

## Sammenligning av bæresystemer i boligblokker med parkeringskjeller

- En studie med fokus på parkeringsutnyttelse og fundamentering

*I hvilken grad krever et bæresystem av stål og betong større fundament og flere søyler i underliggende parkeringskjeller, sammenlignet med et bæresystem av massivtre eller limtre? - Og i hvilken grad vil dette påvirke parkeringsutnyttelsen?*

Olve Aaberg  
Einar Bakken-Berg  
Tommy Sørli Adolfsen

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg  
Innlevert: mai 2019  
Veileder: Jan Steinar Egenes

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel:  Sammenligning av bæresystemer i boligblokk med underliggende parkeringskjeller – en studie med fokus på parkeringsutnyttelse og fundamentering	Dato: 20.05.2019 Antall sider i rapport: 88 Antall vedlegg: 23		
	Masteroppgave:		Bacheloroppgave x
Navn: Olve Aaberg Tommy Sørli Adolfsen Einar Bakken-Berg			
Veileder: Jan Steinar Egenes			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/ veiledere: Magne Bjertnæs, Sweco			

### Sammendrag

I denne rapporten sammenlignes bæresystemers egnethet for boligblokker med parkeringskjeller. Formålet er å kartlegge typiske tendenser ved bæresystemer som gir fordeler for parkeringsutnyttelsen og fundamenteringen av bygget. Undersøkelsen gjennomføres som avsluttende oppgave i studiet Byggingeniør, konstruksjon, ved NTNU Gjøvik og gjøres på oppdrag fra Sweco.

Undersøkelsen tar utgangspunkt i byggetrinn 3 av Mjøsparken i Ringsaker kommune. Den sammenligner følgende tre bæresystemer: (i) søylebjelkesystem av limtre med etasjeskille av Trä8, (ii) horisontalt og vertikalt skivesystem av krysslaminert tre, og (iii) søylebjelkesystem av stål med etasjeskille av prefabrikkert betong.

Metoden som ligger til grunn for rapporten er i all hovedsak en kvantitativ analyse bestående av beregninger og påfølgende vurdering av disse. Rapporten tar for seg et stort gyldighetsområde, hvor de ulike lastpåkjenningene gir et antall kvantitative og sammenlignbare data. For dimensjonering, simulering, beregning og modellering ble følgende programmer benyttet: Focus Konstruksjon, Maple, E-bjelke, BT-snitt, Lastberegning og Revit.

Med bakgrunn i funnene i rapportens analyse blir det konkludert med at et skivesystem av massivtre er det bæresystemet som gir mest gunstige fundamentstørrelser og best utnyttelse av parkeringskjeller. Det fremkommer to tydelige tendenser i rapporten. For det første skaper linjelast fra skiver et forbedret spillerom for å utforme bæresystem i parkeringskjeller, i motsetning til punktlaster fra søyler. For det andre bør man ved prosjektering av denne type kombinasjonsbygg ta hensyn til utnyttelse av parkeringskjeller tidlig i prosjekteringsfase – aller helst allerede ved fastsettelse av aksesystem for bærende vegger i boligbygget.

Stikkord:

Bæresystem
Tre
Betong
Stål
Parkeringsutnyttelse
Fundamentering

*Olve Aaberg*

---

Olve Aaberg

*Tommy S. Adolfsen*

---

Tommy Sørli Adolfsen

*Einar Bakken-Berg*

---

Einar Bakken-Berg

# Abstract

In this report the support systems suitable for apartment blocks with underground parking garage are compared. The purpose is to map typical tendencies in support systems which are beneficial for the utilization of parking space and the building of foundations. The examination is conducted as the final thesis in the program of Civil Engineering, Construction, at the NTNU in Gjøvik and is commissioned by Sweco.

The examination is based on boulding Stage 3 of Mjøsparken in Ringsaker municipality. It compares the following three support systems: (i) glued laminated timber beam and column systems with floor of Trä8, (ii) horizontal and vertical disc structures of cross laminated wood, and (iii) beam and column system of steel with prefabricated concrete slabs.

The underlying method of the report is chiefly a quantitative analysis consisting of calculations and the evaluation of these. The report deals with a large range of validity, where the various loads will provide a number of quantitative and comparable data. For designing, simulation, calculation and modeling, the following programs have been used: Focus Konstruksjon, Maple, E-bjelke, BT-snitt, Lastberegning and Revit.

Based on the findings of the analysis in the report, it is concluded that a disc structure of cross-laminated wood is the support system that provides the favorable sizes of foundation and the best utilization of underground parking space. The report shows that typical tendencies are that: (i) the line loads from discs create an improved clearance for designing support systems in underground parking, and that (ii) when designing this type of combination buildings, the utilization of parking basements should be taken into account in the early designing phase – preferably when determining the axis system for load-bearing walls in the residential building.

# Forord

Denne oppgaven er utformet og skrevet som en avsluttende oppgave for det 3-årige bachelorstudiet Byggingeniør, med fordypning i konstruksjon, ved NTNU i Gjøvik.

I tråd med et boligmarked som er under stadig utvikling, begynner mangelen på parkeringsplasser å melde seg. Dette, sett i sammenheng med at én parkeringsplass i Brumunddal er verdt rundt 200 000 kroner, er det forståelig at dette er en viktig post for byggherrer og eiendomsutviklere over hele landet.

Det er gjennomført et mindre antall kvantitative undersøkelser på i hvilken grad ulike bæresystemer påvirker parkeringsutnyttelsen i underliggende parkeringskjeller, dette er derfor noe dette studiet vil se nærmere på. Med parkeringsutnyttelse menes antall parkeringsplasser som er mulig å få presset inn, sett fra et økonomisk perspektiv, og ikke hvorvidt løsningen er lønnsom for generell ferdsel.

Vi vil rette en stor takk til intern veileder Jan Steinar Egenes for god veiledning og oppfølging gjennom hele semesteret. Videre vil vi takke oppdragsgiver og ekstern veileder, Magne Bjertnæs fra Sweco Lillehammer, for gode faglige innspill og idésparringer. Til slutt vil vi takke Andreas Lund fra HENT AS for tilgang til IFC- filer av byggetrinn 3, førsteamanuensis Anders Björnfot for veiledning på studiets forsknings- og datainnsamlingsmetode, og Magnus Ek Knutsen fra Spenncon for tilgang til og hjelp med dimensjonering av betongelementer i beregningsprogrammet «E-bjelke».

# Innholdsfortegnelse

Abstract .....	iv
Forord .....	v
Innholdsfortegnelse .....	vi
Figurliste.....	viii
Tabelliste .....	xi
Symboler og begreper .....	xiii
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	1
1.2 Problemstilling og formål.....	1
1.3 Disposisjon .....	2
1.4 Beskrivelse av prosjektet – studiets utgangspunkt.....	4
1.5 Avgrensinger og forutsetninger.....	7
2 Metode og materiale.....	9
2.1 Forsknings- og datainnsamlingsmetode – kvalitativ eller kvantitativ.....	9
2.2 Framgangsmåte – arbeidssteg .....	10
2.4 Baseringsgrunnlag for arbeidet .....	10
2.5 Dokumentasjon av arbeid.....	10
2.6 Prosjekteringsgrunnlag.....	11
2.6.1 Lastberegning.....	11
2.6.2 Brann-, risiko- og pålitelighetsklasse .....	12
2.7 Bæresystem i boligbyggene .....	13
2.8 Bæresystem i parkeringskjeller .....	13
2.9 Utarbeiding av parkeringsplasser .....	14
2.10 Grunnlag for vurdering av fundament.....	18
2.11 Programvarer og bruk.....	19
3 Teoretisk grunnlag.....	21
3.1 Hva er et bæresystem?.....	21
3.2 Konstruksjonsprinsipper for elementbygg .....	21
3.3 Bygningsmateriell og miljø.....	22
3.4 Aktuelle elementvalg for byggetrinn 3.....	23
3.5 Parkeringsplasser.....	28

4	Resultater.....	31
4.1	Felles .....	31
4.2	Bæresystem 1 .....	35
4.2.1	Laster som inngår i videre beregning .....	37
4.2.2	Bæresystem i bolig .....	37
4.2.3	Bæresystemet i parkeringskjeller .....	41
4.3	Bæresystem 2 .....	46
4.3.1	Laster som inngår i videre beregning .....	47
4.3.2	Bæresystem i bolig .....	47
4.3.3	Bæresystem i parkeringskjeller .....	49
4.4	Bæresystem 3 .....	56
4.4.1	Laster som inngår i videre beregninger .....	60
4.4.2	Bæresystem i bolig .....	60
4.4.3	Bæresystem i parkeringskjeller .....	63
4.5	Søyler i parkeringskjeller .....	68
4.6	Fundamentering.....	70
4.7	parkeringsplasser .....	73
5	Drøfting og konklusjon .....	75
5.1	Drøfting av metode.....	75
5.2	Drøfting av resultater .....	75
5.2.1	Tolkning av studiets resultater .....	75
5.2.2	Parkeringsutnyttelse .....	76
5.2.3	Tiltak som kan gjøres for bedre parkeringsutnyttelse .....	77
5.2.4	Verdien av parkeringsplasser .....	77
5.2.5	Fundamentering.....	78
5.3	Kan det generaliseres?.....	79
5.4	Feilkilder .....	79
5.5	Konklusjon .....	80
5.6	Forslag til videre arbeid.....	81
6	Vedlegg .....	83
7	Litteraturliste .....	85

# Figurliste

Figur 1.1 – Flytskjema for arbeidsgangen .....	4
Figur 1.2 – Fotoutsnitt av eiendom 1/385 fra kommunekart.com .....	5
Figur 1.3 – Situasjonssnitt av Mjøsparken.....	5
Figur 1.4 – Viser plan 6 før justering. Utsnitt fra Revit .....	6
Figur 1.5 – Viser plan 6 etter justering. Utsnitt fra Revit .....	6
Figur 2.1 – Visualisering av størrelse på parkeringsplass, netto- og bruttoareal .....	15
Figur 3.1 – Trä8-element .....	25
Figur 3.2 – HD-diagram: sammenhengen mellom spennvidde, bruksgrense og tverrsnittsdimensjon .....	25
Figur 3.3 – Hyllebjelke av type DLB .....	28
Figur 4.1 – Etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller. Visualisering fra 3D-modell fra bæresystem 3 .....	32
Figur 4.2a – Forklaringsfigur til tabeller fra Focus Konstruksjon .....	33
Figur 4.2b – Forklaringsfigur b til tabeller fra Focus Konstruksjon .....	33
Figur 4.3 – Beskrivende figur av lastplassering på DLB .....	34
Figur 4.4 – 3D-modell av Bæresystem 1. Utsnitt fra Revit .....	36
Figur 4.5 – Lastsituasjon for limtrebjelke .....	36
Figur 4.6 – Søypleplan i plan 1 med krefter for bæresystem 1 .....	41
Figur 4.7 – 1.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse G og I, bæresystem 1.....	42
Figur 4.8 – Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon, utsnitt fra E-bjelke .....	43
Figur 4.9 – 2.Lastsituasjon for DLB i akse B7, mellom akse E og I, bæresystem 1 .....	44
Figur 4.10 – Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon, utsnitt fra E-bjelke .....	45
Figur 4.11 – Søypleplan i parkeringskjeller for bæresystem 1. Utsnitt fra Revit .....	46
Figur 4.12 – 3D-modell av Bæresystem 2. Utsnitt fra Revit .....	47



Figur 4.13 – Søypleplan i plan 1 med krefter for bæresystem 2 .....	49
Figur 4.14 – 1.Lastsituasjon for DLB akse B4, mellom akse S og E', bæresystem 2 .....	50
Figur 4.15 – Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke .....	51
Figur 4.16 – 2.Lastsituasjon for DLB i akse B6, mellom akse E' og I, bæresystem 2 .....	52
Figur 4.17 – Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke.....	53
Figur 4.18 – 3.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse E' og I, bæresystem 2 .....	54
Figur 4.19 – Resultat for dimensjonering av DLB i 3.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke .....	55
Figur 4.20 – Søypleplan i parkeringskjeller for bæresystem 2. Utsnitt fra Revit .....	56
Figur 4.21 – 3D-modell av Bæresystem 3. Utsnitt fra Revit .....	57
Figur 4.22 – Avlesing av HD-diagram fra Spenncon .....	57
Figur 4.23 – Lastsituasjon for THP og EHP .....	58
Figur 4.24 – Tosidig hatteprofil (THP) .....	59
Figur 4.25 – Ensidig hatteprofil (EHP) .....	59
Figur 4.26 – Søypleplan i plan 1 med krefter for bæresystem 3 .....	63
Figur 4.27 – 1.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse E og G, bæresystem 3 .....	64
Figur 4.28 – Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke .....	65
Figur 4.29 – 2.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse D og G, bæresystem 3 .....	66
Figur 4.30 – Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke .....	67
Figur 4.31 – Søypleplan i parkeringskjeller for bæresystem 3. Utsnitt fra Revit .....	68
Figur 4.32 – Resultat for søyledimensjonering i parkeringskjeller, utsnitt fra BT-snitt .....	69
Figur 4.33 – Beregning for fundament i bæresystem 1. Utsnitt fra Maple .....	70
Figur 4.34 – Beregning for fundament i bæresystem 2. Utsnitt fra Maple .....	71
Figur 4.35 – Beregning for fundament i bæresystem 3. Utsnitt fra Maple .....	72
Figur 4.36 – Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 1. Utsnitt fra Revit .....	73

Figur 4.37 – Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 2. Utsnitt fra Revit ..... 74

Figur 4.38 – Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 3. Utsnitt fra Revit ..... 74

# Tabelliste

Tabell 2.1 – Beregningsstandarder .....	11
Tabell 2.2 – Risiko- og brannklasse for bolig(er) og parkeringskjeller .....	12
Tabell 2.3 – Pålitelighetsklasse for bolig(er) og fundament(er) .....	13
Tabell 2.4 – Bruttoareal per plass [ $m^2$ ] ved 90- graders biloppstilling .....	15
Tabell 2.5 – Bruksareal i leilighetskompleks A .....	16
Tabell 2.6 - Bruksareal i leilighetskompleks B .....	17
Tabell 2.7 - Bruksareal i leilighetskompleks C .....	17
Tabell 3.1 – Materialer som inngår i Trä8, med tilhørende tykkelser .....	24
Tabell 3.2 – Viser egenvekten [ $kg/m^2$ ] for de ulike tverrsnittdimensjonene .....	26
Tabell 3.3 – Viser egnethetsområdet for ulike profiler .....	27
Tabell 3.4 – Dimensjoner for spenntau og slakkarmering .....	28
Tabell 3.5 – Anbefalte bruksforhold for kjørebane .....	30
Tabell 4.1 – Felles nyttelaster for alle bæresystemene .....	31
Tabell 4.2 – Elementdimensjoner .....	35
Tabell 4.3 – Egenvekter for bæresystem 1 .....	37
Tabell 4.4 – Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 1 .....	38
Tabell 4.5 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 2 .....	38
Tabell 4.6 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 3 .....	38
Tabell 4.7 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 4 .....	39
Tabell 4.8 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 5 .....	39
Tabell 4.9 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 6 .....	40
Tabell 4.10 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 7 .....	40
Tabell 4.11 – Data som inngår i programmet E- bjelke for bæresystem 1, situasjon 1 ...	42

Tabell 4.12 – Data som inngår i programmet E- bjelke for bæresystem 2, situasjon 2 ...	44
Tabell 4.13 – Egenvekter for bæresystem 2 .....	47
Tabell 4.14 – Resultater fra Maple som viser linje- og punktlaster som angriper etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller .....	48
Tabell 4.15 – Data som inngår i programmet E- bjelke for bæresystem 2, situasjon 1 ...	50
Tabell 4.16 - Data som inngår i programmet E- bjelke for bæresystem 2, situasjon 2 ....	52
Tabell 4.17 - Data som inngår i programmet E- bjelke for bæresystem 2, situasjon 3 ....	54
Tabell 4.18 – Bjelke-, søyle- og dekkedimensjoner, samt valgt takkonstruksjon .....	58
Tabell 4.19 -Egenvekter for bæresystem 3 .....	60
Tabell 4.20 – Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 1 .....	61
Tabell 4.21 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 2 .....	61
Tabell 4.22 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 3 .....	61
Tabell 4.23 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 4 .....	62
Tabell 4.24 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 5 .....	62
Tabell 4.25 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 6 .....	62
Tabell 4.26 - Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 7 .....	63
Tabell 4.27 – Data som inngår i programmet E – bjelke for bæresystem 3, situasjon 1 ..	64
Tabell 4.28 – Data som inngår i programmet E – bjelke for bæresystem 3, situasjon 2 ...	66
Tabell 4.29 – Antall søyler under bygg B for bæresystem 1-3 .....	70
Tabell 4.30 – Oppsummering av fundamentsrelaterte resultater .....	72
Tabell 4.31 – Oppsummering av antall parkeringsplasser for bæresystem 1-3, og antall parkeringsplasser i optimal løsning .....	73
Tabell 5.1 – Oppsummering av antall søyler, antall parkeringsplasser og totalt fundamentareal under bygg B for bæresystem 1-3 .....	80

# Symboler og begreper

Pkt. – Punkt I standard/lovverk o.l.

Iht. – I henhold til

Spill – Noe som blir spilt: avfall, spill fra fabrikk (Spill, u.å)

NA – Nasjonalt tillegg

EK - Eurokode

$S_k$  – Karakteristisk snølast på mark

$q_k$  – Nyttelast i bygg, gitt ved kN per kvadratmeter

Bl.a. – blant annet

$h_1$  – Høyde på steg DLB

MPa – Megapascal

$\alpha_A$  – Arealreduksjonsfaktor

$\psi_0$  – Reduksjonsfaktor

$A_0$  – Standardverdi lik  $10,0 m^2$

A – Areal av belastet område

$\alpha_n$  – Etasjereduksjonsfaktor

$n$  – Antall etasjer



# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Sweco Lillehammer, i regi av sivilingeniør Magne Bjertnæs, foreslo temaet «*Ulike bære- og avstivningssystemers egnethet i kombinasjonsbygg – bolig og parkeringskjeller*» som en aktuell bacheloroppgave til NTNU. Som et av Norges ledende rådgivningsfirma i byggebransjen ser Sweco en stadig økende utfordring med utformingen av planløsningene til et bygg som kombinerer boliger og parkeringskjeller. Utfordringen kommer av at boliger og parkeringskjeller utformes med to ulike formål, og med det krever to ulike bæresystem for optimal utnyttelse. Disse bæresystemene legger til rette for ulike muligheter av parkeringsutnyttelse i kjelleren. Med tanke på at hver parkeringsplass har en høy økonomisk verdi, er dette noe som bør jobbes videre med. Det var derfor av vår interesse å se nærmere på dette, og valgte dermed å ta utgangspunkt i oppgaveforslaget.

Sweco trakk frem byggetrinn 3 i Mjøsparken som et aktuelt prosjekt for oppgaven. I byggetrinnet er det i skrivende stund planlagt tre boligbygg med én underliggende parkeringskjeller. En mer nøyaktig beskrivelse av bygget finnes under punkt 1.4, *Beskrivelse av prosjektet – studiets utgangspunkt*. Denne oppgaven vil være knyttet opp mot byggetrinn 3 som et eksempel, men bare i den grad at det er veiledende. Arbeidet vil ta utgangspunkt i en arkitekttegnet 3D-modell tilsendt fra entreprenørfirmaet HENT.

## 1.2 Problemstilling og formål

*I hvilken grad krever et bæresystem av stål og betong flere søyler i underliggende parkeringskjeller og større fundamenter, sammenlignet med et bæresystem av massivtre eller limtre? - Og i hvilken grad vil dette påvirke parkeringsutnyttelsen?*

Hovedproblemstillingen og formålet med denne oppgaven er å vurdere ulike bæresystemers egnethet i et kombinasjonsbygg. Kombinasjonsbygget er bestående av: tre 6- etasjers leilighetskompleks og én felles underliggende parkingskjeller. Disse bæresystemene skal så settes opp og vurderes mot: muligheten for optimal parkeringsutnyttelse og nødvendig fundamentering, og samtidig ta hensyn til miljøavtrykk.

Delmål:

- Etablere 3 ulike bæresystemer, hvor alle bygger på ulike prinsipper:
  - 1) Søylebjelkesystem av limtre
  - 2) Massivtre for både vertikal og horisontal bæring
  - 3) Søylebjelkesystem av stål, med hulldekker av betong.
- Komme frem til ett nødvendig bæresystem, av betongsøyler, i P-kjeller for de tre ulike bæresystemene i leilighetene.
- Sammenligne og vurdere de ulike løsningene opp mot en optimalisert parkeringsutnyttelse. Ut fra disse resultatene kan det gjøres en konklusjon på best egnet bæresystem for byggetrinn 3, men også tendenser for andre lignende byggeprosjekter.
- Finne nødvendige fundamenter for de tre bæresystemene.

## 1.3 Disposisjon

På side 3, under delkapittel 1.2 disposisjon, i dokumentet «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjekt- og masteroppgaver», gitt ut av NTNU, fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, institutt for bygg, anlegg og transport, står følgende:

«En hovedstruktur på vitenskapelige rapporter som er vanlig brukt er IMRaD formatet.»

Dette er retningslinjer for hvordan rapporten *kan* bygges opp, men ikke en bestemmelse på hvordan det *skal* være. Vi ser det hensiktsmessig i denne rapporten å bruke et format som ligner – nemlig ITMRaD. Det eneste som skiller disse to formatene er «T»- en som står for teori. Sistnevnte metode brukes i prosjekter hvor det er en nødvendighet å understreke aktuell teori for å begrunne hypoteser og tolke resultater. Beskrivelse av valgt metode vil komme før teorigrunnlaget i rapporten, dette begrunnes med at dette er en undersøkelse hvor metoden er bygget på tilgjengelig teori. Det er da naturlig å beskrive metoden, for så å komme med aktuell teori knyttet opp mot metodevalg. For å unngå synsing og for å opprettholde troverdighet i arbeidet vårt, ser vi på det som lønnsomt å ta utgangspunkt i ITMRaD-formatet. Dette er en relativt stor og omfattende studie, noe som vil føre til at det blir behov for å dele opp formatet i flere underkategorier.



Kapitlenes innhold:

Kapittel 2: Beskriver valg av fremgangsmetode for å løse oppgavens problemstilling.

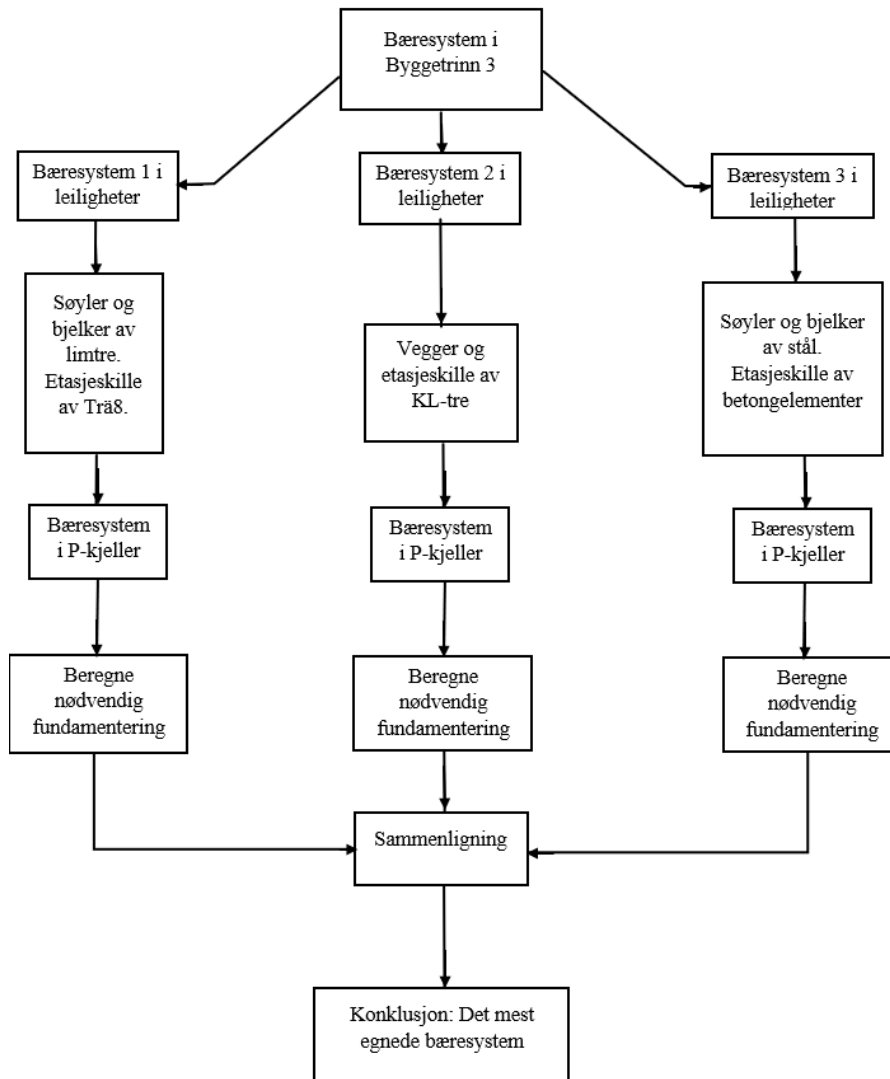
Det fremlegges også beregningsgrunnlag og beskrivelse av bygget, programvare, grunnlag for parkering og fundamentering.

