være noe utfordrende slik situasjonen er i dag. Historisk sett er fiberen et nytt byggematerialet, så regelverk og litteratur rundt emnet er nokså begrenset. PartnerHallen er derfor kun utført med basaltfiber i de delene av konstruksjonene som ikke har en bærende funksjon. Fiberne reduserer mengden tradisjonell armering som er nødvendig i de ikke-bærende konstruksjonsdelene, men klarer ikke å eliminere bruken av den. I de bærende delene av konstruksjonen vil det mange steder være lokalt store krefter. Etersom fiber har best egenskaper mot krefter som fordeler seg over et større område, er det bestemt å bruke tradisjonell stangarmering i de bærende delene av konstruksjonen.

Monterbare og demonterbare konstruksjoner har vist seg å være fullt mulig. Ved hjelp av forbindelser som kan skrues mot hverandre og ståldetaljer som kan kappes og sveises flere ganger, kan man unngå festemidler som må ødelegges for at konstruksjonsdeler skal kunne demonteres. Demonterbare løsninger har vist seg å stille større krav til å ta opp krefter i lokale punkter, men materialkvaliteter og løsninger som finnes i dag er så gode at denne utfordringer lar seg løse.

Det stilles større krav til energieffektive løsninger og konstruksjoner nå enn tidligere. For boligbygninger har denne utviklingen satt inn for fullt, mens det i industri-/ lagerbygninger ikke har fått like mye oppmerksomhet. Prosjekteringen i denne oppgaven har vist at det er lite som skal til for å oppnå krav som stilles til lavenergibygninger, sammenliknet med minimumskravene for energi. Det er også vist at det ved god planlegging av konstruksjonen kan utarbeides fleksible systemer som enkelt kan tilpasses ulike krav for ulike bruksområder. Det å stille høye krav til energibruken i industri- og lagerbygg vil gi samme gunstige effekter som ved boligbygg, og det vises her at et slikt krav er fullt oppnåelig.

Totalt sett har oppgaven vist at det er mulig å utvikle én betongelementhall som utgangspunkt for mange prosjekter. Ingen prosjekter vil være helt like, og gjennom oppgaven vises det at noen begrensninger på hva og hvor konstruksjonen kan settes opp er nødvendig. Oppgaven viser også at det er mulig å utvikle konstruksjoner som kan skaleres, og at løsninger som gjør byggverk demonterbare er tilgjengelige i dag. Prosjektet PartnerHallen har gitt et produkt som er energieffektivt, skalerbart, demonterbart, økonomisk konkurransedyktig og som tar i bruk nye bygningsmaterialer.

8. Litteraturliste

Armering. (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Armering> (Hentet 16. mai 2020)

Basalt fiber. (2020) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: https://en.wikipedia.org/wiki/Basalt_fiber (Hentet: 01. mai 2020)

Betongelementforeningen (2009) *Betongelementboken Bind G, transport og montasje*. Tilgjengelig fra: <https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookG.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindG/Forord.pdf&BookId=G> (Hentet: 22. april 2020).

Betongelementforeningen (2016) *Betongelementboken bind B*. Tilgjengelig fra: <https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookB.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindB/Forord.pdf&BookId=B>; (Hentet: 6. mai 2020).

Betongelementforeningen (2017) *Betongelementboken bind D: brannmotstand, bestandighet og tetting*. Tilgjengelig fra: <https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookD.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindD/Forord.pdf&BookId=D> (Hentet: 22. april 2020).

Betongelementforeningen (2020) *Betongelementboken bind C*. Hentet fra: <https://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/BookC.asp?isSearch=0&liID=Forord&DocumentId=BindC/Forord.pdf&BookId=C> (Hentet: 6. mai 20).

Bjelke. (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Bjelke> (Hentet: 6. mai 2020).

BMI Group (u.å) *Icopal Topsafe*. Tilgjengelig fra: <http://www.icopal.no/~media/IcopalNO/3/brosjyre/skraa-tak/topsafe.pdf> (Hentet: 11. mars 2020)

Brørs, K. (2019a) *Video om sand og stein i betong*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:142929> (Hentet: 12. mai 2020).