Kapittel 3: I dette kapitlet presenteres grunnleggende teori for å sikre at leseren henger med på innholdet i rapporten. Det legges frem en mengde teori vi mener er nødvendig for en fullstendig forståelse av innholdet.

Kapittel 4: I dette kapitlet legges det frem resultater fra beregninger gjort i studien. Dette er resultater fra Focus Konstruksjon, E-bjelke, BT-snitt og Maple. Det fremlegges også illustrasjoner fra Revit der det fokuseres på søyleplassering.

Kapittel 5: I dette kapitlet finnes en diskusjon av resultatene fra kapittel 4. Det gjøres også en vurdering av metoden benyttet i studien. Kapitlet avsluttes med en konklusjon som svarer på problemstillingen.

Arbeidsgangen i denne rapporten er som flytskjemaet under viser:



Figur 1.1: Flytskjema for arbeidsgangen.

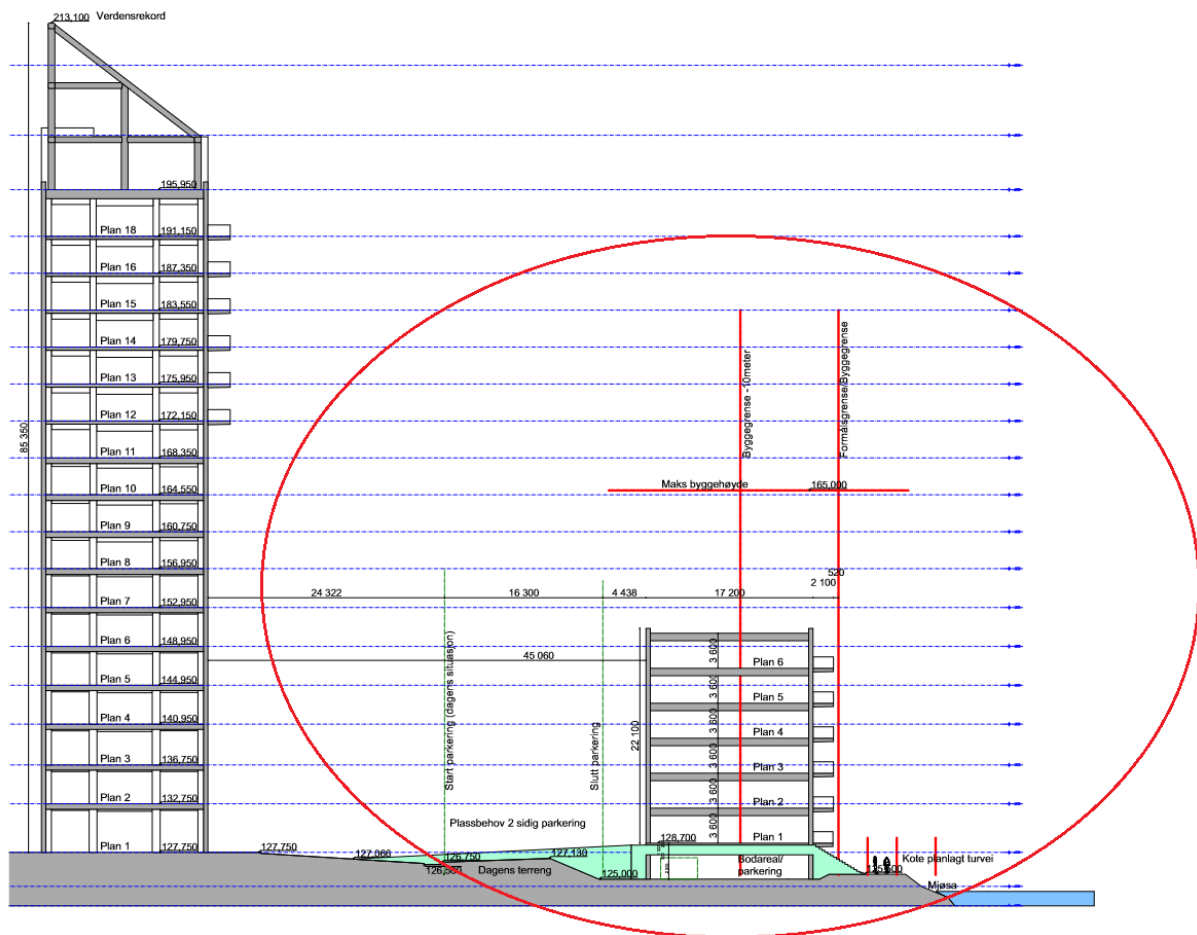
## 1.4 Beskrivelse av prosjektet – studiets utgangspunkt

Dette studiet tar for seg én del av ett større bygge- og utviklingsprosjekt i Brumunddal, Ringsaker kommune i Hedmark. Prosjektet i sin helhet er av Ringsaker kommune døpt «Mjøsparken». Tomten ligger sør for Mjøstårnet, rett ved Mjøsa. Byggestedet ligger 125 moh., eiendom 1/385. Adresse for bygg er *Tårnvegen 57, 2380 Brumunddal* (Kommunekart, 2019). Dette er et prosjekt satt i gang for å utvikle den gamle tømmerindustri tomte, «Sagtomta», til et av innlandets mest attraktive offentlige friområder (Norconsult, u.å). Mjøsparken består av tre byggetrinn: byggetrinn 1 er Mjøstårnet – verdens høyeste trehus, byggetrinn 2 er et svømmeanlegg med potensiale for energilagring, og byggetrinn 3 er tre

boligblokker over en parkeringskjeller, plassert helt nede ved vannkanten (Ringsaker kommune, u.å).



Figur 1.2: Foto av eiendom 1/385. Kilde: Kommunekart.com, kordinat 60,87735°N 10,93097°Ø

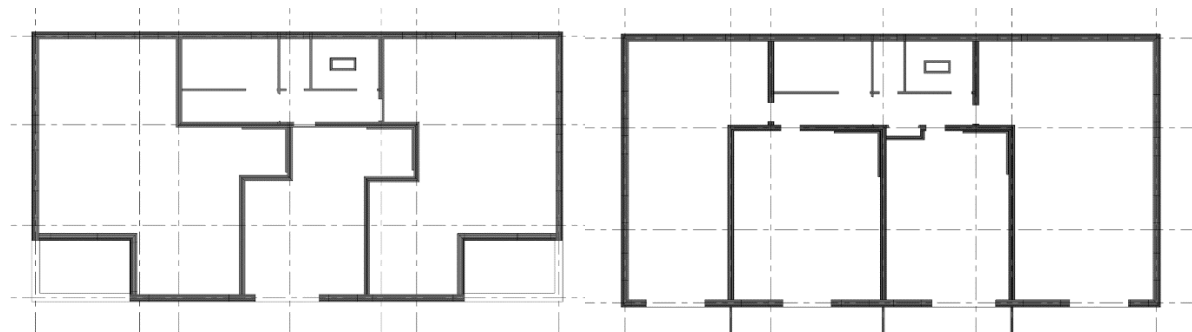


Figur 1.3: Situasjonssnitt av Mjøsparken, med en rød ring rundt byggetrinn 3. Tilsendt fra Magne Bjertnæs.

Byggetrinn 3 er utgangspunktet for dette studiet. Alle de tre boligbyggene er like. Byggene defineres som bygg A, B og C, fra vest til øst. Byggene er i seks etasjer, med leiligheter i alle plan. Plan 1 defineres som nedre etasje i boligbyggene, og er på terrengnivå.

### Planløsninger

Hver etasje har fire leiligheter. Originalt er byggene tegnet med ulik planløsning i plan 6, der planet har en terrasse i hvert hjørne på sørlig langvegg. Dette fører til en endring i innvendige bærevegger, men som en forenkling gjøres plan 6 likt som plan 1-5.



Figur 1.4 og 1.5: Viser plan 6, henholdsvis før og etter justering. Utsnitt fra Revit.

Takplan er tegnet med samme aksesystem som plan 6. Grunnet overnevnte forenkling, endres takplan på lik linje som plan 6. Det er fra arkitekt ikke tegnet inn tekniske installasjoner eller mulighet til adkomst på tak.

### Geometrien

Bygg A, B og C har samme geometri. Ytre mål for hvert bygg er  $29\,500\text{ mm} \times 14\,920\text{ mm}$  [bredde  $\times$  lengde]. Parkeringskjeller har ytre mål  $117\,758\text{ mm} \times 17\,220\text{ mm}$ , og et tillegg på  $4810\text{ mm}$  for boder på nordre langvegg. Byggene har en høyde på  $19\,200\text{ mm}$  fra plan 1, og parkeringskjeller  $2700\text{ mm}$  under plan 1.

### Muligheter for plassering og utforming av bæresystem

Byggene er tegnet med gjennomgående sjakter fra parkeringskjeller til og med plan 6. Dette er sjakter for trapp, heis og tekniske føringer, og de er plassert midt på nordre langvegg.

Veggene utnyttes til vertikal bæring.

Boligbyggene er preget av store vindusareal for å tilfredsstillte blant annet lyskrav.

Ytterveggene nord, øst og vest er tegnet med vindusfelt med god plass for bæring. Yttervegg sør er preget av særlig store vindusfelt, dette i sammenheng med utvendig balkonger på denne vegg, og at fasade er vendt mot Mjøsa.

Planløsningene i boligbyggene er tegnet med vertikale bærevegger som strekker seg parallelt med gavlveggene – byggets kortvegg. Bæreveggene er av arkitekt plassert i skillet mellom leilighetene. Dette er et naturlig valg da leilighetene skal være delt inn som egne brannceller. Branncellevegger skal konstrueres slik at de forhindrer spredning av branngasser og brann til andre celler (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Kravet medfører at veggene må konstrueres med en viss styrke, stivhet og tetthet. Dette gjør det mulig å utnytte veggene til plassering av bæresystemet.

Ved utforming av bæresystemet er det hensiktsmessig å tilstrebe korte spenn, både for bjelker og etasjeskiller. Korte spenn gir mindre momentbelastning, noe som videre tillater lavere tverrsnittshøyde. Dette kan begrunnes ved kombinert vurdering av bøyepenningsformel  $\sigma = \frac{M}{I} \cdot z$  (Bell, 2015b, s.83) og formel for moment i fritt opplagt bjelke med fordelt last  $M = \frac{q \cdot l^2}{8}$  (Bell, 2015a, s.122). I boligbygg, kontorbygg ol. stilles det ofte ønske om store vindusåpninger fra byggherre, kunde og arkitekt. Store vertikale lysåpninger i utsparinger gir minsket plass for plassering av horisontal bæring. Det er dermed hensiktsmessig å vurdere både material, spenn og konstruksjonsløsning for å unngå unødvendig plassbruk. Dette gjelder også parkeringskjeller, da det er ønskelig å overholde anbefalte mål for høyde 2.3 m (Kirkhus, 2015)

Konsekvensene ved korte spenn er hyppigere lastnedføringspunkter. Det er dermed ønskelig med en middelværdi der kombinasjon mellom tilfredsstillende spenn og gunstig plassering av lastnedføringspunkter. For dette prosjekt er særlig lastnedføring en kritisk del, da det er ønskelig å utnytte areal i parkeringskjeller på best mulig vis.

## 1.5 Avgrensinger og forutsetninger

Dette delkapittelet ses på som nødvendig da utviklingsprosjektet i Mjøsparken er under prosjektering samtidig som denne rapporten blir skrevet. Alt av beregningsgrunnlag og forutsetninger er derav ikke bestemt av oppdragsgiver. Forutsetninger utenom det som allerede er bestemt av prosjekterende vil gi mulighet for tolkninger som krever god argumentasjon. Videre vil dette være et informativt delkapittel hvor byggets utseende og hensikt blir klargjort, dette legger grunnlaget for de videre beregningene i oppgaven.

- 6. etasje er originalt utformet med en annen planløsning enn de resterende 5 etasjene. Det er i denne oppgaven gjort en forenkling/forutsetning ved å behandle

bæresystemene i alle leilighetsetasjer som identiske. Denne forenklingen brukes bare ved utarbeiding av bæresystemene og deres laster, og ikke for krav til f.eks. antall parkeringsplasser.

- P-kjeller ses på som en stiv «skoese» og leilighetene anses som avstivet vha. sjakt for heis, tekniske føringer mm.. Dette medfører at ytterligere hensyn til avstivning uteblir fra denne rapporten/studien.
- Beregninger av bygget vil kun skje for leilighetsbygg B. Dette fordi ingen av gavlveggene i dette bygget direkte understøttes av yttervegg i parkeringskjeller. Beregninger av bygg B får dermed med seg søyleplassering i akse B1 og B7 i parkeringskjeller.
- Standard parkeringsstørrelse. Dette forklares nærmere i delkapittel 3.5, krav til parkering.
- Tyngden til vinduer anses som like stor som massivtreveggen og det blir betraktet som ett system. Tyngden for fasadeveggene i stål/betong og limtre inngår i nyttelasten. Tar ikke hensyn til horisontale laster på bygget eller torsjon i bjelker, kun vertikal belastning.
- Søylar i boligbygg blir ikke dimensjonert, men tverrsnitt blir valgt ut fra tilgjengelig plass i bærevegger.
- Tar ikke hensyn til branndimensjonering, seismiske laster og skjevlaster. Ressursbruken i form av bygge- og produksjonstid tas ikke hensyn til i sammenligningen.
- For å sikre et godt sammenligningsgrunnlag blir takkonstruksjonen utformet likt for alle bæresystemene.
- I simuleringsprogram blir alle knutepunkter i konstruksjonen ansett som momentfrie ledd. Dette fordi kravene for nedbøyning blir strengere. 6.10b blir brukt i nedbøyingskravet som en forenkling, dette gir også strengere krav for nedbøyningen.
- Konstruksjonen vil i denne oppgaven kun simuleres i 2D, og ikke 3D. Dette begrunnes med at bruken av komplekse og digitale 3D-programmer er krevende, og det er minimalt med tid for å sette seg ordentlig inn i disse. Dette medfører at dimensjoneringen ikke baserer seg på et direkte samspill av bæreskjellet i bygget.

## 2 Metode og materiale

### 2.1 Forsknings- og datainnsamlingsmetode – kvalitativ eller kvantitativ

Denne rapporten baserer seg på en kvantitativ undersøkelse med beregninger og en vurdering av disse. Det er en undersøkelse som har til hensikt å se på: i hvilken grad et bæresystem av stål og betong krever flere søyler og større fundament i underliggende deler av konstruksjonen. Dette skal så videreføres ved å se på: i hvilken grad dette påvirker parkeringsutnyttelsen. Dette beskriver altså et stort gyldighetsområde, hvor de ulike lastpåkjenningene vil gi oss et stort antall kvantitative og sammenlignbare data. Denne typen data vil videre bli brukt til å fatte en konklusjon på problemstillingen, sammen med nødvendige forklaringer.

«Kvantitativ analyse, kvantitativ metode, er en undersøkelse som analyserer et stort antall enheter, som for eksempel land, personer eller bedrifter.» (Dahlum, 2018)

Begrunnelsen for en slik type forsknings- og datainnsamlingsmetode er å sikre kvantifiserbar data, slik at man minimerer faren for å basere konklusjonen på egne erfaringer og synsing. I tillegg vil eksakte tall være med på å øke påliteligheten. En annen fordel, og noe denne rapporten tilstreber, er å kunne generalisere. Dette innebærer å bruke de resultatene som fremkommer til noe spesifikt, men samtidig komme opp med ett sett av ulike og allmenne regler til senere bruk. De sammenligningene rapporten foretar seg vil kunne føre til framskaffelse av dokumenterte sammenhenger og tendenser.

«Å generalisere vil si å lage allmenne regler basert på sammenlikning av enkelttilfeller.» (NDLA, u.å.)

Det er i denne undersøkelsen, og i undersøkelser for øvrig, viktig å selektere ut riktig type kvantitative data. Dette for å sikre at oppgaven opprettholder høy grad av reliabilitet og at man finner svar på det man faktisk lurere på.

## **2.2 Framgangsmåte – arbeidssteg**

Første arbeidssteg var å komme opp med tre ulike bæresystemer for boligbygg B, disse omtales som bæresystem 1-3. Bæresystem 1 blir et søylebjelkesystem av limtre, med bruk av Trä8-element som etasjeskille. Bæresystem 2 blir KL-tre for både vertikal og horisontal bæring. Bæresystem 3 blir et søylebjelkesystem av stål, med etasjeskille av prefabrikkert betong.

Neste steg blir å utarbeide et nødvendig bæresystem i kjelleren for hvert av de overnevnte alternativene. Disse bæresystemene utformes med lik bruk av materialer. Dette blir søylebjelkesystem og etasjeskille i prefabrikkert betong. Dette med hensikt for å skape best mulig sammenligning av virkningen til overliggende bæresystem, der kun søyleplassering varierer.

Videre skal egnetheten til alle bæresystemene sammenlignes. Sammenligningskriteriene i denne rapporten vil være parkeringsutnyttelse (antall parkeringsplasser), nødvendige fundamenter og en liten vurdering av miljøavtrykk. Til slutt skal én løsning argumenteres for å være den beste, dette blir en konklusjon på rapportens problemstilling.

## **2.4 Baseringsgrunnlag for arbeidet**

Denne rapporten baserer seg i all hovedsak på faglitteratur innenfor byggteknikk, konstruksjonsteknikk, lastlære og mekanikk. Videre er relevant informasjon innhentet fra ulike fagmiljøer, fagpersoner og øvrig litteratur på internett. Det er etter beste evne tilstrebet informasjon fra relevante og gode kilder. Tolking og øvrige tanker som kommer frem under diskusjon er basert på faglig kunnskap tilegnet etter 3 år på studiet Byggingeniør ved NTNU i Gjøvik. Oppsett av oppgaven og faglig rådgivning danner grunnlaget for oppgaven, og er gitt av intern veileder, ekstern veileder og øvrige kontakter på NTNU.

## **2.5 Dokumentasjon av arbeid**

Gjennom hele arbeidsprosessen er arbeid dokumentert i form av ukesrapport, referat fra møter, og publisering av produsert arbeid. Dette er lagt ut og publisert i NTNU sin læringsplattform BlackBoard. På læringsplattformen er det også dokumentert spørsmål til veileder. Øvrig korrespondanse, slik som dialog med veileder fra Sweco, har foregått skriftlig gjennom e-post.



Vedlegg 2.1 er dokumentasjon av ukesarbeid. Dette er en tabell utformet og fylt ut gjennom semesteret for å dokumentere fremgang og utført arbeid. Dette vedlegget er i samsvar med ukereporter publisert i BlackBoard.

## 2.6 Prosjekteringsgrunnlag

Dette kapitlet har til hensikt å beskrive grunnlaget og metoden for prosjektering av bæresystemene i denne oppgaven.

### 2.6.1 Lastberegning

Lastberegninger i denne oppgaven baserer seg på fremgangsmetoder og krav fra NS-EN. Naturlaster som snø beregnes for hånd og vindlast blir beregnet gjennom programvaren *Lastberegning*, nyttelaster er hentet ut fra anbefalte verdier i NS-EN, og egenvekter overslagsberegnes for valgte løsninger. Verdier for laster, både egenlaster og nyttelaster, er gitt i kapittel 4.

Tabell 2.1:

*Beregningsstandarder.*

<b>Last</b>	<b>Baserer seg på</b>
Vind	NS-EN 1991-1-4:2005 <i>Laster på konstruksjoner Del 1-4: Allmenne laster Vindlaster</i>
Snø	NS-EN 1991-1-3:2003 <i>Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Allmenne laster Snølaster</i>
Nyttelast i etasje	NS-EN 1991-1-1:2002 <i>Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger</i>
Nyttelast på tak	NS-EN 1991-1-1:2002 <i>Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger</i>

Egenvekt	NS-EN 1991-1-1:2002 <i>Laster på konstruksjoner. Del 1-1: Allmenne laster Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger</i>
----------	--

Nyttelasten kommer fra tyngden på personer, skillevegger, møbler og andre inventarer som påkjerner gulv. Nyttelaster er ofte en verdi per kvadratmeter, men enkelte av de opptrer som punktlaster. Disse verdiene er gitt i tabell 6.2 fra NS-EN1991-1-1 (EK1) (Fallsen, 2011, s.17).

Lastene som er brukt i Focus Konstruksjon er håndberegnet i Maple. Alle laster som inngår i bruken av Focus Konstruksjon er beregnet etter metoder anvist i *Kompendium i faget Lastberegning* av Harald B. Fallsen. I beregningene er ligning 6.10b fra NS-EN 1990 (EK0) benyttet. Dette er formel for dimensjonering i bruddgrensetilstand. Lastene er beregnet etter denne ligningen da 6.10b er dominerende overfor den alternative ligningen 6.10a. Som beskrevet i forenklinger er også ligning 6.10b benyttet ved vurdering av forskyvinger i Focus Konstruksjon. Dette er en konservativ forenkling da bruksgrensesituasjon er «snillere» enn bruddgrensesituasjonen.

## 2.6.2 Brann-, risiko- og pålitelighetsklasse

Ved bestemmelse av tverrsnittsdimensjon av hulldekker er det aktuelt å kjenne til hvilken pålitelighets-, risiko- og brannklasse byggetrinnene faller innunder. Aktuelle bygningsdeler og tilhørende klasser fremstilles i underliggende tabell:

Tabell 2.2:

*Risiko- og brannklasse for bolig(er) og parkeringskjeller. (kilde: TEK17, § 11-2 og § 11-3).*

Byggedel	Risikoklasse	Brannklasse
Bolig	4	3
Parkeringskjeller	2	3*
* TEK17 §11-3 <i>preaksepterte ytelses</i> pkt.2 «[I byggverk med blandet bruk] ... underliggende etasje må ha brannklasse minst som overliggende etasje.»		

Tabell 2.3:

Pålitelighetsklasse for bolig(er) og fundament. (kilde: NS-EN 1990:2002, pkt. NA.A 1.3.1 (901) og tabell NA.A1 (901)).

Byggedel	Pålitelighetsklasse iht. NA.A1 (901)
Boligbygg	2
Fundament	1

## 2.7 Bæresystem i boligbyggene

Hensikten med dimensjonering av bæresystemene i boligbygget er å finne størrelsen av lasten, og posisjonen til lastnedføringen i plan 1. For bæresystem 1 og 3, henholdsvis søylebjelkesystem av limtre og stål, er særlig posisjoneringen interessant. Dette fordi vekten av bæresystem 1 og -3 påkjenner parkeringskjeller med store punktlaster. For å finne posisjonen til lastnedføringen må senteravstanden til søylene bestemmes. Senteravstanden avhenger av spennlengden til bjelken. Det velges dermed å benytte programmet Focus Konstruksjon til å etablere 2D-modeller av bæresystemet i aksene der vurdering av bjelkens maksimale spenn forekommer. Maksimalt spenn bestemmes ut fra kapasitetsutnyttelsen til bjelken for skjærspenning, bøyespenning og nedbøying. Hovedfokuset er lagt til bjelkene. Det er ikke tatt særlig hensyn til kapasitetskontroll av søylene.

For bæresystem 2, massivtre, vil lasten gå som en linjelast i aksene. Her vurderes derfor kun spenn til horisontale massivtreelementer, der lastene av overliggende etasjer summeres ned til angripende linjelast i plan 1. Kriterier for bjelkedimensjonering: kapasitetskontroll skal ikke overstige 1,0 i utnyttelsesgrad.

## 2.8 Bæresystem i parkeringskjeller

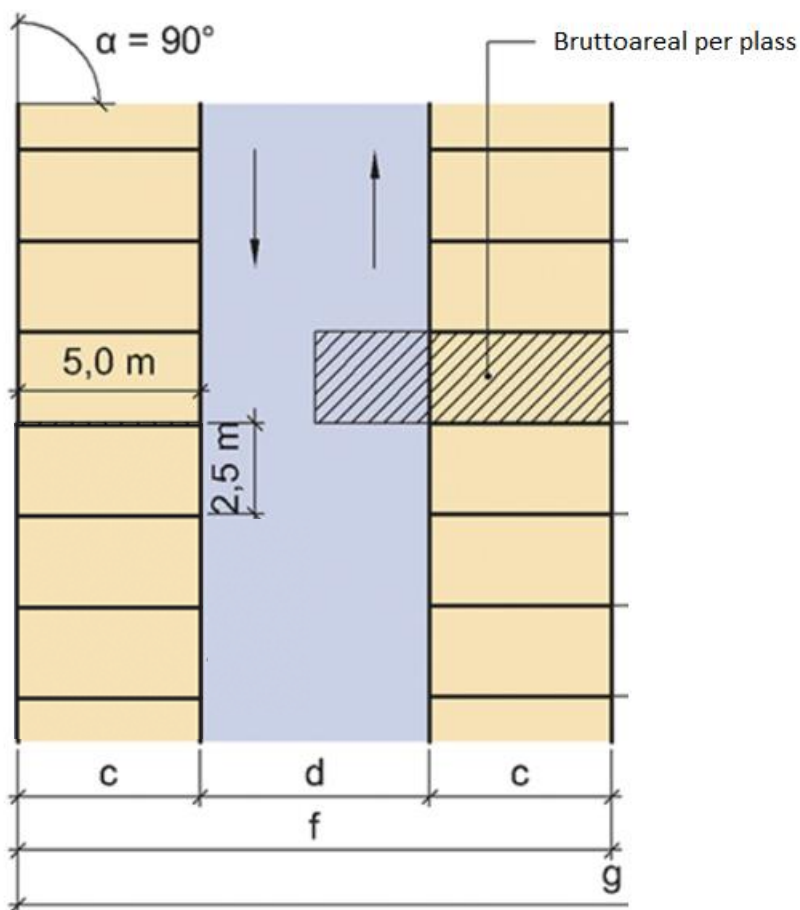
Hensikten med dimensjonering av bæresystemet i parkeringskjeller er: (i) sikre tilstrekkelig lastnedføring fra boligbygg, via parkeringskjeller, ned til fundament og (ii) utforme bæresystemet i parkeringskjeller for best mulig arealutnyttelse. For best mulig lastnedføring til grunnen vurderes søyledimensjon og senteravstanden til søylene. Søyledimensjonering blir utført i programmet BT-snitt der det tas utgangspunkt i den absolutt største punktlaster fra

bæresystemene. For å finne og etablere senteravstanden mellom søylene, dimensjoneres DLB i programmet E-bjelke. Det tas, i hvert bæresystem, utgangspunkt i den hardest belastede aksens. Det er viktig å merke seg at vurdering av DLB baserer seg på resultatene fra lastberegning og lastnedføring i boligbyggene. For hver akse vil flere lastsituasjoner bli vurdert og beregnet. Lastsituasjonene utformes med hensyn til utnyttelse av parkeringskjeller. Maksimalt spenn prøves mot kapasitetsutnyttelsen til bjelken for skjærspenning, bøyespenning, riss og nedbøying. Kriterier for bjelke dimensjonering: kapasitetskontroll skal ikke overstige 1,0 i utnyttelsesgrad.

Bjelkene i parkeringskjelleren skal dimensjoneres for egenvekten til bjelkene, last fra overliggende bygg, egenvekten til hulldekket og nyttelast i plan 1. Som vist i delkapittel 1.4, Beskrivelse av prosjektet – studiets utgangspunkt, er parkeringskjelleren bredere enn boligbygget. Dette kommer av at veggene til parkeringskjelleren er plassert under endekant av balkong i akse S, mens fasadeveggen, i akse D, ligger 2,23 m lengre inn. Dermed blir bjelken belastet av nyttelast for bolig i alle delene unntatt mellom akse S og D. Mellom akse S og D blir bjelken belastet av nyttelast kategori A *balkonger og verandaer* med jevnt fordelt last  $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$ . I området mellom byggene blir bæresystemet i parkeringskjeller kun belastet av egenvekten til bæresystemet – samt nyttelasten av utendørsarealet. Nyttelast for uteareal settes til kategori C2 med jevnt fordelt last  $q_k = 4,0 \text{ kN/m}^2$ . Snølast,  $S_k$ , er ikke medregnet over fellesområde da det antas at denne lasten ikke opptrer samtidig som belastningen fra folkemasser.

## 2.9 Utarbeiding av parkeringsplasser

Denne rapporten har valgt å basere seg på en standard nettostørrelse lik 2,5 x 5,0 m for parkeringsplassene. Dette er verdier som står beskrevet i SINTEF Byggforsk, se figur og tabell under.



Figur 2.1: Visualisering av størrelse på parkeringsplass, netto- og bruttoareal. Redigert figur, hvor originalen er hentet fra SINTEF. (kilde: SINTEF Byggforsk, 2015).

Tabell 2.4:

Bruttoareal per plass [ $m^2$ ] ved 90- graders biloppstilling (kilde: SINTEF Byggforsk, 2015).

a °	c m	d m	e m	f m	Bruttoareal per plass <sup>1)</sup> $m^2$
45	5,30	4,10	3,54	14,70	22,86
60	5,60	4,15	2,89	15,35	20,35
70	5,55	4,25	2,66	15,40	19,35
80	5,35	5,00	2,54	15,70	19,37
90	5,00	6,30	2,50	16,30	20,37

Ved å ta i bruk denne forutsetningen innebærer det at det ikke blir tatt hensyn til andre typer parkering, eksempelvis parkering for funksjonshemmede, el- bilister, sykler mm. Dette

begrunnes med undersøkelsens hensikt, nemlig å se på hvor mange P-plasser det er mulig å legge til rette for. Sammenligningsgrunnlaget er det essensielle her.

*«For parkeringsgarasjer er det oftest bæresystemet og spennviddene som avgjør hvilke oppstillingsvinkler og plassbredder som er mest hensiktsmessig.» (SINTEF Byggforsk, 2015)*

P- kjelleren forutsettes enveiskjørt, med parkeringsplasser oppstilt vinkelrett langs hver langvegg. Dette begrunnes med P-kjellerens geometri og for å tidlig fastsette en forutsetning som skal være lik for alle alternativene. Parkeringsplasser med vegg på en side vil være 2,8 m bred. Parkeringsplasser som er avgrenset av søyler vil få et tillegg i bredde lik søylens bredde/diameter. Søyler som er plassert i sonen ved dørene til bilen, skal plasstillegget være likt som for vegg.

Under er en oversikt over leilighetene og deres størrelser:

Tabell 2.5:

*Bruksarealer i leilighetskompleks A.*

Buliding	Room Number	Room Type	Level	Area	Comments
A	A101		PLAN 1	114 m2	
A	A102		PLAN 1	60.13 m2	
A	A103		PLAN 1	73.784 m2	
A	A104		PLAN 1	85.5 m2	
A	A201		PLAN 2	114 m2	
A	A202		PLAN 2	60.13 m2	
A	A203		PLAN 2	73.784 m2	
A	A204		PLAN 2	85.5 m2	
A	A301		PLAN 3	114 m2	
A	A302		PLAN 3	60.13 m2	
A	A303		PLAN 3	73.784 m2	
A	A304		PLAN 3	85.5 m2	
A	A401		PLAN 4	114 m2	
A	A402		PLAN 4	60.13 m2	
A	A403		PLAN 4	73.784 m2	
A	A404		PLAN 4	85.5 m2	
A	A501		PLAN 5	114 m2	
A	A502		PLAN 5	60.13 m2	
A	A503		PLAN 5	73.784 m2	
A	A504		PLAN 5	85.5 m2	
A	A601		PLAN 6	114.125 m2	
A	A602		PLAN 6	60.818 m2	
A	A603		PLAN 6	128.501 m2	
SUM				1970.514 m2	

Tabell 2.6:

*Bruksarealer i leilighetskompleks B.*

Buliding	Room Number	Room Type	Level	Area	Comments
B	B101		PLAN 1	114 m2	
B	B102		PLAN 1	60.13 m2	
B	B103		PLAN 1	73.784 m2	
B	B104		PLAN 1	85.5 m2	
B	B201		PLAN 2	114 m2	
B	B202		PLAN 2	60.13 m2	
B	B203		PLAN 2	73.784 m2	
B	B204		PLAN 2	85.5 m2	
B	B301		PLAN 3	114 m2	
B	B302		PLAN 3	60.13 m2	
B	B303		PLAN 3	73.784 m2	
B	B304		PLAN 3	85.5 m2	
B	B401		PLAN 4	114 m2	
B	B402		PLAN 4	60.13 m2	
B	B403		PLAN 4	73.784 m2	
B	B404		PLAN 4	85.5 m2	
B	B501		PLAN 5	114 m2	
B	B502		PLAN 5	60.13 m2	
B	B503		PLAN 5	73.784 m2	
B	B504		PLAN 5	85.5 m2	
B	B601		PLAN 6	114.125 m2	
B	B602		PLAN 6	60.818 m2	
B	B603		PLAN 6	128.501 m2	
SUM				1970.514 m2	

Tabell 2.7:

*Bruksarealer i leilighetskompleks C.*

Buliding	Room Number	Room Type	Level	Area	Comments
C	C101		PLAN 1	114 m2	
C	C102		PLAN 1	60.13 m2	
C	C103		PLAN 1	73.784 m2	
C	C104		PLAN 1	85.5 m2	
C	C201		PLAN 2	114 m2	
C	C202		PLAN 2	60.13 m2	
C	C203		PLAN 2	73.784 m2	
C	C204		PLAN 2	85.5 m2	
C	C301		PLAN 3	114 m2	
C	C302		PLAN 3	60.13 m2	
C	C303		PLAN 3	73.784 m2	
C	C304		PLAN 3	85.5 m2	
C	C401		PLAN 4	114 m2	
C	C402		PLAN 4	60.13 m2	
C	C403		PLAN 4	73.784 m2	
C	C404		PLAN 4	85.5 m2	
C	C501		PLAN 5	114 m2	
C	C502		PLAN 5	60.13 m2	
C	C503		PLAN 5	73.784 m2	
C	C504		PLAN 5	85.5 m2	
C	C601		PLAN 6	114.125 m2	
C	C602		PLAN 6	60.818 m2	
C	C603		PLAN 6	128.501 m2	
SUM				1970.514 m2	

For kravene i kommuneplanen i Ringsaker er det totalt 18 boliger som faller under kravet på boenhet 40 -70 m<sup>2</sup>, disse har krav på én parkeringsplass hver. De resterende 51 boligene faller inn under boliger > 70 m<sup>2</sup>, med krav om 2 parkeringsplasser hver.

$$\text{Totalt ant. } P - \text{plasser} = 51 \cdot 2 + 18 \cdot 1 = 120 \text{ plasser}$$

## 2.10 Grunnlag for vurdering av fundament

Beregning av fundamentering baserer seg på kompendiet «*Dimensjonering av betongkonstruksjoner etter Norsk Standard (Eurokode 2)*» av Harald B. Fallsen. Fokuset for beregningene er å se på forskjellen mellom fundamentene for de tre bæresystemene. Tyngden av de forskjellige bæresystemene er ulike, samtidig med plasseringen og antall søyler. Vekten av bæresystemet i parkeringskjelleren vil ikke medregnes. Dette for å fremme differansen mellom de tre systemene, uten forstyrrelser. Resultatene som skal legges frem er forskjellen i det totale fundamentareal for de ulike bæresystemene.

### Formel for fundamentbestemmelse:

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} \quad (\text{Fallsen, 2017, s. 9-1})$$

Der  $\sigma_{Ed}$  settes til 250 kN/m<sup>2</sup>. Verdien er gitt etter anbefalinger fra intern veileder Jan Steinar Egenes.

### Forenklinger og forklaring

Bygg B blir brukt som sammenligningsgrunnlag for de tre alternativene – resultatene fremkommer kun for fundamentering av bygg B. Valget tas fordi det ønskes å fremme forskjellen i bæresystemene for de tre ulike alternativene. All utregning for fundamentering er gjort i Maple, se vedlegg 2.2

Punktlastene som inngår i fundamentberegninger er de samme som benyttes til bestemmelse av bæresystem i parkeringskjeller. Disse fremlegges i kapittel 4.2, 4.3 og 4.4. Fundamentene blir altså kun påført krefter fra boligbygg B. Dette vil si de krefter som angriper plan 1.

Krefter som kommer fra parkeringskjeller vil ikke bli tatt med i beregningen. Dette er krefter som: egenvekten til DLB, søyler og hulldekker, samt nyttelaster fra fellesareal og balkong.

Denne metoden medfører muligheten til sammenligning av innvirkningen bæresystemene i boligbygget har på fundamenteringen, uten forstyrrelser fra parkeringskjelleren i seg selv.

For hvert bæresystem beregnes ett fundament. Punktlasten som angriper fundamentet,  $N_{Ed}$ , er en gjennomsnittsverdi som fremkommer på følgende måte:

$$N_{Ed,i} = \frac{\sum \text{punktlaster som angriper plan 1}}{\sum \text{antall søyler i parkeringskjeller}} \text{ [kN]}$$



## 2.11 Programvarer og bruk

Dette kapittelet har til hensikt å beskrive programvarer som er benyttet på veien mot studiets konklusjon.

### **Autodesk Revit**

For 3D-modellering, tolking og planlegging av plantegninger og geometriske løsninger er programmet Autodesk Revit, versjon 2019, benyttet. Programmet er utviklet av, og tilgjengelig for NTNU-studenter gjennom Autodesk. Programmet er et Building Information Modeling program (BIM), og er velegnet til å tegne, modellere og tolke geometrien til bygninger. Hensikten med bruk av programmet er å kunne lese IFC-modell av byggetrinn 3.

### **Lastberegning**

For beregning av vindlast, og kontroll av snølast, er programvaren Lastberegning, versjon 6.2.4, benyttet. Dette er et program utviklet av Sletten Byggdata AS og er tilgjengelig for NTNU sine studenter gjennom Focus Software AS. Hensikten med bruk av programmet er å unngå menneskelige feil ved beregning av vindlast og snølast som påkjenner bygg A, B og C i byggetrinn 3. Særlig vindlast er en omfattende beregning. Lastberegning, versjon 6.2.4, er basert på NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008 for snølast og NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 for vindlast.

### **BT-snitt**

For beregning av søyler i parkeringskjeller er programvaren BT-snitt, versjon 6.3.6, benyttet. Dette er et program utviklet av Sletten Byggdata AS og er tilgjengelig for NTNU sine studenter gjennom Focus Software AS. Hensikten med bruk av programmet er en hurtig kontroll av nødvendig tverrsnitt for sirkulær betongsøyle påkjent av en trykkraft. Håndberegning av samme situasjon ville vært tidkrevende. Det nødvendige tverrsnittet har en innvirkning på valg av parkeringsplasser og er med det nødvendig å fastsette. BT-snitt, versjon 6.3.6, legger NS-EN 1992-1-1 og NS-EN 1990:2002+NA:2008 til grunn ved beregninger.

### **E-bjelke**

For beregning av betongbjelker i etasjeskille mellom plan 1 og parkeringskjeller er programvaren E-bjelke, versjon 6.5.8, benyttet. Dette er et program utviklet av Sletten

Byggdata AS og er tilgjengelig for NTNU sine studenter gjennom Focus Software AS. Ved spørsmål og hjelp i programmet har brukerstøtten til Focus Software vært behjelpelige.

Programmet er som nevnt benyttet til dimensjonering av betongbjelker. Betongbjelkene, av typen DLB, er nødvendig å dimensjonere for å finne ønskede spenn. Bjelkene er påkjent av punktlast og/eller jevnt fordelt last. Spennet til DLB er avgjørende for søyleplassering i parkeringskjeller, og videre utarbeiding av optimalt parkeringsareal. E-bjelke, versjon 6.5.8, legger NS-EN 1992-1-1 og NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 til grunn ved beregninger.

### **Focus Konstruksjon**

Focus Konstruksjon, versjon 2019, er benyttet for å utarbeide bærekonstruksjonen.

Programmet blir levert av Focus Software og er gjort tilgjengelig for studenter ved NTNU i Gjøvik som studerer byggingeniør - konstruksjon. Programmet er utviklet for å beregne små og store konstruksjoner i ulike materialer. Programmet baserer seg på elementmetoden og er velegnet for både enkle og komplekse konstruksjoner. Det er mulighet for 3D-modellering og dimensjonering i programmet, men denne oppgaven benytter seg kun av 2D- modellering. Dette fordi modellering er enklere og minsker graden av feilkilder ved lastnedføring og fordeling. Hensikten med bruken av programmet er å finne senteravstand for søyler ved vurdering av utnyttelse i bjelke ol.

### **Maple**

Maple, versjon 2018, er benyttet for å utarbeide og beregne laster. Programmet er utviklet av MapleSoft og er et avansert matematisk regneprogram som er utviklet for å være særlig brukervennlig til å analysere, utforske, visualisere og løse matematiske beregninger og problemer. Programmet er tilgjengelig for studenter gjennom NTNU sine nettsider. Maple fungerer meget bra ved kombinasjon av mange like beregninger, med ulike parametere. Sjansen for menneskelige feilkilder, som skrivefeil og tastefeil, blir eliminert ved bruk av digitale verktøy. Dette gir økt sikkerhet for riktig dimensjonering i konstruksjonen.

## 3 Teoretisk grunnlag

Dette kapitlet har til hensikt å belyse teorien som ligger til grunn for studien. Alt av beregninger og planlegging baserer seg på teorien fremlagt i dette kapitlet.

### 3.1 Hva er et bæresystem?

Tidligere fagansvarlig ved NTNU, Jan Vincent Thue, beskriver et bæresystems formål på følgende måte: «[...] bærekonstruksjoner skal sørge for at de laster og krefter som huset utsettes for, kan opptas og overføres ned til grunnen med tilstrekkelig sikkerhet mot sammenbrudd.» (Thue, 2019)

Videre beskriver han systemets oppbygging på følgende måte:

Bæresystemet består av 1) horisontale bærende deler i takkonstruksjoner, etasjeskillere og i overdekninger over vinduer og dører, som ved bjelke-, plate-, bue- eller hvelvvirkning overfører kreftene til sine understøttelser: 2) vertikalt bærende deler i form av stopler, søyler eller bærevegger, som overfører kreftene som trykkrefter ned til grunnen via fundamentene: og 3) de avstivende elementene som skal gi konstruksjonen sideveis stabilitet, slik at horisontale krefter ikke fører til sideveis forskyvning eller velting.

(Thue, 2019)

### 3.2 Konstruksjonsprinsipper for elementbygg

Elementbaserte bygninger utformes vanligvis med to ulike konstruksjonsprinsipper. Det skilles i hovedsak mellom skjelettsystemer og skivesystemer. Bygningstyper som boliger, landbruksbygg og hallbygg er ofte konstruert med skiver. Det skilles mellom horisontale og vertikale skiver, der det er et samspill mellom dem – vertikale skiver bærer de horisontale. Skjelettsystemer er et bæresystem av søyler, bjelker og dekker. Her går de store lastene i bygget gjennom bæresystemet uten å påkjenne vegger og fasader. Skjelettsystemene er særlig viktig å stive av. Dette kan gjøres gjennom å avstive kjerner, stive av søyler, vindkryss og/eller skivevirkninger. Systemene er mest brukt i haller og fleretasjes bygg (Thue, 2009).

### 3.3 Bygningsmaterieil og miljø

Resultatene i dette studiet bygger i mindre grad på miljøperspektivet til konstruksjonene. Det velges likevel å trekke frem miljøteori, ikke bare fordi miljø er et viktig tema, men også fordi Ringsaker kommune og Mjøsparken ønsker å fokusere på kortreiste materialer og bærekraftig materialbruk.

Stål, betong og trevirke er tre ulike materialer som er vanlig brukt i bygningers bæresystem. De har alle ulike egenskaper. Dette kapittelet vil fokusere på typiske trekk ved materialene og i hvilken grad de påvirker miljøet rundt oss. Veidekkes samfunnsrapport fra 2011 konkluderte med følgende: «Byggebransjen står for ca 40 % av alt energiforbruk i Norge, 40 % av alt materialforbruk, generer 40 % av alt avfall, og rundt 13 % av Norges totale CO<sub>2</sub>-utslipp.» (Veidekke, 2011). I dette studiet er miljøfokusert rettet mot produksjonsutslipp og spill.

#### Stål

Stål produseres i mange varianter og er en legering av blant annet grunnstoffet jern. Konstruksjonsstål er en av de mest produserte ståltypene på markedet. Stål fremstilles gjennom fire prosesser: fersking, desoksidasjon og legering, utstøping og valsing – noe som er en energikrevende prosess (Christensen og Almar-Næss, 2019). Primærenergibehovet til fremstilling av stål er på om lag 8000-10500 kWh/tonn. Dette gjør stål til ett av de mest energikrevende materialene å fremstille (Sandvik, 2003, s.23-24). Stål tilbys på markedet med gunstige priser, og i forhold til egenvekt har stålet høy styrke. Stål er 100 % resirkulerbart, og veldig lite går til spille ved produksjon (Jern og stål, u.å).

#### Betong

Betong består av delmaterialene sement, vann, tilslag og eventuelle tilsetningsstoffer. Betong er det byggemateriale som i vår tid er mest benyttet per volum (Sandvik, 2003, s.35). For mest mulig rasjonell fremdrift på byggeplass er prefabrikkerte betongelementer et godt produkt. Dette kan blant annet være prefabrikkerte søyler, bjelker og dekker (Sandvik, 2003, s.40-41). Les mer om Hulldekker (HD) under delkapittel 3.4, *Aktuelle elementvalg for byggetrinn3*. Et av hovedmaterialene i betong, selve bindemiddelet, er sementen. Fremstilling av denne er en energikrevende prosess da den må brennes på 1400-1500 grader celsius. Energikilden i Norge er primært kull, propan, spillolje og organisk spesialavfall (Årtun og Nesse, 2018). Det anslås at uarmert betong krever et primærenergibehov på ca. 550 kWh/tonn (Sandvik, 2003, s.24).

I motsetning til stål og betong er trevirke et rent råmateriale og ikke minst en fornybar resurs. Trevirke er forholdsvis enkel å gjenbruke og kan brennes som avfall uten særlige uheldige utslipp (Ekeli, 2003, s. 68). I forhold til egenvekt har trevirke høy styrke, noe som gjør tre som konstruksjonsmateriale velegnet til fleretasjes bygg. Denne egenskapen medfører også ofte enklere fundamentering (TreFokus a, u.å). Forutsatt at virket kommer fra sertifisert og bærekraftig skog, er trevirke ett av de mest miljøvennlige byggematerialene. Treindustrien har lavt forbruk av fossilbar energi og bearbeider virket ressurseffektivt. Produksjonen består av saging, høvling og videreformidling. Spill som bark, sagflis og spon blir brukt som bioenergi. Slik utnyttes tømmeret helt ut (TreFokus b, u.å).

### **3.4 Aktuelle elementvalg for byggetrinn 3**

Dette delkapittelet tar for seg en beskrivelse av ulike elementtyper egnet for bærekonstruksjonene i byggetrinn 3. Hensikten med delkapittelet er å gi en teoretisk beskrivelse av: oppbygningen til elementet, teknisk data og hva elementet er egnet for.

#### **Limtre**

Limtre er laminert treverk og er vanlige konstruksjonselement som blant annet søyler, bjelker og buer. Limtre fremstilles ved at lameller limes sammen (Limtre, 2009). Elementet består av minimum to lameller, med minimum tykkelse 6 mm og maksimum tykkelse 45 mm, der fiberretningen skal være sammenfallende med spennlengden – definert av EN14080 (Norske Limtreprodusenters forening, 2015, s.5). For rette bjelker av gran brukes det normalt 45 mm tykke lameller i Norge, men 33 mm tykke lameller for furu (Bell, 2017, s.99). Limtreelementet kan bygges opp av lameller med samme kvalitet. Dette kalles homogent limtre og betegnes med indeks  $h$  i limtreets styrkeklasse. For bjelker er det vanlig å plassere lameller med høy kvalitet ytterst i elementet, og lameller med lavere kvalitet inn mot tverrsnittssenter. Disse betegnes med indeks  $c$  (Norske Limtreprodusenters forening, 2015, s.7 og s.13). Lamellene i elementet limes sammen med MUF-lim. Dette er en limtype av stoffene Melamin, Resorcinol og Formaldehyd. Dette er lim godkjent for alle klimaklasser, og gir sterke og bestandige limfuger (Norsk Limtreprodusenters forening, 2017, s.15). Teknisk data fra Moelven limtre angir densiteten til limtre i styrkeklasse GL30c til  $470 \text{ kg/m}^3$  (Moelven Limtre, 2018, s.3).

#### **Massivtre**

Massivtre er elementer laget av sammenkoblede lag med lameller av trevirke. Lamellagene er organisert slik at fiberretningen er lagt vinkelrett på hverandre. Lagene er limt, plugget,

skrudd eller spikret sammen. Elementene har stor styrke og er godt egnet både som bærende vegger og etasjeskiller (TreFokus c, u.å). Vanlig elementtykkelse ligger mellom 95 mm og 240 mm (Egenes, 2018). Egenvekten til massivtre settes til  $0,5 \text{ kN/m}^3$  (SINTEF Byggforsk, 2013).

## Trä8

Trä8 er et prefabrikkert treelement, utviklet som etasjeskille. Elementet består av en endetverrbjelke og topplade av Kerto-Q. Kerto-Q er en finérbjelke som produseres av Metsä Wood i Finland. Trä8 har gode avstivningsegenskaper og høy styrke. Topplaten er av Kerto som er – i forhold til limtre, vanlig konstruksjonsvirke og I-bjelker – et sterkere materiale (Moelven, 2015). I bjelkelaget og underflens er det benyttet splittet limtre. For å få ønsket stivhet og statisk samvirke i dekket limes topplaten, bjelkelaget og underflensen sammen (vedlegg 3.1). Elementene blir produsert i en bredde på  $2,4 \text{ m}$ , dette kommer av produksjonsbredden til Kertoplatene. Høyden på dekket blir bestemt av valgt tverrsnitt i bjelkelaget. Typisk høyde er  $360 \text{ mm}$  og kan økes ved tyngre last og lengre spenn (vedlegg 3.2)

Tabell 3.1:

Materialer som inngår i Trä8, med tilhørende typiske tykkelser.

Materialer i Trä8	Typiske tykkelser (mm)
Topplaten (Kerto-Q)	31
Bjelkelag	360
Underflens	42

I tillegg til de bærene delene består elementet av gipshimling, gulvbelegg, isolasjon, trinnlydplater og  $70 \text{ mm}$  betong.



Figur 3.1: Tr 8-element. Tilsendt fra konstruktør Trond E. Nyl kken den 21.02.2019 via e-post, gjengitt med tillatelse.