Brørs, K. (2019b) Armering, *Ndla*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:141146> (Hentet: 29. april 2020).

Byggforsk (2013) *Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygning_sdelers?fbclid=IwAR3RhJybk5BZbmmYtjKxqirljuoXbR-bAIFlgnmwPFwK7pcg0BZW7uVs5A (Hentet: 11. mars 2020).

Cappelen Damm AS (u.å.) *Kalkyler*. Tilgjengelig fra: <https://merkur4.cappelendam.no/c394217/merkurmodul/vis.html?tid=394234> (Hentet: 02. mai 2020).

Finnfoam (u.å) *FF Pir*. Tilgjengelig fra: <https://www.finnfoam.no/produkter/ff-pir/tekniske-spesifikasjoner/> (Hentet: 11. mars 2020).

Grensetilstandsmetoden. (2017) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Grensetilstandsmetoden> (Hentet 01. mai 2020).

Isola (u.å) *Norskprodusert, moderne takbelegg med selvklebende omlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.isola.no/produkter/tak/takbelegg/selvbygger> (Hentet: 11. mars 2020).

Kontrollrådet (2020a) *BETONGENS ABC*. Tilgjengelig fra: <https://www.kontrollbetong.no/betongens-abc/> (Hentet 29. april 2020).

Kontrollrådet (2020b) *Ti ting du ikke visste om betong*. Tilgjengelig fra: <https://www.kontrollbetong.no/ti-ting-visste-om-betong/> (Hentet 30. april 2020).

Larsen, P. K. (2015) *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*. 2. utg. Bergen: Fagbokforlaget.

Maku (u.å) *Velg riktig fagverk*. Tilgjengelig fra: <http://www.maku.se/default.asp?ID=OFFERT&sLang=nb-no&fbclid=IwAR0cTZu-YfNkvURCwWso8d249E4D0otmDo5vKB5gqP4YYKuhWqjnC1S6zaM> (Hentet: 9. mars 2020).

Norges vassdrags- og energidirektorat (2003) *Retningslinje for laster og dimensjonering*. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/retningslinjer/2003/retningslinjer2003_01.pdf (Hentet: 30. april 2020).

Norsar (u.å), *Hva er et jordskjelv*. Tilgjengelig fra: <https://www.jordskjelv.no/om-jordskjelv/hva-er-et-jordskjelv/> (Hentet 30.04.2020).

Norsk Betongforening (2020) *Publikasjon nr. 38*. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/38-pdf-fiberarmert-betong-i-baerende-konstruksjoner-2020/> (Hentet 6. mai 2020).

Olsen, T (2005) *Bygg høyt – og sikkert*, Forskning. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/geofag-ntnu-partner/bygg-hoyt--og-sikkert/1032359> (Hentet 30. april 2020).

Olsson, N. (2019) *Praktisk rapportskrivning*. 1. utg. Bergen: Fagbokforlaget.

Overhalla betongbygg (u.å) *KOMPLETT HALL I BETONG*. Tilgjengelig fra: <https://overhallabetongbygg.no/byggtyper/haller/> (Hentet 15. mai 2020).

Revfem, J. (2018) *Plasstøpt eller prefabrikkert betong*, *Teknisk Ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/vaer-tro-mot-ideen-og-strategien-du-har/442113> (Hentet: 30. april 2019).

Rørvik, T. (2010) *Konstruksjonssikkerhet og belastning*. 3. utg. Ålesund: ukjent utgiver

Seehusen, J. (2013) «Forskalingen ga fra seg et langt, pinefullt skrik». *Teknisk ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/forskalingen-ga-fra-seg-et-langt-pinefullt-skrik/232638> (Hentet: 30. april 2020).

Seehusen, J. (2014) Nå brukes «gråstein» som betongarmering. *Teknisk ukeblad*. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/na-brukes-grastein-som-betongarmering/226528> (Hentet: 01. mai 2020).