I dag tåler elementene en spennvidde på 8 m, derav navnet tr 8. Oppleggsdetaljen i elementet er det som bærer hele dekket. Topplaten legges lenger ut i forhold til endetverrbjelken og blir liggende på opplegget i bæresystemet ved montering. Dekket «hviler» på topplaten, noe som øker belastningen på toppflensen og begrenser byggehøyden. Det er planer om at dekkete skal tåle en spennvidde på 10 m men det er ikke konstruert enn  (vedlegg 3.1)

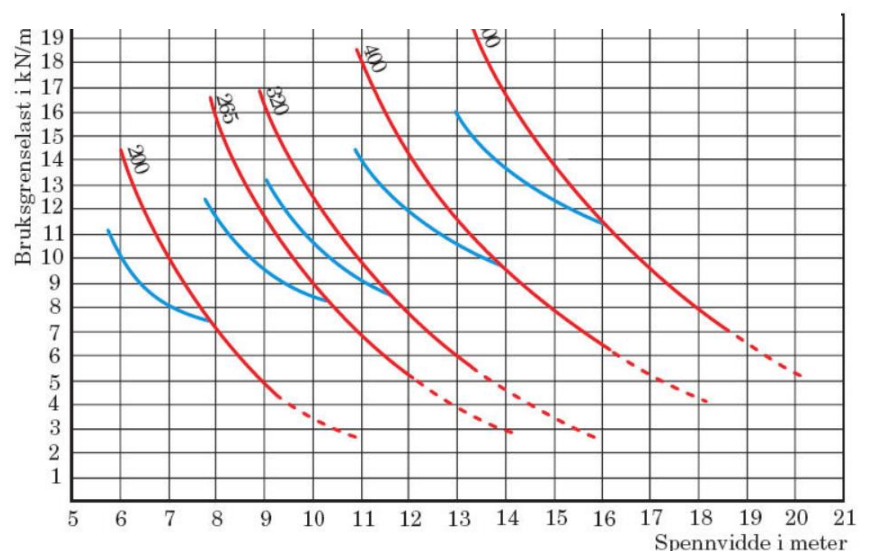
Den totale egenlasten til tr 8 ligger mellom  $2,5 \text{ kN/m}^2$  og  $3,0 \text{ kN/m}^2$ . Egenvekten varierer med lengden på elementet (vedlegg 3.1).

## Hulldykker

Hulldykke er et prefabrikkert betongelement som blir benyttet i etasjeskille og tak (Hulldykke-element, 2009). Som navnet beskriver har elementet hule kanaler i sin lengderetning. Antall kanaler varierer med tykkelsen på elementet (Spenncon, u.å).

Hensikten med hule kanaler er å gjøre egenvekten mindre uten at bæreevnen reduseres betraktelig. Mellom de hule kanalene er det steg av betong med høy kvalitet,

ofte B45. Disse stegene er armert med én eller flere spennarmeringer som er godt egnet for å



Figur 3.2: HD-diagram: sammenhengen mellom spennvidde [m], bruksgrenselast [ $\text{kN/m}^2$ ] og tverrsnittsdimensjon. Gjengitt med tillatelse fra Spenncon.

tåle momentbelastning av lange spenn og i tillegg motvirke nedbøying (Loe Betongelementer, u.å.). Hulldekker har gode brannegenskaper og miljøegenskaper, og kan normalt tåle R60 og XC1. Skulle ytterligere brann- og miljøklasser være nødvendig produseres elementene med økt tverrsnittstykkelse på 20 mm (Spenncon, u.å). Spenncon kan tilby dette tverrsnittssortimentet:

Tabell 3.2:

Viser egenvekt [ $\text{kg/m}^2$ ] for de ulike tverrsnittsdimensjonene.

Type	Egenvekt
HD200	255 $\text{kg/m}^2$
HD265	371 $\text{kg/m}^2$
HD320	392 $\text{kg/m}^2$
HD320 Bolig	507 $\text{kg/m}^2$
HD400	451 $\text{kg/m}^2$
HD500	621 $\text{kg/m}^2$

## Stålprofiler

Stål er på markedet i mange ulike former og kvaliteter. De ulike profilene er designet spesielt til sitt bruk. For søyler er særlig runde eller firkantede rør godt egnet. Dette skyldes at de har et stort motstandsmoment om alle akser. Rør er enkle å overflatebehandle, og ved kvadratiske eller rektangulære former er det enkelt å tilstrebe gode knutepunkter. Det finnes også spesielle profiler som er velegnet til bjelker. Her kan særlig HE-A, HE-B og IPE trekkes frem, da de har god stivhet sideveis og tåler momentbelastning godt (Eide, 2010, s. 104). Konstruksjonsstål har vanligvis en flytespenning på 235-460 MPa. Høyfast stål har flytespenning opp mot 960 MPa. Stål leveres etter spesifikasjoner gitt i bl.a.: NS-EN 10025-1 til 10025-4 og NS-EN 10025-6, og kommer i fasthetsklasser slik som: 235, 355, 420, 460 (Larsen, 2015, s. 49). Ved betongelementer montert på stål anbefales det å bruke bjelkeprofiler av typen THP og EHP. Dette for å skape en integrert bjelkesituasjon som er plassbesparende (Norsk Stålforbund, 2008, s. 12-14). Det er her viktig å merke seg anbefalte avstander for opplegg av



betongelementer på stål. Nominell oppleggslengde for HD200 til HD340 skal være minimum 80 mm (Norsk Stålforbund, 2008, s. 10). Under følger en oversikt over ulike profiler og dens egnethet:

Tabell 3.3:

Viser egnethetsområde for ulike profiler.

Profil	Egnethet
Firkantet HUP	Søyle
Sirkulær HUP	Søyle
HE-A og HE-B	Bjelke/Søyle
IPE	Bjelke
THP	Integrert bjelke for tosidig felt
EHP	Integrert bjelke for ensidig felt
Vinkelstål og Kanalstål	Ved innfesting i vegg ol.

### Hyllebjelker

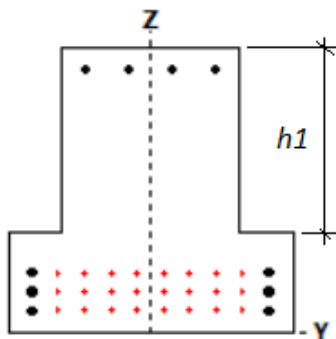
Hyllebjelke er en fellesbetegnelse for bjelker utformet med oppleggshylle for dekkeelementer. Vanlige typer av prefabrikkert betong er LB og DLB, altså L-bjelke og dobbel L-bjelke. Høyden  $h_l$ , vist i figur 3.3, velges vanligvis lik høyden på dekkelementet som skal ligge an på hyllen. Dog er det ikke uvanlig at høyden på bjelken går over overkant dekke.  $h_l > h_{dekke}$  (Betongelementforeningen, 2013, s. 198-199). Størrelsen på hyllebjelkene, og valg av armering, tilpasses etter nødvendigheten i prosjektet de skal bygges inn i. Vanlige tverrsnittstørrelser er:  $300 \times \text{maks } 800$ ,  $400 \times \text{maks } 800$ ,  $500 \times \text{maks } 800$  [bredde  $\times$  høyde]. Høyden kan variere. For ensidige bjelker (LB) er stammebredden og høydene for oppleggshyllen de samme som for DLB (Contiga a, u.å.).

Høyden varierer oftest med intervaller for hulldekketykkelse (Contiga b, u.å), se tabell 3.2 for hulldekketyper. De fleste prefabrikkerte bjelker kan leveres spennarmert. Spennarmering vil si at bjelken blir støpt sammen med spenntau som er oppspent til om lag 90-120 MPa, der tauene gir en indre trykkraft etter herding som motvirker ytre strekkrefter ved riktig plassering. Bjelkene kan også være slakkarmert. Det vil si armering av vanlig kamstål uten forspenning (Betongelementforeningen, 2013, s. 11-12). Nedenfor følger en tabell av vanlige dimensjoner for spenntau og slakkarmering:

Tabell 3.4:

Dimensjoner for spenntau og slakkarmering

<b>Spennetau</b>	Ø9	Ø13	Ø15			
<b>Slakkarmering</b>	Ø12*	Ø16	Ø20	Ø25	Ø32	Ø40
*) Mest brukt som: minimumsarmering, nåler, bøylar.						



Figur 3.3: Hyllebjelke av typen DLB. Skjermbilde fra dimensjoneringsprosess i programmet E-Bjelke versjon: 6.5.8. Skjermbildet er modifisert ved å legge til høyden «h1» med tilhørende mållinje.

## 3.5 Parkeringsplasser

Dette delkapittelet tar for seg krav, iht. Byggforskblad 312.130, for etableringen av parkeringsplasser i P-kjelleren. Det innebærer at store deler av innholdet er sitering(er) og/eller omformulering(er) av innholdet. I de tilfeller det ikke er gitt entydige føringer fra Byggforsk, eller i de tilfeller det er gitt krav i både Byggforsk og de kommunale bestemmelsene, vil de kommunale bestemmelsene være dominerende. Dette er bestemmelser til plan- og bygningslovens § 11-9, nr. 5 – Parkering i Ringsaker kommune. Da det ikke er

utarbeidet en detaljert reguleringsplan for byggetrinn 3, er det tatt en beslutning om å ta utgangspunkt i detaljert reguleringsplan for byggetrinn 1, Mjøstårnet.

Nødvendig oppstillingsplasser for biler skal, der annet ikke er angitt, dekket på egen grunn eller på tilhørende parkeringsarealer eller ved parkeringsetasjer som en del av bebyggelsen. Det skal settes av parkeringsplasser for bevegelseshemmede og for sykler. Det skal settes av parkeringsplasser med lademulighet for elbil.

(Ringsaker kommune, 2016).

Byggetrinn 3 faller inn under kategorien «faste brukere», og defineres på følgende måte:

Faste brukere benytter parkeringsanlegget ved bolig eller arbeidsplass, samt innfartsparkering. Denne typen brukere er gjerne godt kjent i anlegget. Utforming, teknisk utrustning, driftsopplegg og skilting kan være noe knappere enn ved anlegg for tilfeldige brukere. Anleggene kan imidlertid ha stor trafikkbelastning, særlig i rushtiden.

(SINTEF Byggforsk, 2015).

Denne kategoriseringen vil være med på å avgjøre hvilke krav som gjelder.

Under er gjeldende krav lagt til grunn for etableringen av P-kjeller:

- 1) SINTEF Byggforsk fastsetter vanlig bilhold til å være én bil per bolig, mens de kommunale bestemmelsene fastsetter at boliger utenfor sentrum på 40-70 m<sup>2</sup> minimum skal ha én parkeringsplass per boenhet, boliger > 70 m<sup>2</sup> skal minimum 2 parkeringsplasser per boenhet, og boliger mindre enn 40 m<sup>2</sup> har ingen krav om parkeringsplass.
- 2) Alle parkeringsplasser som er avgrenset av enten i) søyle eller ii) vegg, vil få et tillegg i bredde. Dette tillegget er 0,3 m for vegg på én side og 0,5 m for vegger på begge sidene. For søyler som parkeringsplassens avgrensning gjelder et tillegg lik søylens diameter for runde søyler og et tillegg lik søylens bredde for firkantede søyler. Dersom søylene er plassert mellom parkeringsplassen, skal de plasseres ved bakhjul, slik at de ikke er til hinder for åpning av dører.
- 3) Høyden i garasjen bør ikke være mindre enn 2,5 m. Fri høyde (lysåpning) under åpen port helst bør være minimum 2,1 m.

- 4) Kjørebanebredden på andre steder enn mellom parkeringsplasser må være minimum 2,2 m. I tillegg må det være en sikkerhetsavstand på begge sider av kjørebane som settes til 0,8 m. Ønskelig er å skjevfordele denne sikkerhetsavstanden på sidene, slik at det er en tydelig side anbefalt for gående i parkeringskjelleren. Minste bredden må være  $> 0,25$  m.
- (SINTEF Byggforsk, 2015)

Tabell 3.5:

Anbefalte bruksforhold for kjørebane (SINTEF Byggforsk, 2015).

Kjøremønster	Tilfeldige brukere (se pkt. 13)	Faste brukere (se pkt. 13)
Enveiskjøring i kjørebane	To gående og én bil	Én gående og én bil
Toveiskjøring i kjørebane	Én gående og to biler	To biler, ingen gående

# 4 Resultater

Dette kapittelet har til hensikt å legge frem og beskrive resultater for beregninger gjort i denne oppgaven. Kapittelet er bygd opp med underkapitler for bæresystem 1,-2 og -3. Delkapitlene består av en beskrivelse av hvert enkelt bæresystem og resultater fra beregningsprogrammer. Første delkapittel nevner en del generelle forutsetninger og lastresultater som er felles for alle bæresystemene.

## 4.1 Felles

Her presenteres resultater som inngår i alle systemene. Dette er blant annet laster som ikke er avhengig av konstruksjonsløsning, hvor forutsetninger og valg er gjort for å gjøre systemene mest mulig sammenlignbare.

### Nyttelaster felles for alle alternativene:

Tabell 4.1:

Felles nyttelaster for alle bæresystemene.

Last	Karakteristisk verdi [kN/m <sup>2</sup> ]
Snølast på tak	2,80
Vindlast på tak	0,14
Nyttelast etasje	2,00
Nyttelast balkong	4,00
Nyttelast fellesområde	4,00
Egenvekt Lett- tak	0,46

Snølast er beregnet i programmet «Lastberegning» av Ove Sletten, se vedlegg 4.1.

Vindlast er beregnet i programmet «Lastberegning» av Ove Sletten, se vedlegg 4.2.

Nyttelaster inne i bygget er beregnet iht. NS-EN 1991-1-1. (Fallsen, 2011, s. L-18)

Takkonstruksjonen med Lett-tak er valgt likt for alle bæresystemene for å bedre sammenligningsgrunnlaget. Lastene fra taket går gjennom konstruksjonen i bæresystemet. De er ikke avhengig av etasjene under og trekkes med det ned til plan 1 som en linjelast.

Egenvekt tak settes til  $0,46 \text{ kN/m}^2$ . Se vedlegg 4.3 for produktdata fra Lett-Tak.

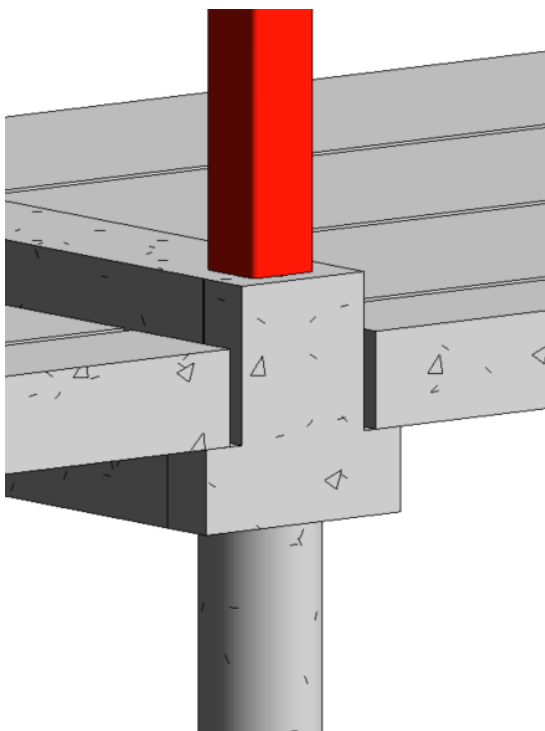
### **Etasjeskille mellom Plan 1 og Parkeringskjeller**

Etasjeskille mellom plan 1 og parkeringskjeller er utført likt for alle de tre bæresystemene.

Etasjeskille er valgt bygd opp av HD320 elementer i lengderetning, lagt an på integrert 500x800 DLB. Bjelken er videre understøttet av en sirkulær betongsøyle. Se utsnitt fra 3D-modell i figur 4.1 og valg av søyletversnitt i delkapittel 4.5, *Søylar i parkeringskjeller*.

Spennlengde til DLB og plassering av understøttende søyle varierer i de ulike bæresystemene.

For beskrivelse av dette, se *pkt. 4.3, 4.4 og 4.5*.

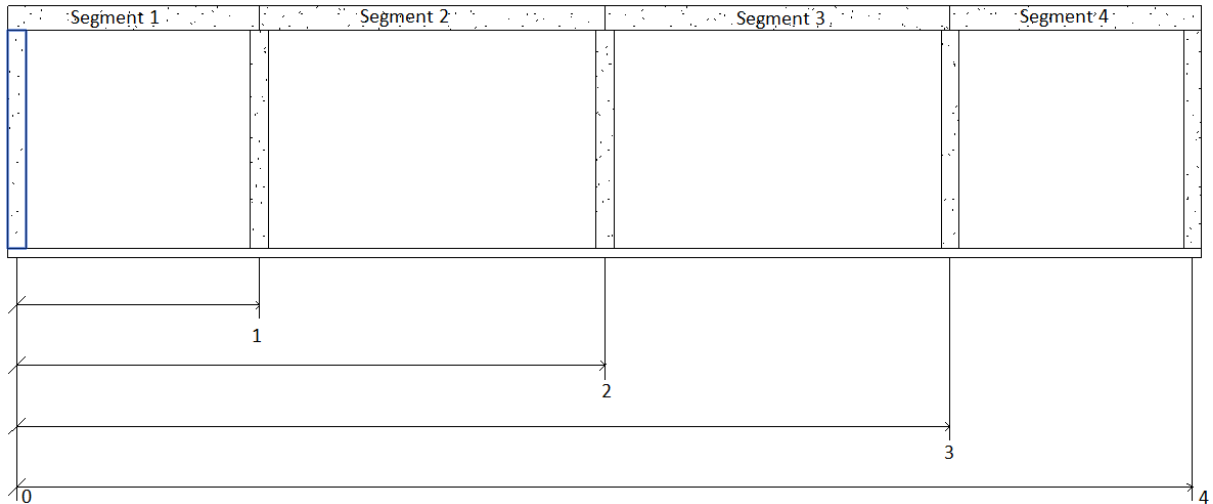


*Figur 4.1: Etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller. Hentet fra 3D-modell for bæresystem 3. Merk: Tverrsnittet av DLB er ikke endelig dimensjon.*

### **Beskrivelse for avlesing av tabellresultater fra Focus Konstruksjon**

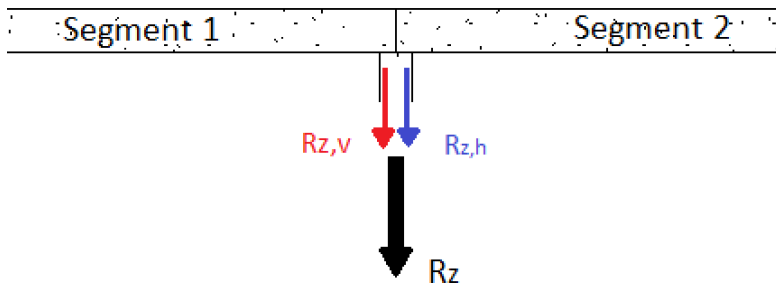
Ett segment tilsvarer én bjelke. Tabellene i delkapittel 4.2.2 og 4.4.2 inneholder beskrivelser av krefter og avstander som opptrer i de ulike segmentene. Hvert segment har ett knutepunkt i

hver ende ved opplager. Feltet for PosX angir avstanden fra nullpunktet til knutepunktet, som vist i figur 4.2a. X-aksen går parallelt med B-aksene.



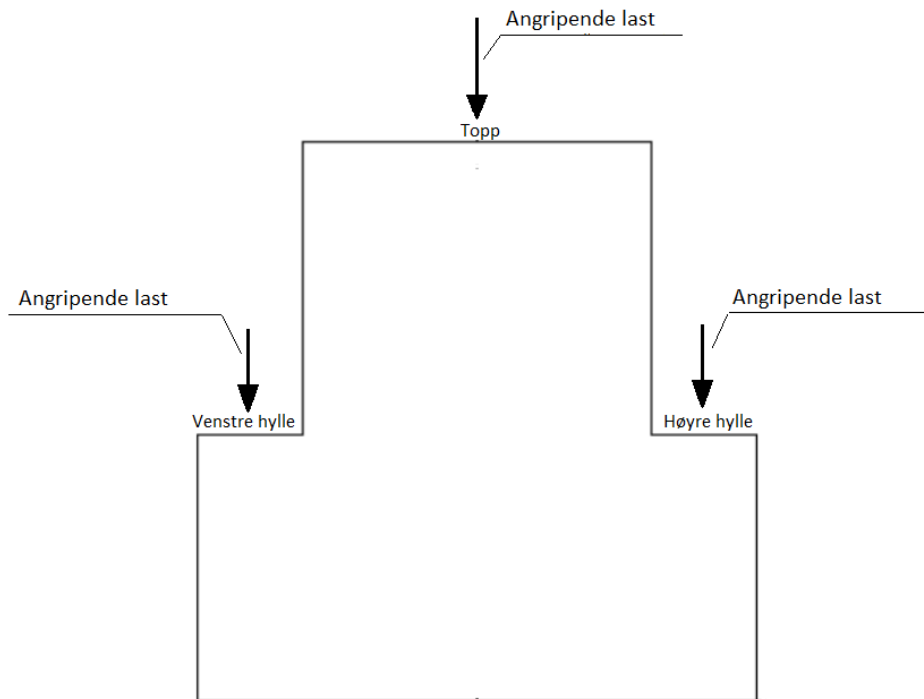
Figur 4.2a: Forklaringsfigur til tabeller fra Focus Konstruksjon.

$R_z$  angir kraften som overføres fra segment til understøttende søyle. Det er viktig å merke seg at  $R_z$  er den totale kraften som går gjennom søyla, altså resultanten av overliggende last samt opplagerkraften i sammenfallende knutepunkt for to segmenter. Disse er vist som  $R_{z,v}$  og  $R_{z,h}$  i figur 4.2b.



Figur 4.2b: Forklaringsfigur til tabeller fra Focus Konstruksjon

## Beskrivelse av lastplassering på DLB



Figur 4.3: Beskrivende figur av lastplassering på DLB.

### Reduksjonsfaktorer

Ved beregninger kan det være hensiktsmessig å trekke inn reduksjonsfaktorer for laster, disse er beregnet under.

Iht. Eurokode 1, pkt. 6.3.1.2(10), kan arealreduksjonsfaktor benyttes for nyttelaster i kategori A, B, C og D, samt H hvis det er adkomst til tak. Arealreduksjonsfaktor fremstilles i Eurokode på følgende måte:

$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot \psi_0 + \frac{A_0}{A} \leq 1,0, \text{ der:}$$

$\psi_0$  er faktoren i henhold til tillegg A1, tabell A1.1 i NS1990

$$A_0 = 10,0m^2$$

$A$  er det belastede arealet



$$\alpha_A = \frac{5}{7} \cdot 0,7 + \frac{10}{401,8} = 0,524 \approx 0,52 \leq 1,0 \rightarrow \text{OK.}$$

Arealreduksjonsfaktor,  $\alpha_A$ , pr. etasje er derfor lik 0,52.

Iht. Eurokode 1, pkt. 6.3.1.2(11) og pkt.6.2.2(2), der nyttelasten fra flere etasjer virker på søyler og vegger, kan den totale nyttelasten fra overliggende etasjer reduseres.

Etasjereduksjonsfaktor fremstilles i Eurokode på følgende måte:

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)\psi_0}{n}, \text{ der:}$$

$n$  er antall etasjer ( $> 2$ ) over belastede bærende del fra samme kategori

$\psi_0$  er faktoren i henhold til tillegg A1, tabell A1.1 i NS1990

$$\alpha_n = \frac{2+(n-2)\cdot\psi_0}{n} = \frac{2+(5-2)\cdot 0,7}{5} = 0,82$$

Etasjereduksjonsfaktoren,  $\alpha_n$ , er derfor lik 0,82.

## 4.2 Bæresystem 1

### Beskrivelse av oppbygningen til bæresystemet

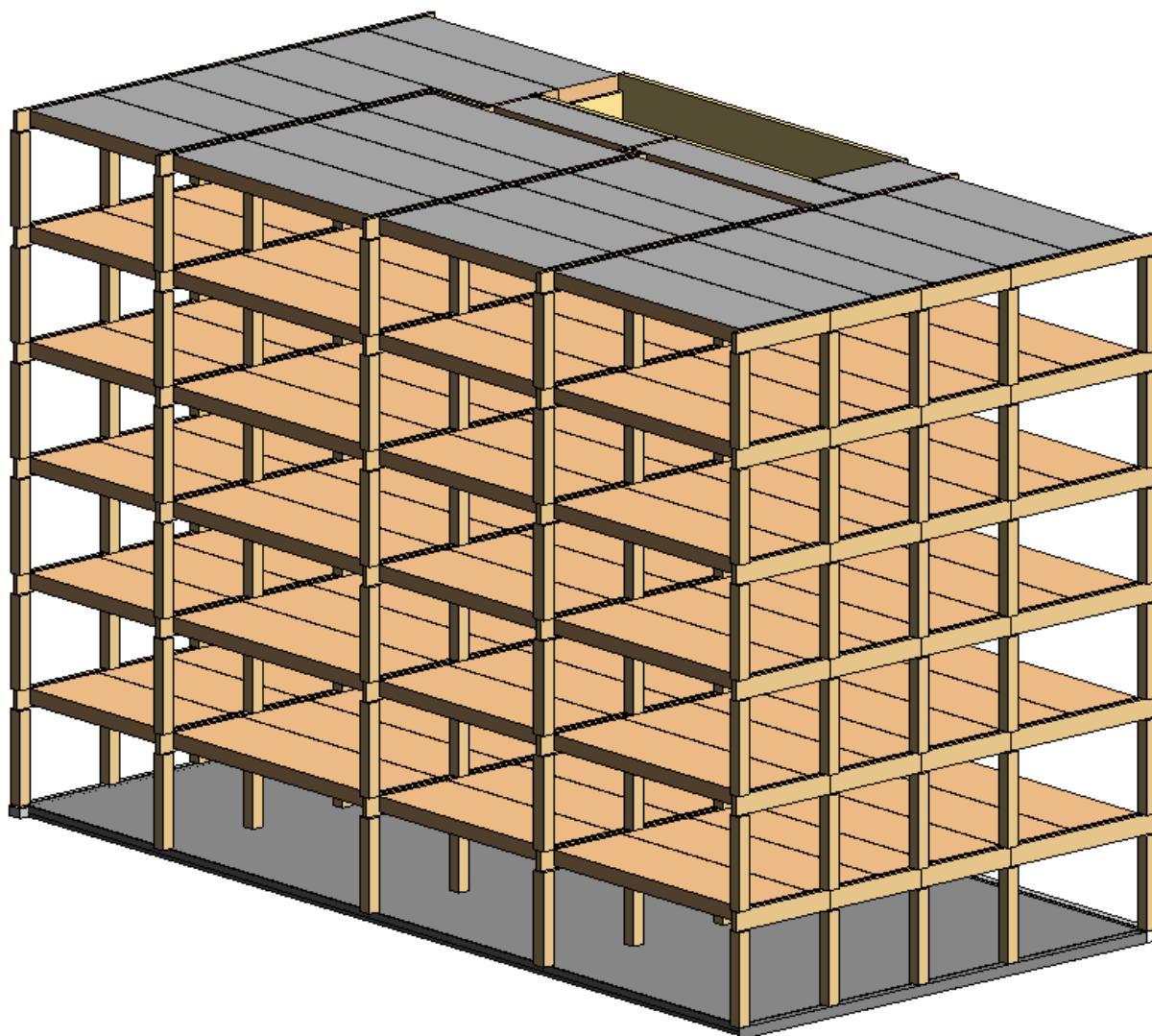
Bæresystem 1 er bygd opp av et søylebjelkesystem av limtre med etasjeskille av trebaserte elementer. Som vertikal bæring er det valgt kvadratiske limtresøyler. Som sekundær horisontalbæring er det valgt bjelker av limtre. For primær horisontalbæring er Trä8-elementer valgt. Trä8 spenner mellom bjelkene for å spare høyde i etasjeskille, et såkalt integrert bjelkesystem. I dette kapitlet følger resultater for beregninger. Disse beregningene er basert på dimensjoner gitt i underliggende tabell:

Tabell 4.2:

Elementdimensjoner.

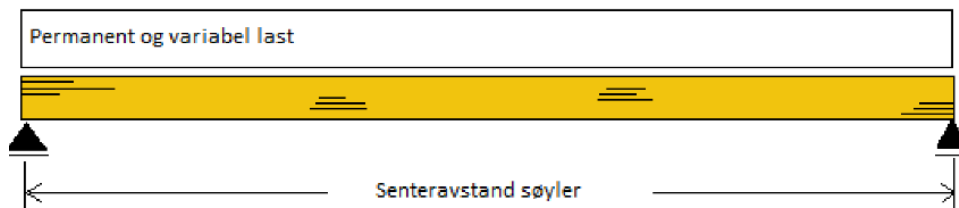
Bjelke	140x566 GL30c
Søyle	370x370 GL30c*
Dekke	Trä8-element
Takkonstruksjon	Lett-tak

\*) Programmet Focus Konstruksjon har ikke GL30h i sitt bibliotek, benytter derfor GL30c.



Figur 4.4: 3D-modell av Bæresystem 1. Utsnitt fra Revit.

Som nevnt under delkapittel 2.7, *Bæresystem i boligbyggene*, er det hensiktsmessig å finne senteravstanden til søylene. Dette er gjort i Focus Konstruksjon og resultatene fremlegges i underkapitler av dette delkapittelet. Lastsituasjonen for bestemmelse av søyleavstand er vist i figur 4.5. Som beskrevet i delkapittel 3.4, *Aktuelle elementvalg for byggetrinn 3*, kan Trä8-elementer spenne maksimalt 8m. Lengste spenn for elementet i bæresystem 1 er 7,98m. Det medfører godkjent kontroll.



Figur 4.5: Lastsituasjon for limtrebjelke.

Av permanente laster inngår: egenvekt Lett-tak, egenvekt Trä8 og limtrebjelkens egenvekt.

Av variable laster inngår: nyttelast i etasjer, snølast og vindlast på tak. Lastsituasjonen er vurdert for utnyttelse av skjærspenning, bøyespennning og nedbøyning. Kriteriet satt tidligere i oppgaven er: ingen kapasitetskontroll skal overstige 1,0 i utnyttelsesgrad.

#### 4.2.1 Laster som inngår i videre beregning

I tillegg til de felles lastene for alle bæresystemene, inngår de undernevnte lastene individuelt sett for alternativ 1:

Tabell 4.3:

Egenvekter for bæresystem 1.

Last	Verdi
Egenvekt Trä8	3,0 kN/m <sup>2</sup>
Egenvekt Limtre	4,7 kN/m <sup>3</sup>

#### 4.2.2 Bæresystem i bolig

Tabellene under viser resultater fra programmet Focus Konstruksjon. Resultatet er fremstilt som tabeller, der det er én tabell per akse. Tabellene fremlegges i kronologisk rekkefølge, fra og med akse 1, til og med akse 7. For beskrivelse av betydningen til tabellens innhold, se pkt. 4.1 Felles.

Resultater for kapasitetskontroll og forskyvningskontroll er vedlagt i vedlegg 4.4.

##### Akse 1:

D-G: Lastbredde = 2870mm

G-I: Lastbredde = 3967mm

Veggen er delt opp i 4 segmenter, med 5 søyler og 4 bjelker.

Tabell 4.4:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 1.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0	0	454,21	0	-54,15	0
	4915	0	0	0	0	666,47	0	37,47	0
Segment 2	4915	0	0	0	0	666,47	0	37,47	0
	8104	0	0	0	0	431,9	0	0,01	0
Segment 3	8104	0	0	0	0	431,9	0	0,01	0
	11292	0	0	0	0	431,23	0	0	0
Segment 4	11292	0	0	0	0	431,23	0	0	0
	14480	0	0	0	0	219,34	0	16,66	0

## Akse 2:

D-G: Lastbredde = 7045mm

Veggen er delt opp i 3 segmenter med 4 søyler og 3 bjelker.

Tabell 4.5:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 2.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0,24	0	515,41	0	-4,89	0
	3188	0	0	-0,57	0	1030,15	0	-5,3	0
Segment 2	3188	0	0	-0,57	0	1030,15	0	-5,3	0
	6377	0	0	0,19	0	1017,5	0	-4,95	0
Segment 3	6377	0	0	0,19	0	1017,5	0	-4,95	0
	9565	0	0	0,14	0	515,41	0	-5,02	0

## Akse 3:

G-H: Lastbredde = 6752mm

Segmentet er en bjelke med én konsoll og én bjelke i hver sin ende.

Tabell 4.6:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 3.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0	0	278,52	0	-11,88	0
	1775	0	0	0	0	278,52	0	11,88	0

## Akse 4:

D-G: Lastbredde = 6592mm

Segmentet er en bjelke med én konsoll og én bjelke i hver sin ende.

Tabell 4.7:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 4.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0	0	272,25	0	-11,6	0
	1775	0	0	0	0	272,25	0	11,6	0

### Akse 5:

D-G: Lastbredde = 7690mm

Veggen er delt opp i 3 segmenter med 4 søyler og 3 bjelker.

Tabell 4.8:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 5.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0	0	561,06	0	-43,54	0
	3188	0	0	0	0	1115,15	0	-0,03	0
Segment 2	3188	0	0	0	0	1115,15	0	-0,03	0
	6377	0	0	0	0	1115,15	0	0,03	0
Segment 3	6377	0	0	0	0	1115,15	0	0,03	0
	9565	0	0	0	0	561,06	0	43,54	0

### Akse 6:

D-G: Lastbredde = 7450mm

G-H: Lastbredde = 7753mm

H-I: Lastbredde = 4917mm

Veggen er delt opp i 4 segmenter med 5 søyler og 4 bjelker.

Tabell 4.9:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 6.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-9,92	0	503,18	0	-79,5	0
	4915	0	0	-49,23	0	1445,8	0	30,17	0
Segment 2	4915	0	0	-49,23	0	1445,8	0	30,17	0
	8104	0	0	5,21	0	1066,25	0	-2,14	0
Segment 3	8104	0	0	5,21	0	1066,25	0	-2,14	0
	11292	0	0	4,23	0	1052,87	0	-2,67	0
Segment 4	11292	0	0	4,23	0	1052,87	0	-2,67	0
	14480	0	0	-0,63	0	516,69	0	36,75	0

### Akse 7:

D-I: Lastbredde = 3935mm

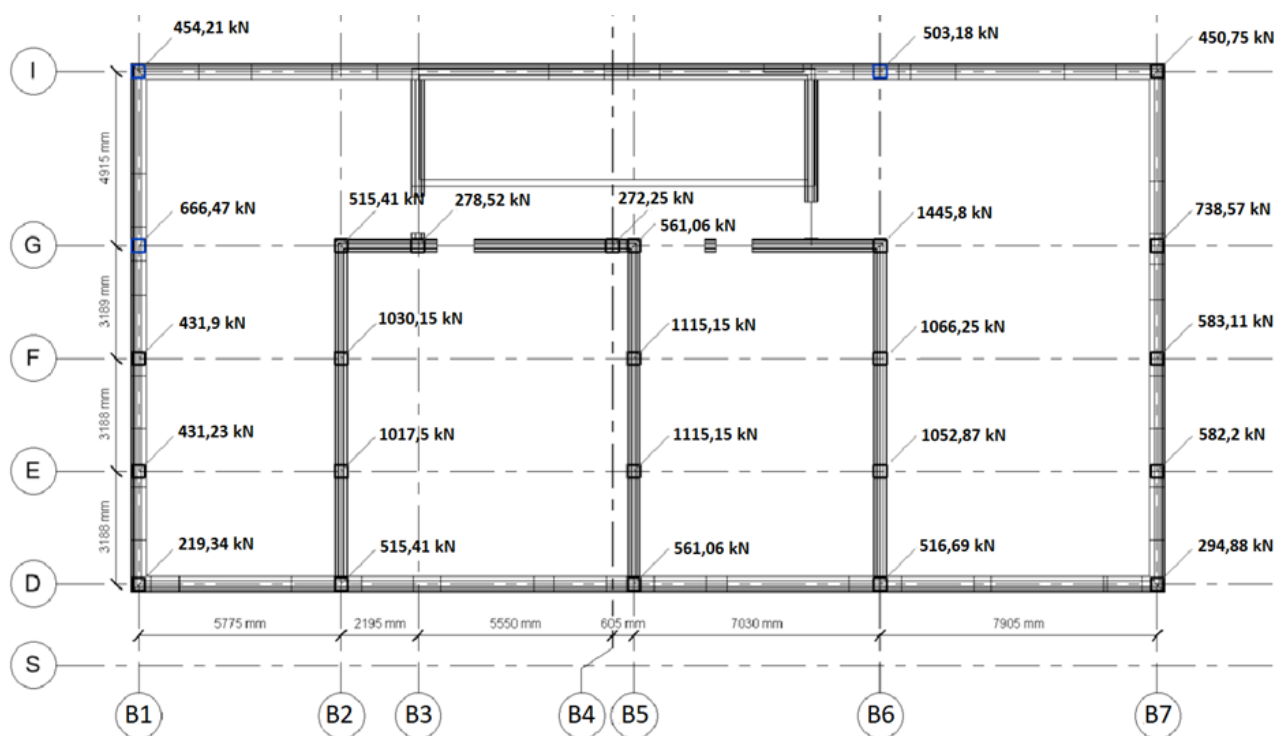
Veggen er delt opp i 4 segmenter med 5 søyler og 4 bjelker.

Tabell 4.10:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 7.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
103 (Seg)	1000	0	0	0	0	450,75	0	-53,72	0
103 (Seg)	5915	0	0	0	0	738,57	0	31,11	0
116 (Seg)	9104	0	0	0	0	583,11	0	0,01	0
129 (Seg)	12292	0	0	0	0	582,2	0	0	0
149 (Seg)	15480	0	0	0	0	294,88	0	22,6	0

Figur 10 gir en oppsummering av punktlastene som angriper overkant etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller:



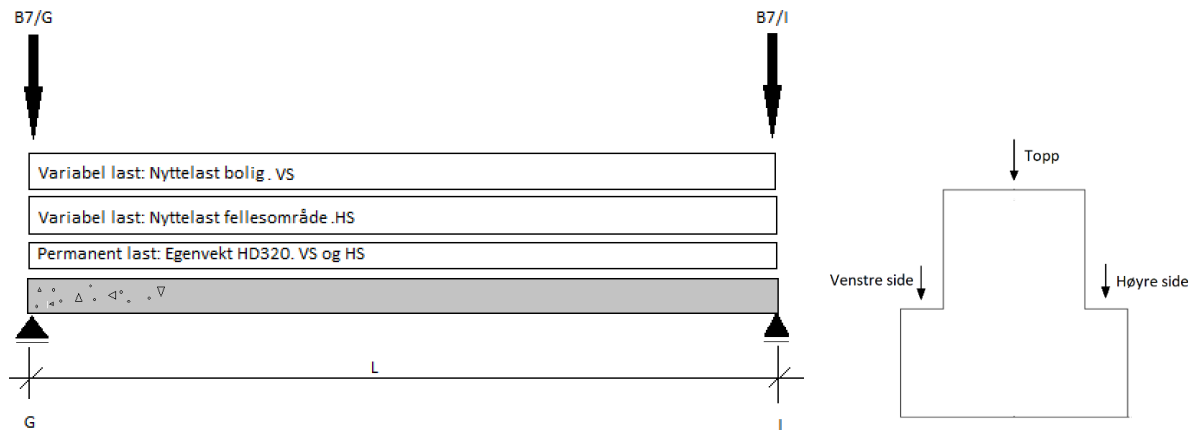
Figur 4.6: Søyleplan i Plan 1 med krefter for bæresystem 1. Utsnitt fra Revit.

### 4.2.3 Bæresystemet i parkeringskjeller

For vurdering og valg av spenn til DLB er det tatt utgangspunkt i to situasjoner, der begge er i den hardeste belastede aksene:

1. **situasjon:** DLB spanner i akse B7, mellom akse G og I. DLB er påkjent av: egenvekt hulldekke på hyller, nyttelast fra bolig på venstre hylle og nyttelast fra fellesområde på høyre hylle. Punktlaster overføres direkte til søyle. Det er ikke tatt hensyn til knusing av DLB ved opplegg. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.5
2. **situasjon:** DLB spanner i akse B7, mellom akse E og I. DLB er påkjent av: egenvekten til hulldekke på hyller, nyttelasten fra bolig på venstre hylle og nyttelast fra fellesområde på høyre hylle. Punktlaster i E og I overføres direkte til søyle, vurderer ikke knusing i DLB ved opplegg. Punktlaster i aksekryss B7/F og B7/G angriper på topp. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.6

## 1. situasjon



Figur 4.7:1. Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse G og I.

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregning av DLB i programmet E-bjelke:

Tabell 4.11:

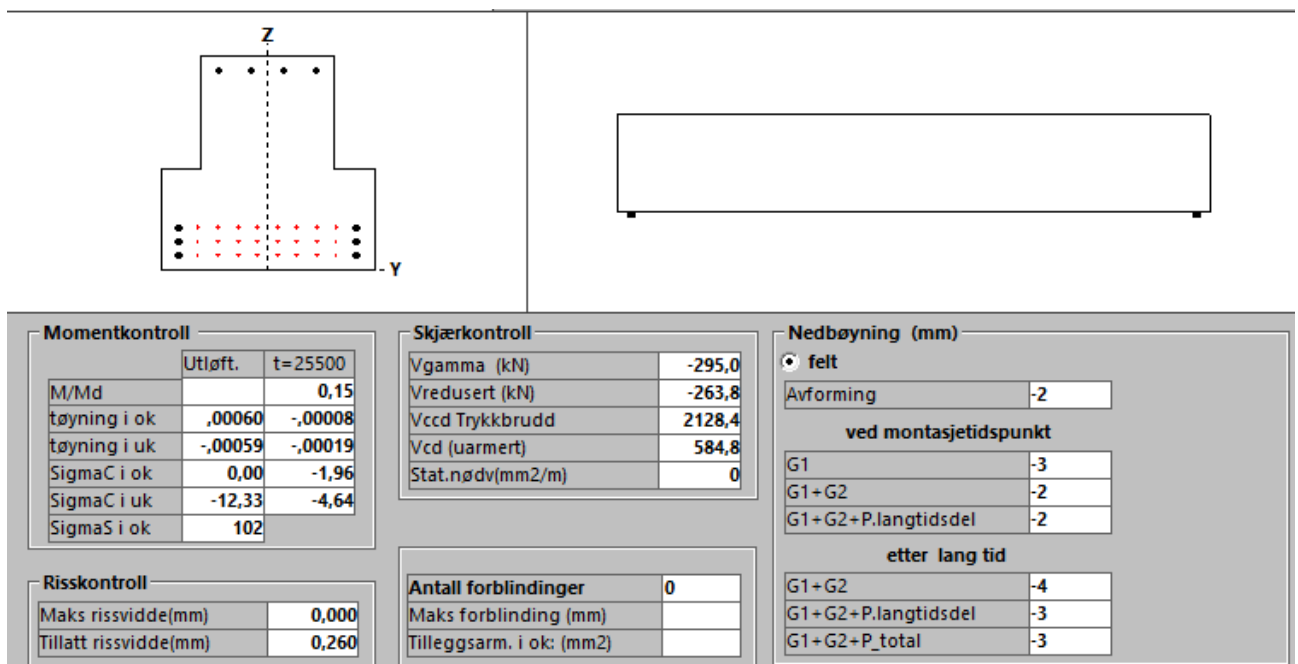
Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 1, situasjon 1.

<b>Bjelkespenn: L = 4915mm</b>	<b>Lastbredde</b>		<b>Lastverdi</b>
<b>Beskrivelse:</b>	VS	HS	
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953mm		2,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>bolig</sub></b>			
<b>Påkjenner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>		7533mm	4,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>fellesområde</sub></b>			
<b>Påkjenner: B7</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953mm	7533mm	4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>			
<b>Påkjenner: Hylle</b>			



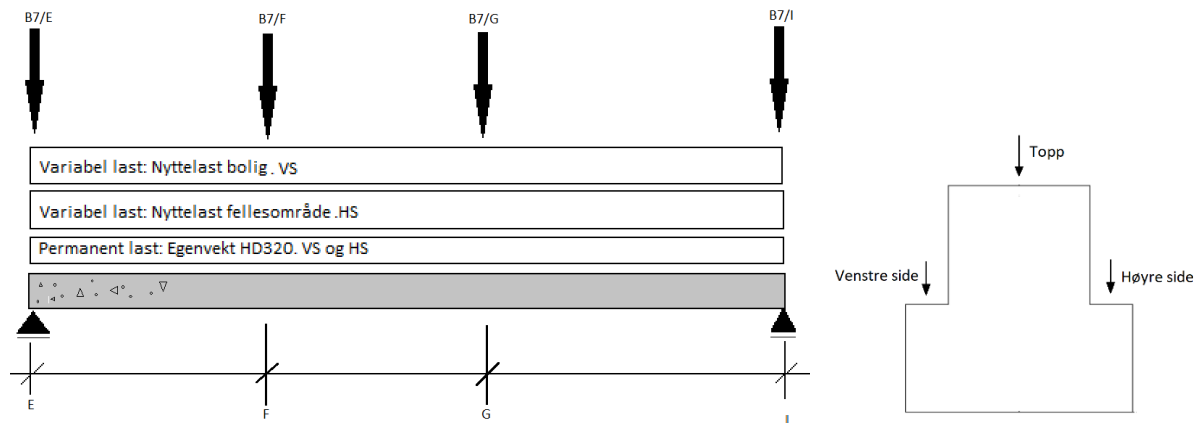
<b>For bjelke i akse: B7</b>		B7/I: 450,8 kN
<b>Gjelder for: Punktlast.</b> NB: Overføres direkte til underliggende søyle		B7/G: 738,6 kN
<b>Påkjenner: Topp</b>		

Resultat for beregning av 1.situasjon i programmet E-bjelke. Beregning godkjent med største momentkapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 0,15$ :



Figur 4.8: Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon, utsnitt fra E-bjelke.

## 2.situasjon:



Figur 4.9: 2.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse E og I, bæresystem 1.

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

Tabell 4.12:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 1, situasjon 2.

Bjelkespenn: L = 11292mm	Lastbredde		Lastverdi
	VS	HS	
<b>Beskrivelse:</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			
<b>Gjelder for: NL<sub>bolig</sub></b>	3953 mm		2,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Påkjenner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			
<b>Gjelder for: NL<sub>fellesområde</sub></b>		7533 mm	4,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Påkjenner: B7</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>	3953 mm	7533 mm	4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Påkjenner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			B7/E: 582,2 kN

<b>Gjelder for:</b> Punktlast ved opplegg. NB: Overføres direkte til underliggende søyle		B7/I: 450,8 kN
<b>Påkjerner:</b> Topp		
<b>For bjelke i akse:</b> B7		B7/F: 583,1 kN
<b>Gjelder for:</b> Punktlast i spennet.		B7/G: 738,6 kN
<b>Påkjerner:</b> Topp		

Resultat for beregning av 2. situasjon i programmet E-bjelke. Beregningen ble ikke godkjent da største momentkapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 1,92$ . Dette vil si overskridelse ved strekk i underkant. Tøyningskontroll sviktet også:

E-BJELKE versjon 6.5.9 Norsk standard

Fil Geometri Lastdata Armering og betong Beregning Vis Standard Hjelp

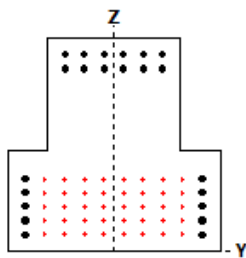
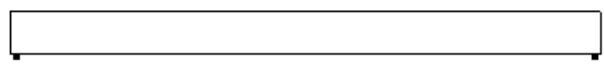
**Datagrupper som er lest inn**

Tverrsnitt  Profil  Nese  
 Hylle  Påstøp  Utspær  
 Last  Materialdata  
 Armering  Spennarmering

**Tverrsnitt** **Profil** **Utspær** **Hylle** **Påstøp**

**Armering** **Spennarmering** **Material** **Last** **Oppspenning**

**Tverrsnitttype**  DT  I  I  Huldekke  
 Rektangel  HDkomprimert  DLB  Vilkårlig

**Momentkontroll**

	Utløft.	t=25500
M/Md		1,92
tøyning i ok	,00028	
tøyning i uk	-,00070	
SigmaC i ok	0,00	
SigmaC i uk	-14,27	
SigmaS i ok	40	

**Skjærkontroll**

Vgamma (kN)	-1664,3
Vredusert (kN)	-1602,3
Vccd Trykkbrudd	1856,6
Vcd (uarmert)	848,1
Stat.nødv(mm2/m)	5236

**Risskontroll**

Maks rissvidde(mm)	0,520
Tillatt rissvidde(mm)	0,260

**Antall forblindinger** 0

Maks forblinding (mm)	
Tilleggsarm. i ok: (mm2)	

Figur 4.10: Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon, utsnitt fra E-bjelke.

## Oppsummerende plantegning for søyleplassering i parkeringskjeller for bæresystem 1:

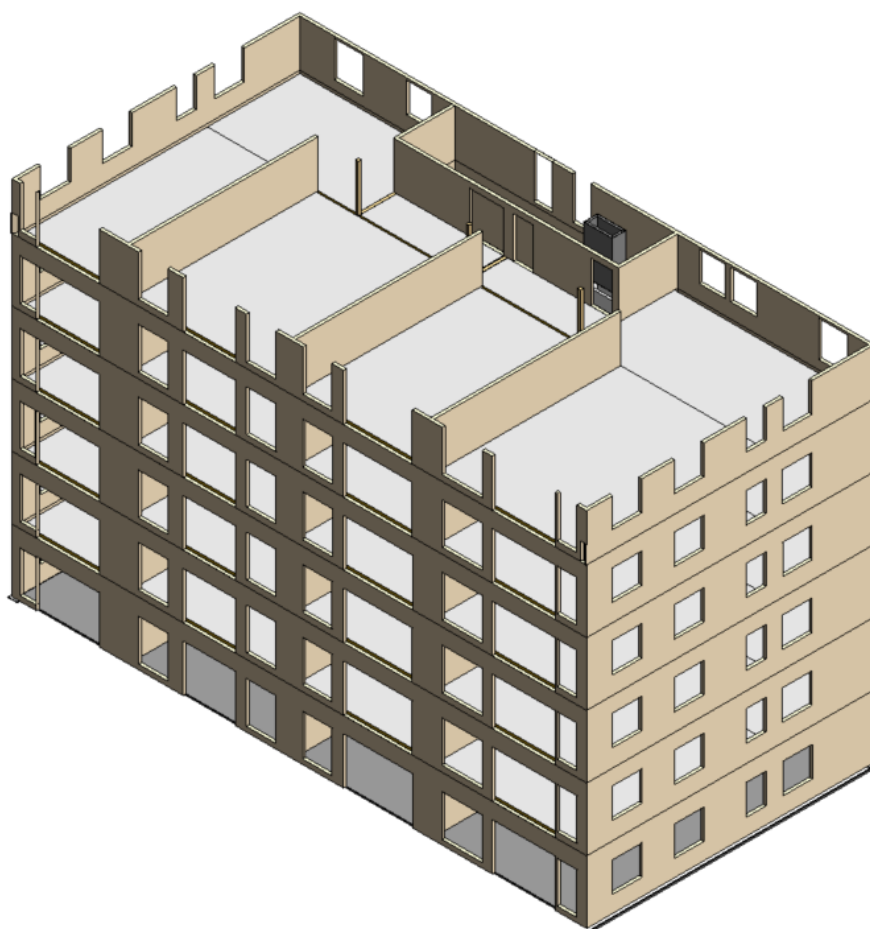


Figur 4.11: Søyleplan i parkeringskjeller for bæresystem 1. Utsnitt fra Revit.