SINTEF Byggforsk (2003a) 471.041 *Snølast på tak. Dimensjonerende laster*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast_paa_tak_dimensjonerende_laster (Hentet 01.mai 2020).

SINTEF Byggforsk (2003b) 471.043 *Vindlast på bygninger*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4009/vindlaster_paa_bygninger_forenklet_beregning_av_vindkasthastighetstrykk (Hentet 01.mai 2020).

Standard Norge (2008) *NS-EN 1991-1-2:2002+NA:2008 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-2: Allmenne laster – Laster på konstruksjoner ved brann*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=324904>
(Hentet: 22. april 2020).

Standard Norge (2012) *NS 3701:2012 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Yrkesbygninger*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802>
(Hentet: 16. april 2020).

Standard Norge (2018) *NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018 Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=997269>
(Hentet: 15. mars 2020).

Standard Norge (2019) *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger*. Tilgjengelig fra:

<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1015211>
(Hentet: 21. februar 2020).

Sørensen, S. I. (2017) *Betongkonstruksjoner*. Bergen: Fagbokforlaget.

Søyle. (2019) *Wikipedia*. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Søyle> (Hentet: 6. mai 2020).

Tata Steel (u.å) *Høyprofiler*. Tilgjengelig fra:

https://www.tatasteelconstruction.com/no_NO/Produkter/Bygningskledning/Tak/Oppbygde-og-enkeltlagssystemer/Trapesformede-profiler/200R.-750#200r-750 (Hentet: 11. mars 2020).

TEK17 (2017) *Byggteknisk forskrift med veiledning*. Tilgjengelig fra:

<https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet: 22. april 2020).

Thue, J.V. (2019) *Betong, Store norske leksikon*. Tilgjengelig fra:

<https://snl.no/betong?fbclid=IwAR2LNcxHe7tDC4yegD2CnJI33sVVrF1wZvdGg4hqgimdDPvh9y9oU3AsTUg> (Hentet: 29. april 2020).

9. Vedlegg

Vedlegg 1: Forprosjektrapport	13 sider
Vedlegg 2: Fremdriftsplan	1 side
Vedlegg 3: Bacheloravtale	2 sider
Vedlegg 4: Forutsetninger for dimensjoneringen	1 side
Vedlegg 5: Dimensjonering av snølast	1 side
Vedlegg 6: Dimensjonering av vindlast	4 sider
Vedlegg 7: Dimensjonering av søyler, håndberegning	7 sider
Vedlegg 8: Dimensjonering av søyler, BetongKalkulatorEC2	7 sider
Vedlegg 9: Dimensjonering av søyler, Ove Sletten	2 sider
Vedlegg 10: Dimensjonering av bjelke, håndberegning	3 sider
Vedlegg 11: Dimensjonering av bjelke, BetongKalkulatorEC2	3 sider
Vedlegg 12: Dimensjonering av skive, håndberegning	1 side
Vedlegg 13: Festeløsninger, håndberegning	2 sider
Vedlegg 14: Festeløsninger, beregning av innstøpte stålplater	4 sider
Vedlegg 15: U-verdi, håndberegninger	5 sider
Vedlegg 16: U-verdi, Betonelement-Foreningen	8 sider
Vedlegg 17: Kalkyle, Holte Smartkalk	2 sider
Vedlegg 18: Kalkyle, ElementPartner	1 side
Vedlegg 19: Tegninger	23 sider
Vedlegg 20: Produktdatablad Sumo wall shoe og ppm ankerbolter	22 sider
Vedlegg 21: Viggo-løsning	1 side
Vedlegg 22: Unnlatelseskriterier for jordskjelv	2 sider
Vedlegg 23: Produktdatablad FF-Pir ALK	3 sider
Vedlegg 24: Produktdatablad Neopor N60	4 sider
Vedlegg 25: Conlit 150, ubrennbar isolasjon	1 side
Vedlegg 26: E-post korrespondanse fra VartdalPlast AS	4 sider
Vedlegg 27: Møtereferat DS NOR AS	1 side