## 4.3 Bæresystem 2

Beskrivelse av oppbyggingen til bæresystemet

Bæresystem 2 er bygd opp av horisontal- og vertikal bæring av KL-tre. Det vertikale bæresystemet består av alle yttervegger samt tre bærende innervegger i akse B2, B4 og B6. Veggene går gjennom hele byggets høyde, med oppdeling i etasjene. Tyngdetettheten til KL-tre er som tidligere nevnt satt til  $4,7 \text{ kN/m}^3$  (SINTEF Byggforsk, 2013). Det er i tillegg medregnet en egenvekt på  $0,5 \text{ kN/m}^2$  for isolasjon, lett bindingsverk, panel og brannhemmende materiale (Norgips byggesystemer, u.å.). Etasjeskille er bygd opp av massivtre som spenner mellom bjelkene.



Figur 4.12: 3D-modell av bæresystem 2. Utsnitt fra Revit.

### 4.3.1 Laster som inngår i videre beregning

Laster lagt til grunn for å finne nødvendig søyleavstand i bæresystem 2 er fremlagt i underliggende tabell:

Tabell 4.13:

Egenvekter for bæresystem 2.

Last	Verdi
Egenvekt massivtre i etasjeskille	3,50 kN/m <sup>2</sup>
Egenvekt massivtre i bærende vegger + bekleddingsvegg	1,21 kN/m <sup>2</sup>

### 4.3.2 Bæresystem i bolig

Tabellen under viser resultater fra programmet Maple. Tabellen fremstiller resulterende linjelast som angriper etasjeskille mellom plan 1 og parkeringskjeller. Tabellen er inndelt i

akse B1 til akse B7, med innbyrdes aksespenn som linjelasten strekker seg over. Lastene er oppgitt i kN/m for alle spenn utenom i akse B3 og akse B5. Disse har punktlaster på grunn av søylepunkt. Verdiene oppgitt med stjerne er regnet ut i Focus Konstruksjon, se vedlegg 4.7. De resterende lastene er regnet ut i Maple, se vedlegg 4.8.

Akse B1 og B7 er delt opp i to rader. Akse B1 har to ulike sideliggende lastbredder: én spenner mellom akse D og G, og én spenner mellom akse G og I. Mellom akse D og G er lastbredden fordelt med akse B2. Mellom akse G og I er lastbredden fordelt med akse B3. For akse B7 gjelder det samme som for akse B1: én spenner mellom akse D og G, og én spenner mellom akse G og I. Mellom akse D og G er lastbredden fordelt med akse B6, mellom G og I er lastbredden fordelt med akse B5.

Linjelastene som massivtreveggene gir har en begrenset lengde. For de to ytterveggene – akse B1 og B7 – går de fra akse D til I, mens indre bæreveggene – akse B2, B4 og B6 – går fra D til G. Bjelkene i akse B3 og B5 er konstruert med en søyle i aksekryss B3/G og B5/G, og konsoll i aksekryss B3/H. Lasten som går ned i konsollen, blir videreført i veggene på sjakten og ført ned i grunnen. De blir ikke med i beregningen videre for p-kjeller.

Tabell 4.14:

Resultater fra Maple som viser linje- og punktlaster som angriper etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller.

Akse	Rad	Lastbredde [m]	Linjelast i gulv første etasje [kN/m]
1	D-G	2,870	153,69
	G-I	3,967	201,83
2	D-G	7,045	336,88
3	G-H	9,578	420,64*
4	D-G	7,690	365,19
5	G-H	10,528	483,04*
6	D-G	7,450	354,65
7	D-G	3,935	200,42
	G-I	4,917	243,51

\*Krefter som angriper første etasje som punktlaster [kN].

**Plantegning med oversikt over laster som angriper etasjeskille mellom plan 1 og parkeringskjeller:**



Figur 4.13: Søyleplan i plan 1 med krefter for bæresystem 2.

### 4.3.3 Bæresystem i parkeringskjeller

For vurdering og valg av spenn til DLB er det tatt utgangspunkt i tre situasjoner:

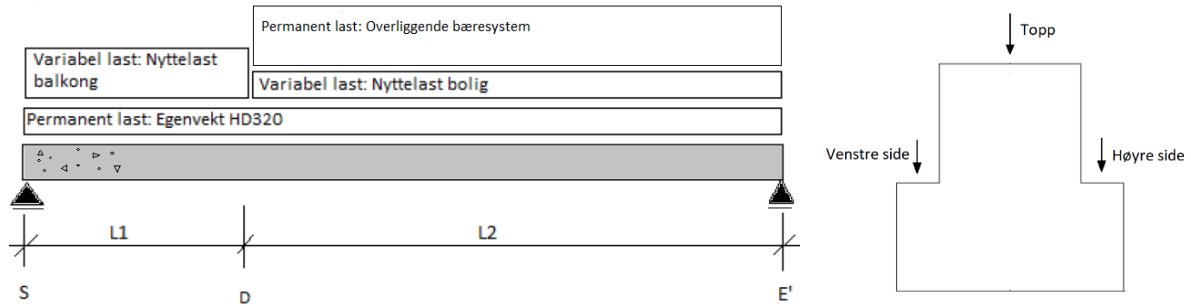
**1.situasjon:** DLB spenner i akse B4, mellom akse S og E'. E' er her en akse som kan forflyttes, dette kalles fallende lengde. DLB er påkjent av: egenvekt hulldekke på hyller, nyttelast bolig mellom akse D og E' på begge hyller, nyttelast balkong på begge hyller mellom akse S og D, og permanent last fra overliggende bygg mellom akse D og E'. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.9.

**2.situasjon:** DLB spenner i akse B6, mellom akse E' og I. E' er her en fastsatt akse ut fra beregning i 1.situasjon. DLB er påkjent av: egenvekt<sup>1</sup> av hulldekke på begge hyller, nyttelast<sup>1</sup> fra bolig på begge hyller, og permanent last fra overliggende bygg mellom akse E' og G. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.10.

<sup>1</sup> Benyttet samme lastbredde over hele bjelkespennet. Medfører overdimensjonering til sikker side.

**3.situasjon:** DLB spenner i akse B7, mellom akse E' og I. E' er her fastsatt akse ut fra beregning i 1.situasjon. DLB er påkjent av: egenvekten til hulldekke på begge hyller, nyttelast fra bolig på venstre hylle, nyttelast fra fellesområde på høyre hylle, og permanent last fra overliggende bygg – i to størrelser – der én strekker seg fra akse E' til G, og én fra akse G til I. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.11.

**1.situasjon:**



Figur 4.14: 1.Lastsituasjon for DLB akse B4, mellom akse S og E', bæresystem 2

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

Tabell 4.15:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 2, situasjon 1.

Bjelkespenn: fallende lengde	Lastbredde		Lastspenn:	Lastverdi
	VS	HS		
<b>Beskrivelse:</b>				
<b>For bjelke i akse: B4</b>			Fallende lengde	2,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>bolig</sub></b>	3078 mm	3515 mm		
<b>Påkjerner: Hylle</b>				
<b>For bjelke i akse: B4</b>			L <sub>1</sub> = 2290mm	4,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>balkong</sub></b>	3078 mm	3515 mm		
<b>Påkjerner: Hylle</b>				
<b>For bjelke i akse: B4</b>				
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>				



<b>Påkjenner:</b> Hylle	3078 mm	3515 mm	Fallende lengde	4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>For bjelke i akse:</b> B4			Fallende lengde	365,2 kN/m
<b>Gjelder for:</b> Linjelast fra overliggende KL-tre				
<b>Påkjenner:</b> Topp				

Resultat for beregning av 1.situasjon i programmet E-bjelke. Fallende lengde for bjelkespennt er tøyd til 6000mm. Beregning godkjent med største momentkapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 0,61$ :

E-BJELKE versjon 6.5.9 Norsk standard

**Datagrupper som er lest inn**

Tverrsnitt  Profil  Nese

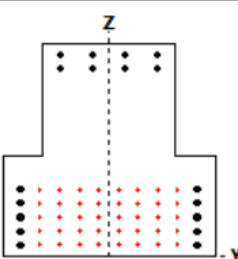

Hylle  Påstøp  Utspar

Last  Materialdata

Armering  Spennarmering

**Tverrsnitttype**
 DT
  I
  I
  Huldekke

Rektangel
  HDkomprimert
  DLB
  Vilkårlig

**Momentkontroll**

	Utloft.	t=25500
M/Md		0,61
tøyning i ok	,00044	-,00115
tøyning i uk	-,00077	,00059
SigmaC i ok	0,00	-21,96
SigmaC i uk	-15,97	0,00
SigmaS i ok		74

**Skjærkontroll**

Vgamma (kN)	1099,8
Vredusert (kN)	958,9
Vccd Trykkbrudd	2383,7
Vcd (uarmert)	918,9
Stat.nødv(mm2/m)	3037

**Nedbøyning (mm)**

felt

Avforming

**ved montasetidspunkt**

G1	-5
G1+G2	-1
G1+G2+P.langtidsdel	-1

**etter lang tid**

G1+G2	0
G1+G2+P.langtidsdel	1
G1+G2+P_total	1

**Risskontroll**

Maks rissvidde(mm)	0,000
Tillatt rissvidde(mm)	0,260

**Antall forblindinger**

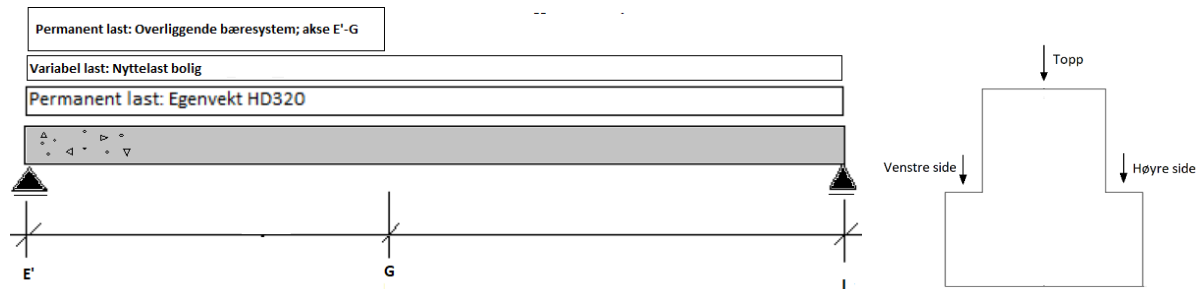
Maks forblinding (mm)

Tilleggsarm. i ok: (mm2)

Figur 4.15 Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke

Kommentar til utført beregning: DLB dimensjonert med akse E' plassert 6000 mm fra akse S. Videre fastsettelse for E' i 2. situasjon og 3. situasjon bestemmes til avstand 6000 mm fra akse S.

## 2.situasjon:



Figur 4.16: 2.Lastsituasjon for DLB akse B6, mellom akse E' og I, bæresystem 2

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

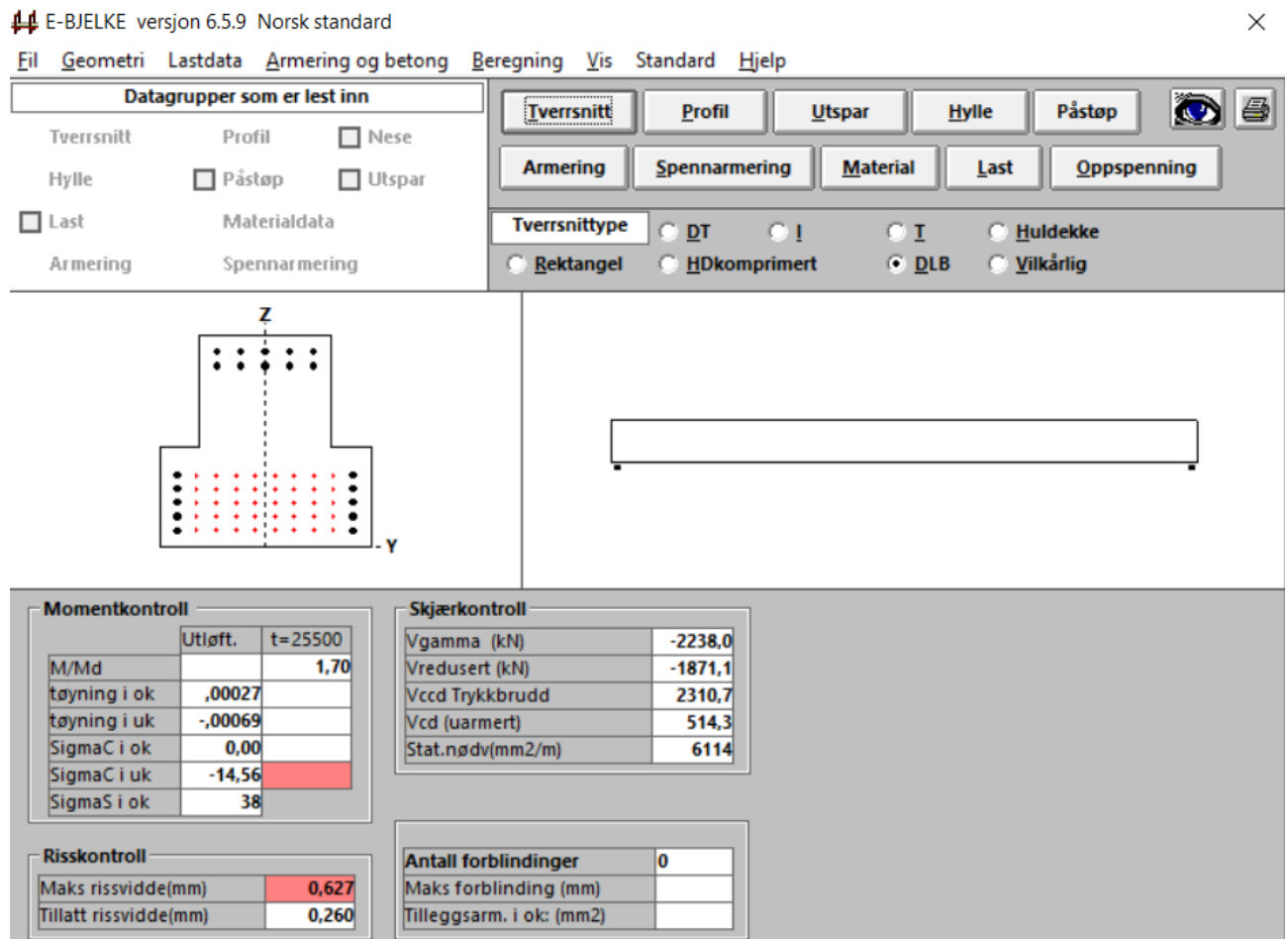
Tabell 4.16:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 2, situasjon 2.

Bjelkespenn: 10704mm	Lastbredde		Lastspenn:	Lastverdi:
Beskrivelse:	VS	HS		
For bjelke i akse: B6				
Gjelder for: $NL_{bolig}$	3515 mm	3953 mm	10 704 mm	2,0 kN/m <sup>2</sup>
Påkjenner: Hylle				
For bjelke i akse: B6				
Gjelder for: $EV_{HD320}$	3515 mm	3953 mm	10 704 mm	4,2 kN/m <sup>2</sup>
Påkjenner: Hylle				
For bjelke i akse: B6				
Gjelder for: Linjelast fra overliggende KL-tre: akse E'-G			5789 mm	355 kN/m

Påkjerner: Topp

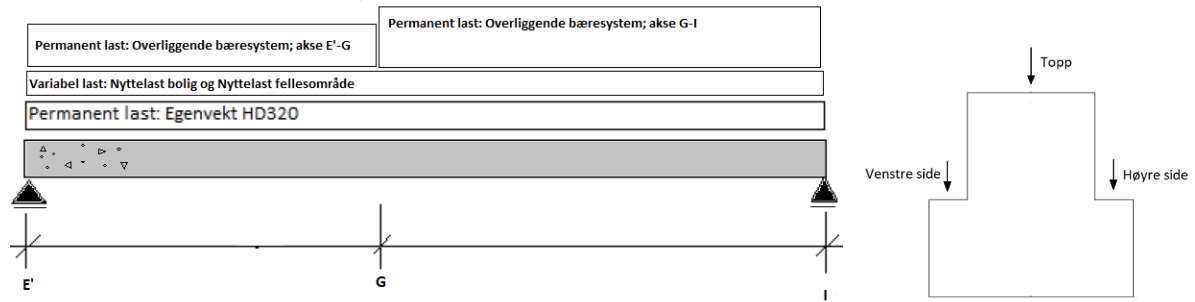
Resultat for beregning av 2.situasjon i programmet E-bjelke. Beregning ikke godkjent med største momentkapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 1,7$ . Dette vil si overskridelse ved strekk i underkant. Tøyingskontroll sviktet også:



Figur 4.17: Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke

Kommentar til utført beregning: DLB dimensjonert med akse E' plassert 6000 mm fra akse S. Lastbredde for permanent- og variabel last er beregnet likt over hele bjelkespenet. Dette medfører en større belastning, dog er det en betraktning til sikker side.

### 3.situasjon:



Figur 4.18 3. Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse E' og I, bæresystem 2

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

Tabell 4.17:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 2, situasjon 3.

<b>Bjelkespenn: 10704mm</b>	<b>Lastbredde</b>		<b>Lastspenn:</b>	<b>Lastverdi:</b>
<b>Beskrivelse:</b>	VS	HS		
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953 mm		10 704 mm	2,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>bolig</sub></b>				
<b>Påkjenner: Hylle</b>				
<b>For bjelke i akse: B7</b>		7533 mm	10 704 mm	4,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>fellesområde</sub></b>				
<b>Påkjenner: Hylle</b>				
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953 mm	7533 mm	10 704 mm	4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>				
<b>Påkjenner: Hylle</b>				
<b>For bjelke i akse: B7</b>			5789 mm	E'-G:
				200,4 kN/m

<b>Gjelder for:</b> Linjelast fra overliggende KL-tre		4915 mm	G-I: 243,5 kN/m
<b>Påkjenner:</b> Topp			

Resultat for beregning av 3.situasjon i programmet E-bjelke. Beregning ikke godkjent da største kapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 1,91$ . Dette vil si overskridelse ved strekk i underkant. Tøyningskontroll sviktet også:

E-BJELKE versjon 6.5.9 Norsk standard

Fil  Geometri  Lastdata  Armering og betong  Beregning  Vis  Standard  Hjelp

**Datagrupper som er lest inn**

Tverrsnitt  Profil  Nese  
 Hylle  Påstøp  Utspar  
 Last  Materialdata  
 Armering  Spennarmering

Tverrsnitt  Profil  Utspar  Hylle  Påstøp  
 Armering  Spennarmering  Material  Last  Oppspenning

**Tverrsnitttype**  
 DT  I  I  Huldekke  
 Rektangel  HDkomprimert  DLB  Vilkårilig

**Momentkontroll**

	Utløft.	t=25500
M/Md		1,91
tøyning i ok	,00027	
tøyning i uk	-,00069	
SigmaC i ok	0,00	
SigmaC i uk	-14,56	
SigmaS i ok	38	

**Skjærkontroll**

Vgamma (kN)	2010,7
Vredusert (kN)	1906,8
Vccd Trykkbrudd	2310,7
Vcd (uarmert)	514,3
Stat.nødv(mm2/m)	7694

**Risskontroll**

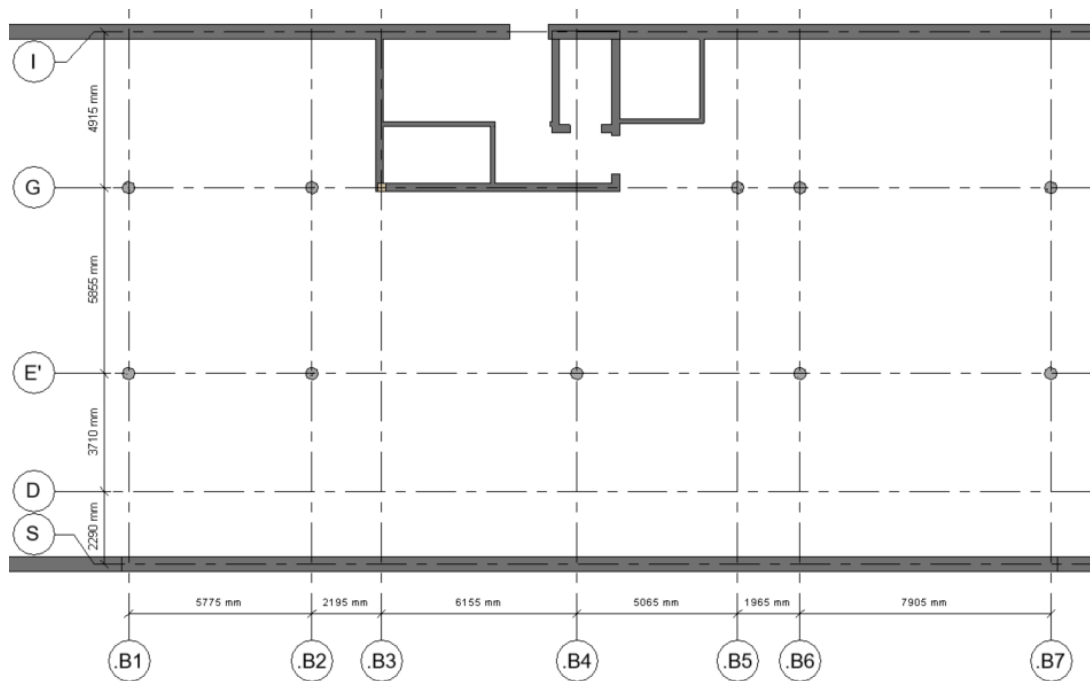
Maks rissvidde(mm)	0,619
Tillatt rissvidde(mm)	0,260

**Antall forblindinger** 0

Maks forblinding (mm)	
Tilleggsarm. i ok: (mm2)	

Figur 4.19: Resultat for dimensjonering av DLB i 3.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke

## Oppsummerende plantegning for søyleplassering i parkeringskjeller:

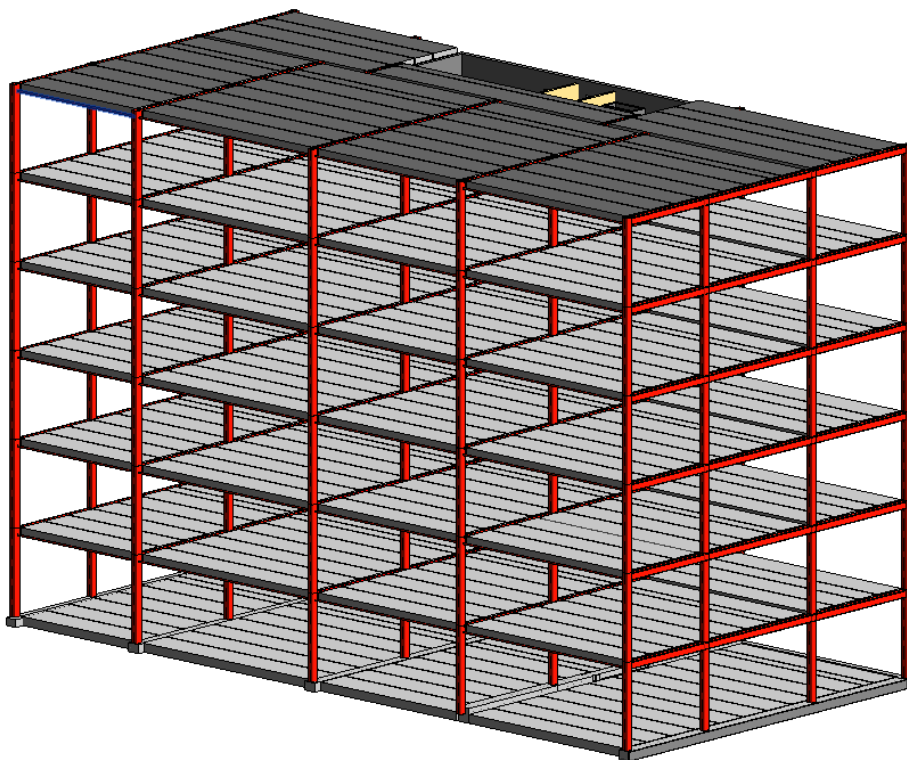


Figur 4.20: Søyleplan i parkeringskjeller. Utsnitt fra Revit

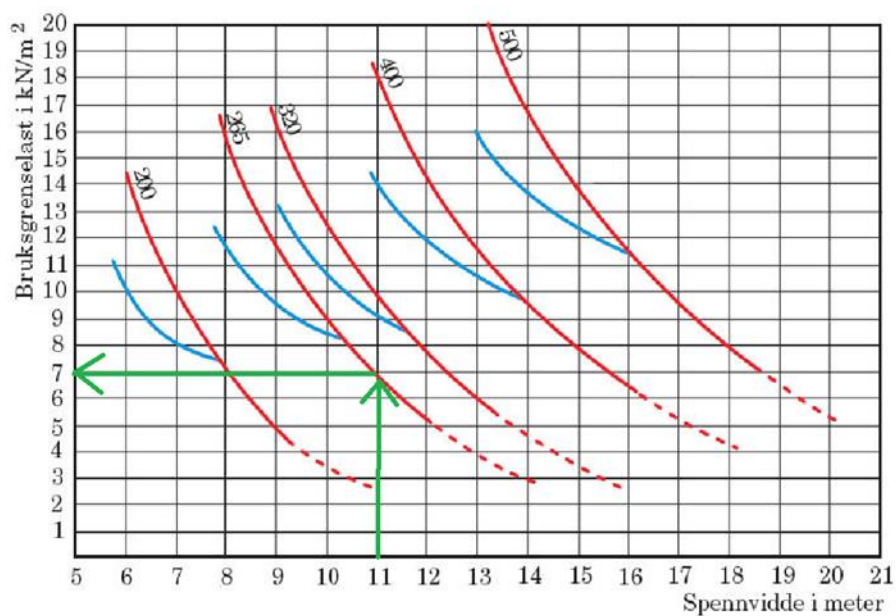
## 4.4 Bæresystem 3

### Beskrivelse av oppbygningen til bæresystemet

Bæresystem 3 er bygd opp av et søylebjelkesystem av stål og et etasjeskille av hulldekker i betong. Som vertikal bæring er det valgt kvadratiske HUP-profiler. Som sekundær horisontalbæring er det valgt THP-profil i akse B2, B5 og B6. I akse B1 og B7 er det valgt EHP-profil. Primær horisontalbæring er valgt som HD 265. Dette med bakgrunn i dimensjonering gjort av Sivilingeniør Magnus Ek Knutsen fra Spenncon, se vedlegg 4.12 samt en egenkontroll gjort mot Spenncon sitt HD-diagram, se figur 26.



Figur 4.21: 3D-modell av bæresystem 3. Utsnitt fra Revit.



Figur 4.22: Avlesing av HD-diagram fra Spenncon. Gjengitt med tillatelse fra Spenncon.

Grunnlag for bruk av HD-diagram i figur 26 er maks spennvidde i konstruksjonen og bruksgrenselasten. Det lengste spennet i systemet er 11m og bruksgrenselasten 2,0 kN/m<sup>2</sup>. HD265 viser seg egnet med kapasitet på 7,0 kN/m<sup>2</sup> for spenn på 11m.

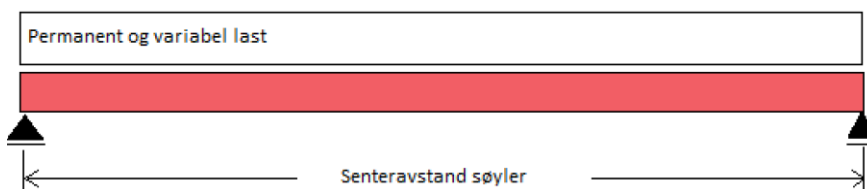
I senere kapitler følger resultat for beregninger. Disse beregningene er basert på dimensjoner gitt i underliggende tabell:

Tabell 4.18:

Bjelke-, søyle- og dekkedimensjoner, samt valgt takkonstruksjon.

Bjelke	THP 250x6-250x30-512x15
	EHP 250x6-200x30-352x15
Søyle	HUP 250x250x10,0
Dekke	HD 265
Takkonstruksjon	Lett-tak

Som nevnt under delkapittel 3.7, *Dimensjonering av bæresystem i boligbyggene*, er det hensiktsmessig å finne senteravstanden til søylene. Dette er gjort i Focus Konstruksjon og resultatene fremlegges i underkapitler av dette kapitelet. Lastsituasjoner for bestemmelse av søyleavstand er vist i figur 27.



Figur 4.23: Lastsituasjon for THP og EHP

Figuren over viser luftsituasjon til THP- og EHP-bjelken. Som permanent last inngår: egenvekt Lett-tak, egenvekt HD265 og egenvekt THP/EHP. Som variabel last inngår: nyttelast i etasjer, snølast og vindlast på tak. Lastsituasjonen er vurdert for utnyttelse av skjærspenning, bøyespenning og nedbøying. Kriterier satt tidligere i rapporten er: ingen kapasitetskontroll skal overskride 1,0 i utnyttelsesgrad.

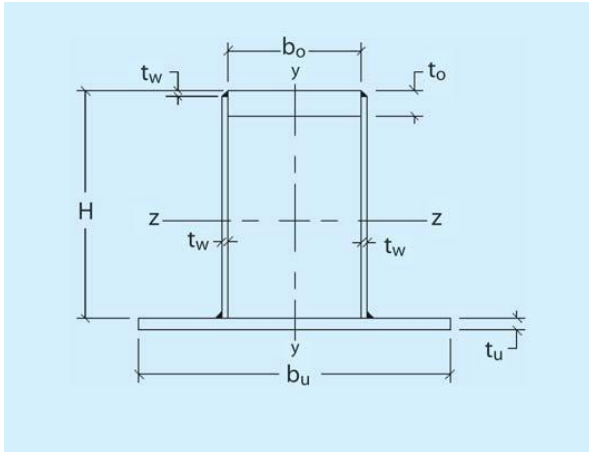
### Bakgrunn for valg av stålprofiler

Valg av bærebjelke (midt): THP 250x6-250x30-512x15

For bjelkene i aksene B2, B3, B4, B5 og B6 ble det valgt THP. Valget av THP er avhengig av type hulldekke, tykkelse på vegg, søyledimensjon og bjelkelengde. For HD265 må nominell



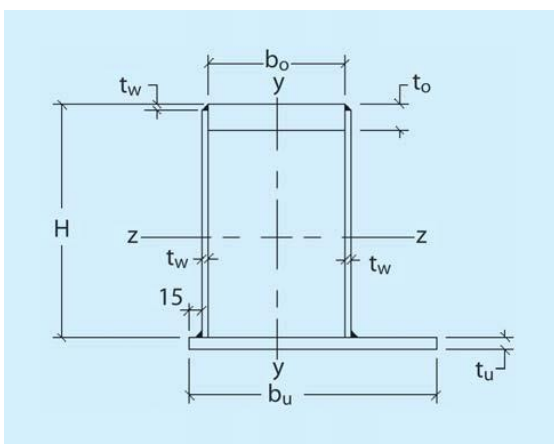
oppleggslengde være minimum 80mm. I tillegg må det ligge en fuge mellom hulldekket og hatteprofilen. Den må minimum være 30 mm. Anbefalt oppleggslengde er 125 mm. For THP 250x6-250x30-512x15 er flensbredden  $b = \frac{512-250}{2} = 131 \text{ mm}$ .  $125 \text{ mm} < 131 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$ . THP må ikke være høyere enn 15 mm lavere enn HD. Det vil si at hulldekket må ligge 15 mm høyere enn hatteprofilen (Norsk stålforbund – Betongelementforeningen, 2008).



Figur 4.24: Tosidig hatteprofil (Kilde: Norsk stålforbund – Betongelementforeningen, 2008). Gjengitt med tillatelse fra John-Erik Reiersen og Kjetil Myhre

Valg av bærebjelke (ende): EHP 250x6-200x30-352x15

For bjelkene i akse B1 og B7 ble det valgt EHP. Disse bjelkene er ensidige hatteprofiler med flens på én side. De samme betingelsene gjelder for EHP som THP. Flensbredden bør være 125 mm eller mer.  $b = 352 - 200 = 152 \text{ mm} > 125 \text{ mm} \rightarrow \text{OK}$ .



Figur 4.25: Ensidig hatteprofil (Kilde: Norsk stålforbund – Betongelementforeningen, 2008). Gjengitt med tillatelse fra John-Erik Reiersen og Kjetil Myhre

Valg av søyle: VFHUP 250x250x10,0

Valget av søyle er ikke så interessant i denne sammenheng. Dimensjoneringen ligger på antall søyler som er nødvendig for at ikke bjelkene skal gå i brudd eller få for stor nedbøying. Ytterveggene er 440 mm og innerveggene er 370 mm. Søylene vill ikke stikke utenfor denne bredden og de kan økes uten at det går utover veggene.

#### 4.4.1 Laster som inngår i videre beregninger

Laster lagt til grunn for å finne nødvendig søyleavstand i bæresystem 3 er fremlagt i underliggende tabell:

Tabell 4.19:

Egenvekter for bæresystem 3.

Last	Verdi
Egenvekt HD 265	3,64 kN/m <sup>2</sup>
Egenvekt THP	1,40 kN/m <sup>2</sup>
Egenvekt EHP	1,10 kN/m <sup>2</sup>

#### 4.4.2 Bæresystem i bolig

Tabellene under viser resultater fra programmet Focus Konstruksjon. Resultatet er fremstilt som tabeller, der det er én tabell per akse. Tabellene fremlegges i kronologisk rekkefølge, fra akse B1 til akse B7. Se delkapittel 4.1, Generelt, for beskrivelse av betydningen til tabellens innhold.

Resultater for kapasitetskontroll og forskyvingskontroll er vedlagt i vedlegg 4.13.

Akse B1 og B7 er delt opp i to rader. Akse B1 har to ulike sideliggende lastbredder: en spenner mellom akse D og G, og én spenner mellom akse G og I. Mellom akse D og G er lastbredden fordelt med akse B2. Mellom akse G og I er lastbredden fordelt med akse B3. For akse B7 gjelder det samme som for akse B1: én spenner mellom akse D og G, og én spenner mellom akse G og I. Mellom akse D og G er lastbredden fordelt med akse B6, mellom G og I er lastbredden fordelt med akse B5.

##### Akse 1:

D-G: Lastbredde = 2870 mm

G-I: Lastbredde = 3967 mm

Veggen er delt opp i 3 segmenter med 4 søyler og 3 bjelker.

Tabell 4.20:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 1.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	9,14	-7,54	533,73	18,13	0,16	34,54
	4915	0	0	-0,39	9,28	972,34	-22,35	0,05	-0,01
Segment 2	4915	0	0	-0,39	9,28	972,34	-22,35	0,05	-0,01
	10480	0	0	-4,22	5,5	767,91	-13,31	-0,08	-14,69
Segment 3	10480	0	0	-4,22	5,5	767,91	-13,31	-0,08	-14,69
	14480	0	0	-4,53	-7,25	329,3	17,53	-0,13	-18,24

### Akse 2:

D-G: Lastbredde = 7045 mm

Veggen er delt opp i 2 segmenter med 3 søyler og 2 bjelker.

Tabell 4.21:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 2.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-0,22	0	891,54	0	-104,96	0
	4783	0	0	0	0	1770,79	0	0,04	0
Segment 2	4783	0	0	0	0	1770,79	0	0,04	0
	9565	0	0	0,22	0	892	0	104,91	0

### Akse 3:

G-H: Lastbredde = 9578mm

En seksjon med 2 søyler og 1 bjelke.

Tabell 4.22:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 3.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-8,09	0	450,25	0	-0,06	0
	1775	0	0	8,09	0	450,25	0	0,06	0

#### Akse 4:

D-G: Lastbredde = 7690 mm

Veggen er delt opp i 2 segmenter med 3 søyler og 2 bjelker.

Tabell 4.23:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 4.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-0,24	0	967,17	0	-114,03	0
	4783	0	0	0	0	1922,19	0	0,05	0
Segment 2	4783	0	0	0	0	1922,19	0	0,05	0
	9565	0	0	0,24	0	967,66	0	113,98	0

#### Akse 5:

G-H: Lastbredde = 10528 mm

En seksjon med 2 søyler og 1 bjelke.

Tabell 4.24:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 5.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-0,01	0	491,64	0	-21,13	0
	1775	0	0	0,01	0	491,64	0	21,13	0

#### Akse 6:

D-G: Lastbredde = 7450 mm

Veggen er delt opp i 2 segmenter med 3 søyler og 2 bjelker.

Tabell 4.25:

Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 6.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	-0,23	0	938,98	0	-110,65	0
	4783	0	0	0	0	1865,76	0	0,05	0
Segment 2	4783	0	0	0	0	1865,76	0	0,05	0
	9565	0	0	0,23	0	939,46	0	110,6	0

#### Akse 7:

D-G: Lastbredde = 3935 mm

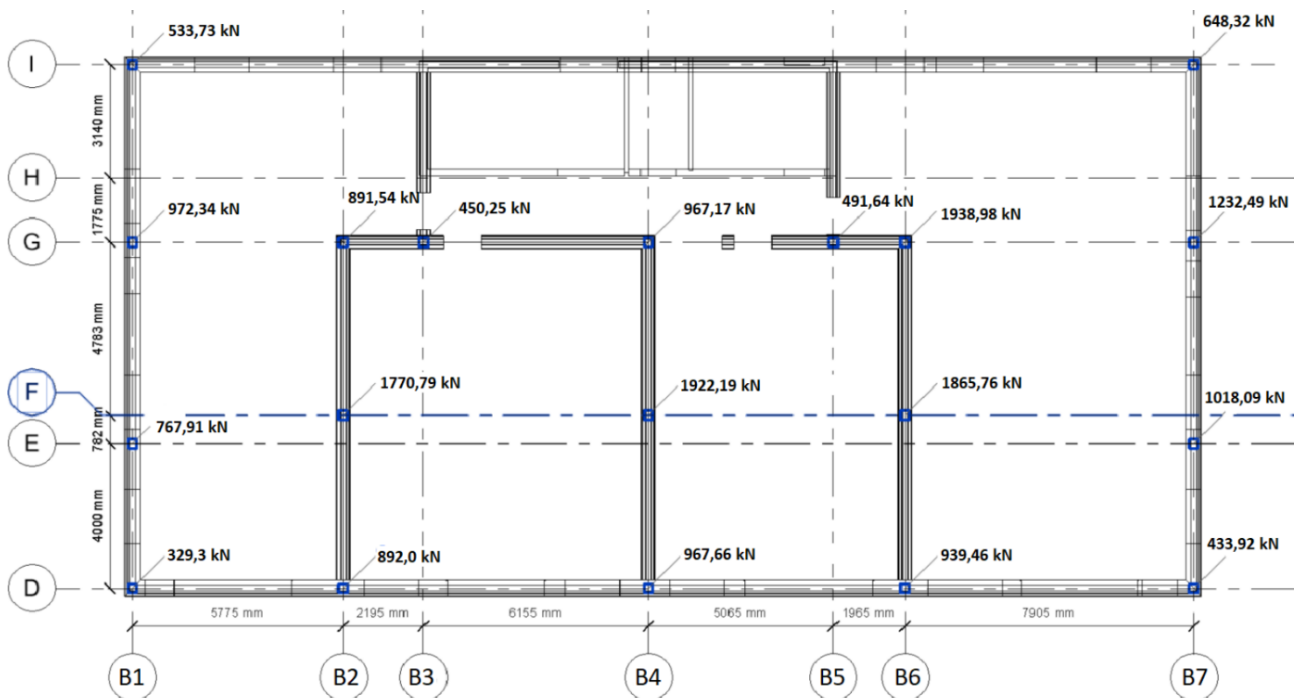
G-I: Lastbredde = 4917 mm

Veggen er delt opp i 2 segmenter med 3 søyler og 2 bjelker.

Tabell 4.26: Resultater fra Focus Konstruksjon for akse 7.

Nr.	PosX [mm]	PosY [mm]	PosZ [mm]	Rx [kN]	Ry [kN]	Rz [kN]	Mx [kN·m]	My [kN·m]	Mz [kN·m]
Segment 1	0	0	0	0,11	-9,75	648,32	23,48	-77,33	13,79
	4915	0	0	0,03	11,78	1232,49	-28,42	-3,19	1,9
Segment 2	4915	0	0	0,03	11,78	1232,49	-28,42	-3,19	1,9
	10480	0	0	-0,06	7,52	1018,09	-18,07	38,95	-5,17
Segment 3	10480	0	0	-0,06	7,52	1018,09	-18,07	38,95	-5,17
	14480	0	0	-0,09	-9,55	433,92	23,01	41,57	-8,9

Plantegning med oversikt over laster som angriper etasjeskille mellom plan 1 og parkeringskjeller:



Figur 4.26: Søyleplan i plan 1 med krefter for bæresystem 3.

#### 4.4.3 Bæresystem i parkeringskjeller

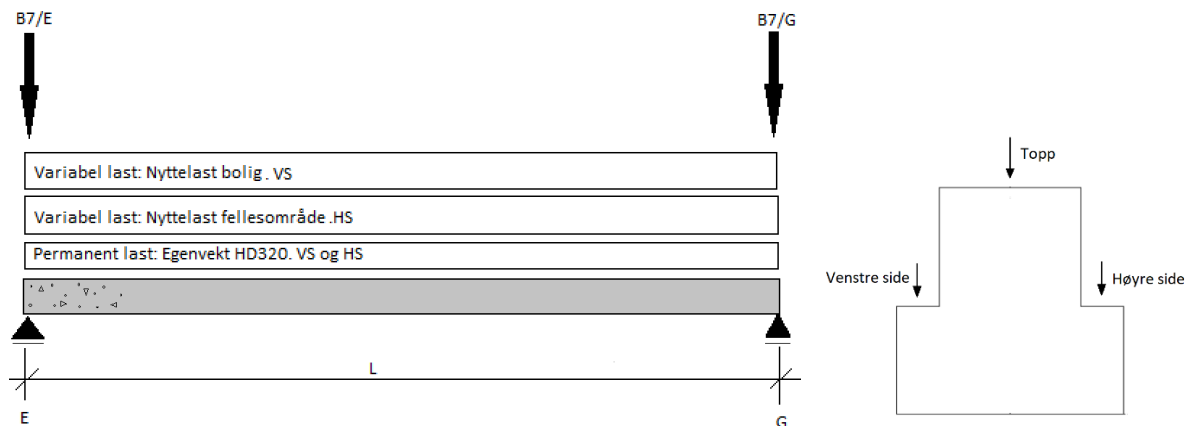
For vurdering og valg av spenn til DLB er det tatt utgangspunkt i to situasjoner, der begge er i den hardest belastede aksens:

- 1. situasjon:** DLB spenner i akse B7, mellom akse E og G. DLB er påkjent av: egenvekt hulldekke på hyller, nyttelast fra bolig på venstre hylle og nyttelast fra fellesområde på høyre hylle. Punktlaster overføres direkte til søyle. Det er ikke tatt

hensyn til knusing av DLB ved opplegg. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.14

**2. situasjon:** DLB spenner i akse B7, mellom akse D og G. DLB er påkjent av: egenvekten til hulldekke på hyller, nyttelasten fra bolig på venstre hylle og nyttelast fra fellesområde på høyre hylle. Punktlaster i D og G overføres direkte til søyle, vurderer ikke knusing av DLB ved opplegg. Punktlast i aksekryss B7/E angriper på topp. Innputt i E-bjelkeprogram ligger som vedlegg 4.15

**1. situasjon:**



Figur 4.27: 1.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse E og G, bæresystem 3

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

Tabell 4.27:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 3, situasjon 1.

Bjelkespenn: 5565mm	Lastbredde		Lastverdi:
	VS	HS	
Beskrivelse:			
For bjelke i akse: B7	3953 mm		2,0 kN/m <sup>2</sup>
Gjelder for: NL <sub>bolig</sub>			
Påkjenner: Hylle			
For bjelke i akse: B7			4,0 kN/m <sup>2</sup>
Gjelder for: NL <sub>fellesområde</sub>			

<b>Påkjerner: B7</b>			7533 mm
<b>For bjelke i akse: B7</b>			4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>	3953 mm	7533 mm	
<b>Påkjerner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			B7/E: 1018,1 kN
<b>Gjelder for: Punklast. Overføres direkte til underliggende søyle</b>			B7/G: 1232,5 kN
<b>Påkjerner: Topp</b>			

Resultat for beregning av 1.situasjon i programmet E-bjelke. Beregning godkjent med største momentkapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 0,20$ :

E-BJELKE versjon 6.5.9 Norsk standard

Fil Geometri Lastdata Armering og betong Beregning Vis Standard Hjelp

Datagrupper som er lest inn

Tversnitt  Profil  Nese  
 Hylle  Påstøp  Utspar  
 Last  Materialdata  
 Armering  Spennarmering

Tversnitt Profil Utspar Hylle Påstøp  
Armering Spennarmering Material Last Oppspenning

Tversnitttype  DT  I  I  Huldekke  
 Rektangel  HDkomprimert  DLB  Vilkårilig

Momentkontroll

	Utløst	t=25500
M/M <sub>d</sub>		0,20
tøyning i ok	,00052	,00015
tøyning i uk	,00057	,00014
SigmaC i ok	0,00	-3,73
SigmaC i uk	-11,87	-3,38
SigmaS i ok		87

Risskontroll

Maks rissvidde(mm)	0,000
Tillatt rissvidde(mm)	0,260

Skjærkontroll

Vgamma (kN)	-336,7
Vredusert (kN)	-302,3
Vccd Trykkbrudd	2104,3
Vcd (uarmert)	598,1
Stat.nødv(mm2/m)	0

Antall forbindinger 0

Maks forbindelse (mm)

Tilleggsarm. i ok (mm2)

Nedbøyning (mm)

felt

Avforming	-3
-----------	----

ved montasetidspunkt

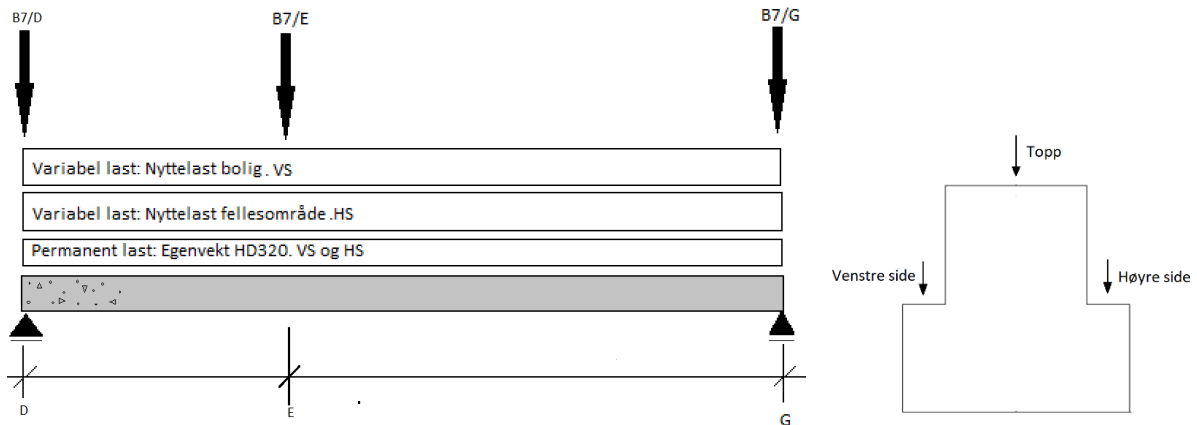
G1	-4
G1+G2	-3
G1+G2+P.langtidsdel	-3

etter lang tid

G1+G2	-4
G1+G2+P.langtidsdel	-4
G1+G2+P_total	-4

Figur 4.28: Resultat for dimensjonering av DLB i 1.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke

## 2.situasjon:



Figur 4.29: 2.Lastsituasjon for DLB akse B7, mellom akse D og G, bæresystem 3

Underliggende tabell fremstiller data som inngår i beregningsprogrammet E-bjelke:

Tabell 4.28:

Data som inngår i programmet E-bjelke, bæresystem 3, situasjon 2.

Bjelkespenn: 9565mm	Lastbredde		Lastverdi:
	VS	HS	
<b>Beskrivelse:</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953 mm		2,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>bolig</sub></b>			
<b>Påkjenner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>		7533 mm	4,0 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: NL<sub>fellesområde</sub></b>			
<b>Påkjenner: B7</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>	3953 mm	7533 mm	4,2 kN/m <sup>2</sup>
<b>Gjelder for: EV<sub>HD320</sub></b>			
<b>Påkjenner: Hylle</b>			
<b>For bjelke i akse: B7</b>			B7/D: 433,9 kN



<b>Gjelder for:</b> Punktlast. Overføres direkte til underliggende søyle		B7/G: 1232,5 kN
<b>Påkjenner:</b> Topp		
<b>For bjelke i akse:</b> B7		B7/E: 1018,1 kN
<b>Gjelder for:</b> Punktlast i spennet.		
<b>Påkjenner:</b> Topp		

Resultat for beregning av 2. situasjon i programmet E-bjelke. Beregning ikke godkjent da største kapasitetsutnyttelse  $M/M_d = 1,77$ . Dette vil si overskridelse ved strekk i underkant. Tøyningskontroll sviktet også:

E-BJELKE versjon 6.5.9 Norsk standard

Fil Geometri Lastdata Armering og betong Beregning Vis Standard Hjelp

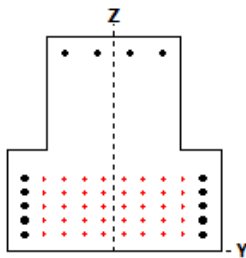

Datagrupper som er lest inn

Tverrsnitt  Profil  Nese  
 Hylle  Påstøp  Utspar  
 Last  Materialdata  
 Armering  Spennarmering

Tverrsnitt Profil Utspar Hylle Påstøp

Armering Spennarmering Material Last Oppspenning

Tverrsnitttype  DT  I  I  Huldekke  
 Rektangel  HDkomprimert  DLB  Vilkårlig

**Momentkontroll**

	Utløft.	t=25500
M/Md		1,77
tøyning i ok	,00034	
tøyning i uk	-,00072	
SigmaC i ok	0,00	
SigmaC i uk	-14,66	
SigmaS i ok	51	

**Skjærkontroll**

Vgamma (kN)	-1359,9
Vredusert (kN)	-1307,5
Vccd Trykkbrudd	2164,3
Vcd (uarmert)	806,0
Stat.nødv(mm2/m)	4272

**Risskontroll**

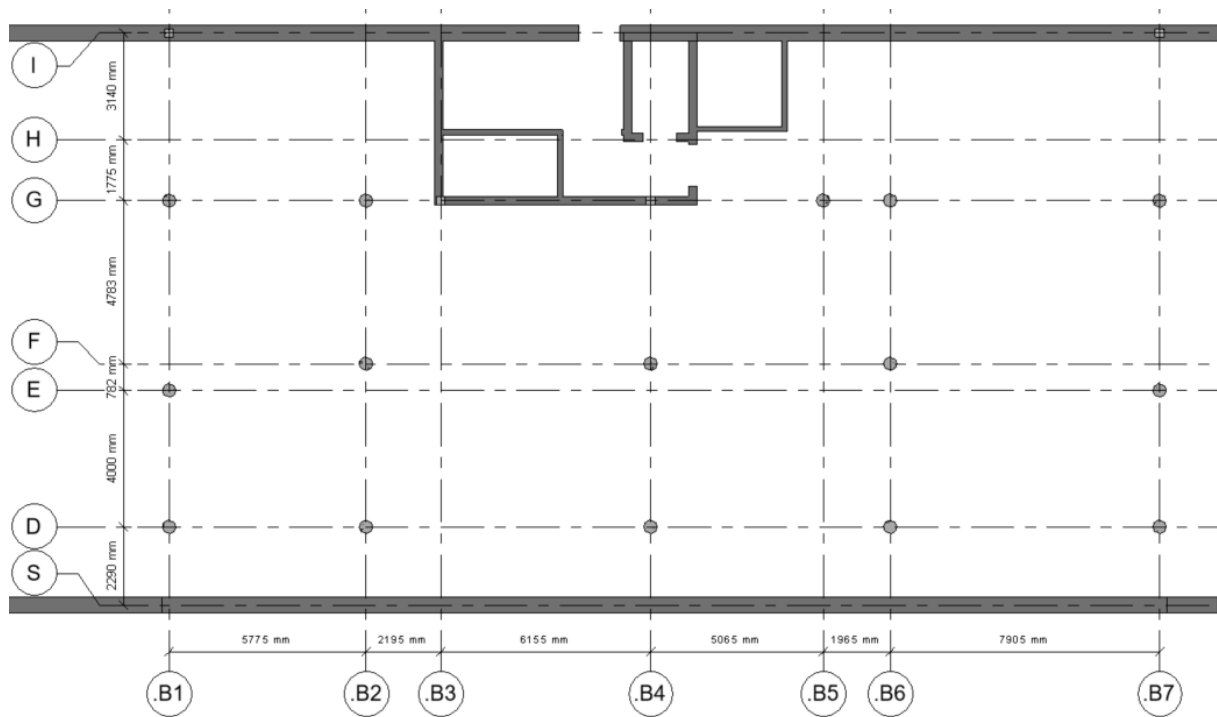
Maks rissvidde(mm)	0,439
Tillatt rissvidde(mm)	0,260

**Antall forblindinger** 0

Maks forblinding (mm)	
Tilleggsarm. i ok: (mm2)	

Figur 4.30: Resultat for dimensjonering av DLB i 2.situasjon. Utsnitt fra E-bjelke

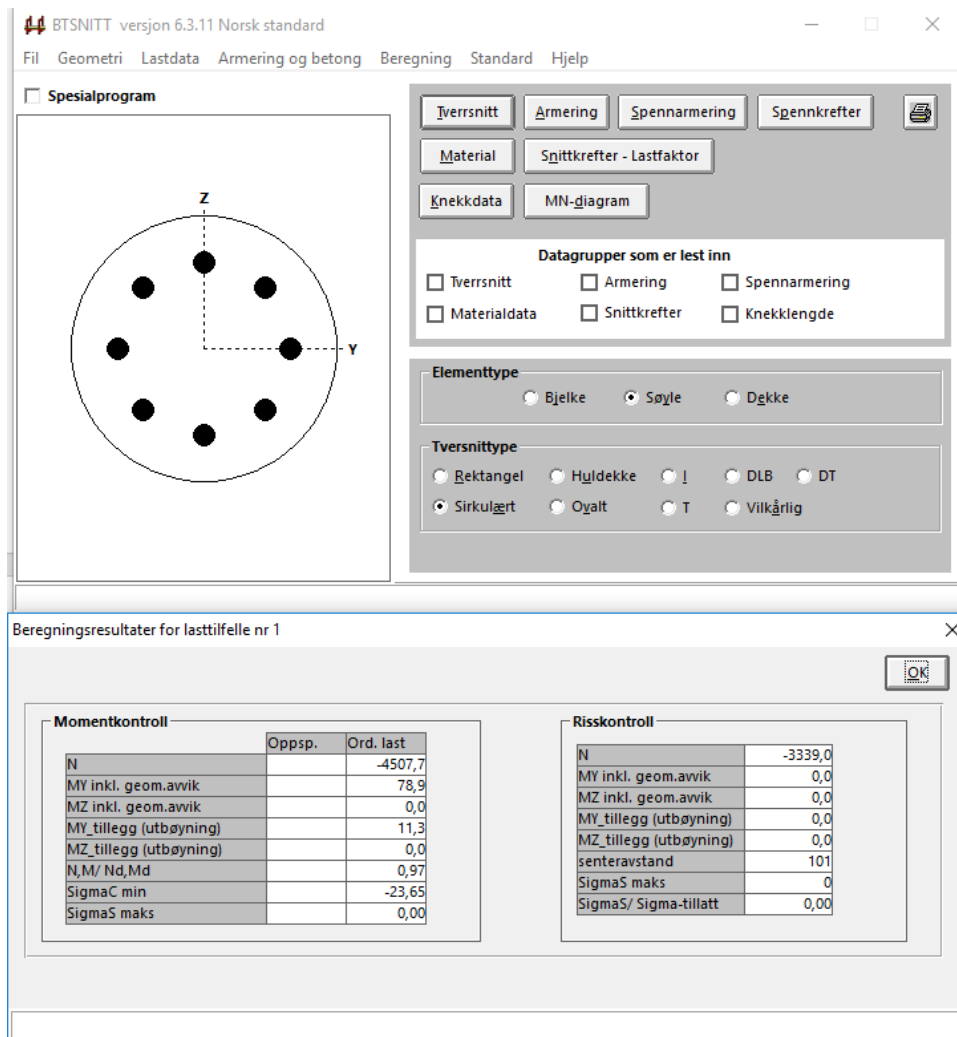
## Oppsummerende plantegning for søyleplassering i parkeringskjeller:



Figur 4.31: Søyleplan i parkeringskjeller for bæresystem 3. Utsnitt fra Revit

## 4.5 Søyer i parkeringskjeller

For vurdering og valg av søyletversnitt i parkeringskjeller er det tatt utgangspunkt i den absolutt dominerende punktlast for alle bæresystemer. Dominerende punktlast er B6/G i bæresystem 3, med verdi 1939 kN. Se figur 4.26. Samtidig legges påkjenning fra DLB til med en samlet opplagerreaksjon lik 700 kN. Under fremlegges beregningsresultat for betongsøyle  $\text{Ø}400\text{mm}$ ,  $L=2700\text{mm}$ , fra programmet BT-snitt:



Figur 4.32: Resultat for søyledimensjonering i parkeringskjeller. Utsnitt fra BT-snitt.

Beregning i BT-snitt viser seg godkjent ved bruk av 8  $\varnothing 32$ . Denne søylen benyttes i alle søylepunkt i parkeringskjeller for samtlige bæresystemer. For dokumentasjon av beregning, se vedlegg 4.16.

Under følger en oppsummerende tabell over antall søyler som er nødvendig for å støtte oppunder DLB i parkeringskjeller.

Tabell 4.29:

Antall søyler under bygg B for bæresystem 1-3.

Bæresystem nr.	Antall søyler
1	19 stk
2	10 stk
3	15 stk

## 4.6 Fundamentering

### Bæresystem 1

For bæresystem 1 viser beregninger for bæresystem i parkeringskjeller at det er nødvendig med 19 søyler. Under vises utsnitt for beregning av totalt nødvendig fundamentareal for bæresystem 1. Beregninger er gjort i Maple og baserer seg på metoden fremlagt i delkapittel 2.10, *Grunnlag for vurdering av fundament*. For utregning av søylelastene blir punktlaster i første etasje fra bygget lagt til grunn.

▼ **Alternativ 1**

Gjennomsnittlig punktlast fra søylene

Antall søyler

>  $stk1 := 19$   $stk1 := 19$  (1.1)

Sum av punktlaster (kN)

>  $p11 := 666.47 + 431.9 + 431.23 + 219.34 + 515.41 + 1030.15 + 1017.5 + 515.41 + 1115.15 + 1115.15 + 561.06 + 1445.8 + 1066.25 + 1052.87 + 516.69 + 738.57 + 583.11 + 582.2 + 249.88$   $p11 := 13854.14$  (1.2)

Gjennomsnittskraft per søyle (kN)

>  $sk1 := \frac{p11}{stk1}$   $sk1 := 729.1652632$  (1.3)

Maksimalt grunntrykk (kN/m<sup>2</sup>)

>  $sig1 := 250$   $sig1 := 250$  (1.4)

Nødvendig areal for fundament (m<sup>2</sup>)

>  $A1 := \frac{sk1}{sig1}$   $A1 := 2.916661053$  (1.5)

Totalt fundamentareal under bygg B (m<sup>2</sup>)

>  $FA1 := A1 \cdot stk1$   $FA1 := 55.41656001$  (1.6)

Figur 4.33: Beregning for fundament i bæresystem 1. Utsnitt fra Maple

Beregninger viser nødvendig fundamentareal under bygg B lik 55,42 m<sup>2</sup> for en gjennomsnittlig søylekraft lik 729,2 kN.

## Bæresystem 2

For bæresystem 2 viser beregninger for bæresystem i parkeringskjeller at det er nødvendig med 10 søyler. Under vises utsnitt for beregning av totalt nødvendig fundamentareal for bæresystem 2. Beregninger er gjort i Maple. For utregning av søylelastene blir linjelastene i første etasje fra bygget, lagt til grunn. Se vedlegg 4.17 for utregning.

▼ **Alternativ 2**

Gjennomsnittlig punktlast fra søylene

Antall søyler

$$\begin{aligned} > \text{stk2} := 10 \\ & \text{stk2} := 10 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Sum av punktlaster (kN)

$$\begin{aligned} > \text{pl2} := G1 + S1 + S2 + G2 + S4 + G5 + G6 + S6 + S7 + G7 \\ & \text{pl2} := 13811.15172 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Gjennomsnittskraft per søyle (kN)

$$\begin{aligned} > \text{sk2} := \frac{\text{pl2}}{\text{stk2}} \\ & \text{sk2} := 1381.115172 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Maksimalt grunntrykk (kN/m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{sig2} := 250 \\ & \text{sig2} := 250 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Nødvendig areal for fundament (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{A2} := \frac{\text{sk2}}{\text{sig2}} \\ & \text{A2} := 5.524460688 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Totalt fundamentareal under bygg B (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{FA2} := \text{A2} \cdot \text{stk2} \\ & \text{FA2} := 55.24460688 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Figur 4.34: Beregning for fundament i bæresystem 2. Utsnitt fra Maple

Beregninger viser nødvendig fundamentareal under bygg B lik 55,24 m<sup>2</sup> for en gjennomsnittlig søylekraft lik 1381,1 kN.

## Bæresystem 3

For bæresystem 1 viser beregninger for bæresystem i parkeringskjeller at det er nødvendig med 15 søyler. Under vises utsnitt for beregning av totalt nødvendig fundamentareal for bæresystem 1. Beregninger er gjort i Maple. For utregning av søylelastene blir punktlasten i første etasje fra bygget, lagt til grunn.

### Alternativ 3

Gjennomsnittlig punktlast fra søylene

Antall søyler

$$\begin{aligned} > \text{stk3} &:= 15 & \text{stk3} &:= 15 & (4.1) \end{aligned}$$

Sum av punktlaster (kN)

$$\begin{aligned} > \text{pl3} &:= 972.34 + 767.91 + 329.3 + 891.54 + 1770.79 + 892 + 1922.19 + 967.66 + 491.64 + 1938.98 + 1865.76 + 939.46 + 1232.49 \\ &+ 1018.09 + 433.92 & \text{pl3} &:= 16434.07 & (4.2) \end{aligned}$$

Gjennomsnittskraft per søyle (kN)

$$\begin{aligned} > \text{sk3} &:= \frac{\text{pl3}}{\text{stk3}} & \text{sk3} &:= 1095.604667 & (4.3) \end{aligned}$$

Maksimalt grunntrykk (kN/m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{sig3} &:= 250 & \text{sig3} &:= 250 & (4.4) \end{aligned}$$

Nødvendig areal for fundament (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{A3} &:= \frac{\text{sk3}}{\text{sig3}} & \text{A3} &:= 4.382418668 & (4.5) \end{aligned}$$

Totalt fundamentareal under bygg B (m<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} > \text{FA3} &:= \text{A3} \cdot \text{stk3} & \text{FA3} &:= 65.73628002 & (4.6) \end{aligned}$$

Figur 4.35: Beregning for fundament i bæresystem 3. Utsnitt fra Maple

Beregninger viser nødvendig fundamentareal under bygg B lik 65,73 m<sup>2</sup> for en gjennomsnittlig søylekraft lik 1095,6 kN.

For å enklere kunne gjøre en oversiktlig sammenligning samles resultatene i tabellen under:

Tabell 4.30:

Oppsummering av fundamentsrelaterte resultater.

Bæresystem nr.	Antall søyler [stk]	Total punktlast [kN]	Gjennomsnittskraft per søyle [kN]	Nødvendig areal for fundament [m <sup>2</sup> ]	Totalt fundamentareal under bygg B [m <sup>2</sup> ]
1	19	13854	729	2,92	55,42
2	10	13811	1381	5,52	55,25
3	15	16434	1096	4,38	65,73

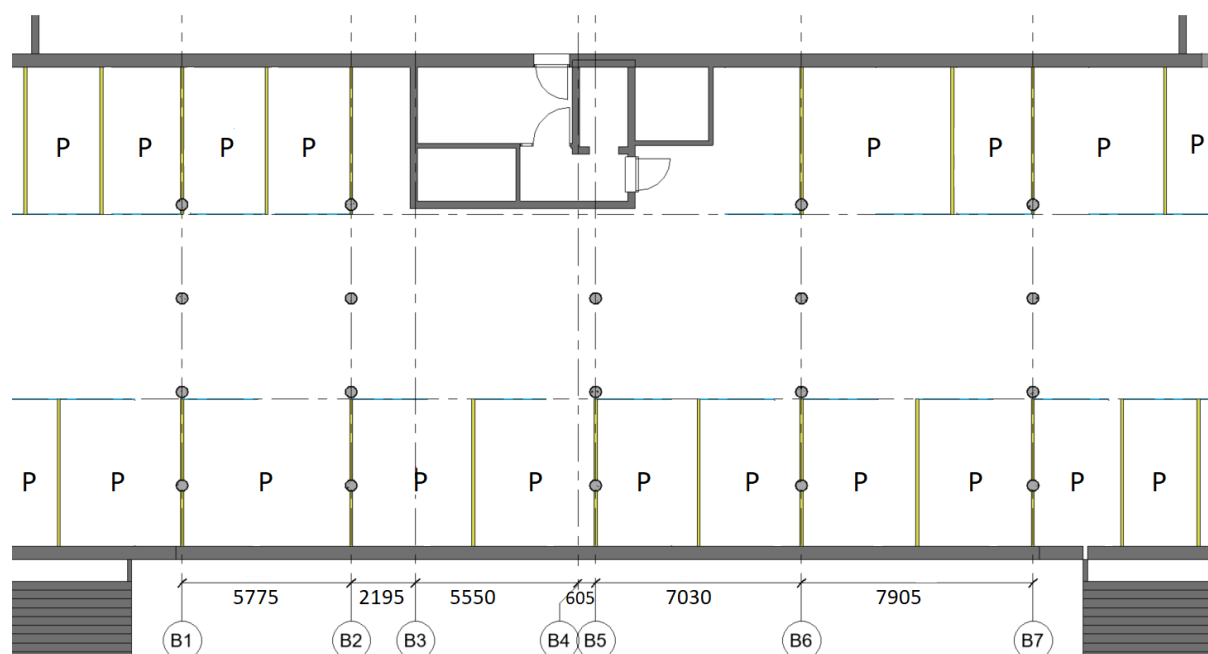
## 4.7 parkeringsplasser

Tabell 4.31:

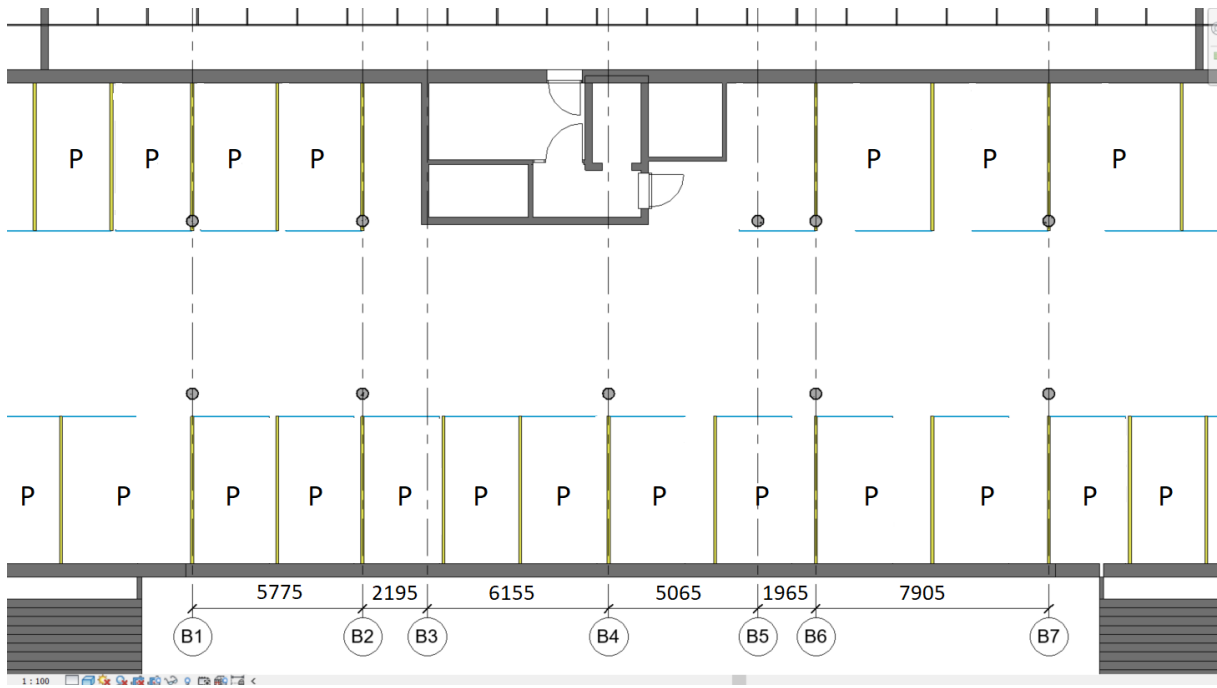
Oppsummering av antall parkeringsplasser for bæresystem 1-3, og antall parkeringsplasser i optimal løsning.

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
P-plasser, høy standard (plasser)	52	57	52
Optimal løsning uten søyler (plasser)	73		

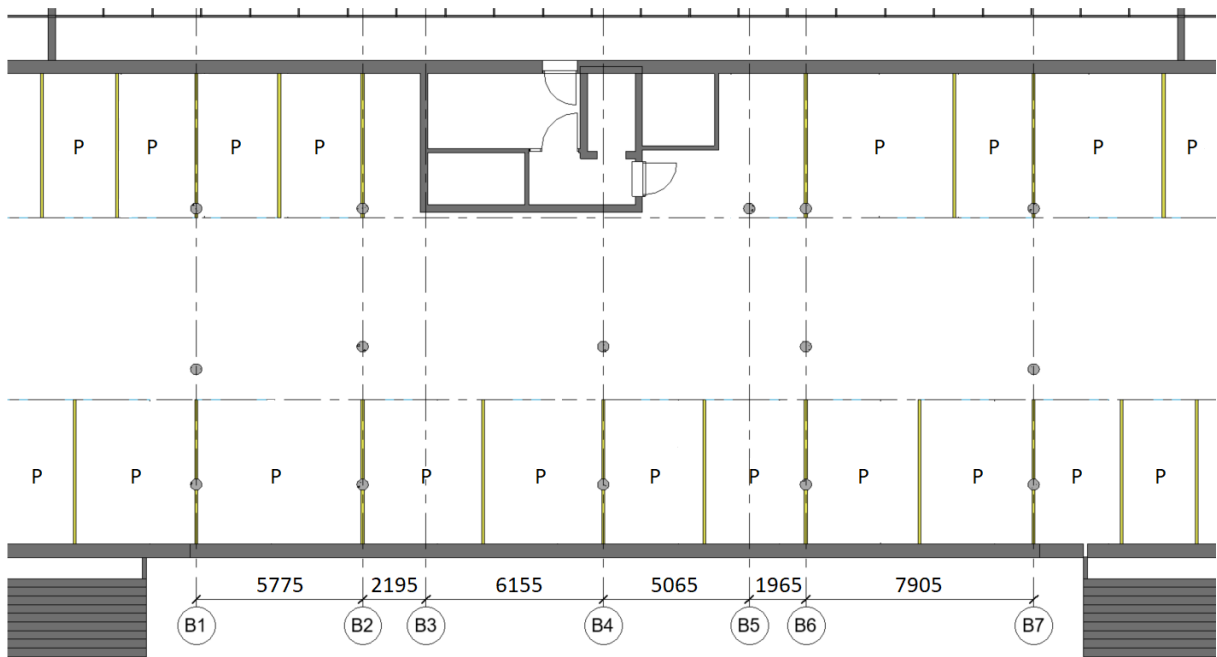
De tre bildene under viser plasseringen av parkeringsplasser for alle de tre alternativene. Som nevnt i forordet er det ikke tatt hensyn til hvorvidt inndelingen er lønnsom mtp. generell ferdsel i P-kjelleren, men heller oppfyllelse av størrelseskrav. Bildene under representerer ikke hele kjelleren, men et utklipp av området under bygg B (det midterste bygget). Hele oversikten ligger som vedlegg 4.18. Denne avgjørelsen ble tatt for å sikre stort bilde med god kvalitet.



Figur 4.36: Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 1. Utsnitt fra Revit. Alle mål i mm.



Figur 4.37: Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 2. Utsnitt fra Revit. Alle mål i mm.



Figur 4.38: Plassering av parkeringsplassene for bæresystem 3. Utsnitt fra Revit. Alle mål i mm.



# 5 Drøfting og konklusjon

## 5.1 Drøfting av metode

Etter å ha gjennomført dette studiet er det naturlig å diskutere arbeidsmetoden og framgangsmåten vår. Er vår framgangsmåte den best egnede for å svare på problemstillingen? Vi mener; *ja*. Dette begrunnes med valg om bruk av et grundig dypdykk i tidligere forskning/teori på området, hvilket viste seg å være særs lite, samt simuleringer ved hjelp av diverse simuleringsprogram. Dog kunne det vært ønskelig å inkludere 3D-simuleringer for å verifisere resultatene våre, men tilgjengelige ressurser og tid strakk ikke til.

Et av de viktigste valgene som ble tatt ved planlegging og gjennomføring var å låse variabler som ikke var en del av rapportens forskningsspørsmål. Det vil si å låse ting som f.eks. takkonstruksjon og materialbruk i etasjeskille mellom plan 1 og P-kjeller, dette er med på å styrke undersøkelsens målevaliditet mot fokuset – ulikheten ved bruk av forskjellige bæresystem i boligbygget. Altså at de indikatorene og variablene som inkluderes i oppgaven måler/er med på å bestemme det de faktisk er satt til. Ved hjelp av simuleringer og kontrollberegninger av verdier på veien mot resultatene, styrkes undersøkelsens reliabilitet, dette ved å bekrefte at det vi har antatt/regnet oss frem til stemmer. Ved denne typen metodevalg mener vi at studiet er etterprøvbart, med anbefaling om å inkludere de forslag til videre arbeid som er gitt senere i kapittelet.

## 5.2 Drøfting av resultater

Dette kapittelet retter fokuset mot drøfting og diskusjon av resultatene fremlagt i kapittel 4. Med dette menes å se på hva resultatene betyr for problemstillingen og hvorvidt de kan tolkes på andre måter. Grad av troverdighet og miljøaspekter vil også bli vurdert.

### 5.2.1 Tolkning av studiets resultater

Studiets resultater er i liten grad åpen for andre tolkninger enn det denne rapporten tar for seg. Det kommer av de rammene, begrensningene og forutsetningene som er satt. Dersom man beveger seg ut over disse, og utvider spekteret, kan ulike tolkninger forekomme. De ulike tolkningene kommer av hvilket perspektiv som står i fokus og hvilke begrensinger som blir lagt til grunn. Eksempelvis kan følgende perspektiv fremprovosere andre tolkninger: brann-, miljø- og økonomiskperspektiv. Denne studien er også utført gjennom simulering i nevnte

programmer. Blir det benyttet andre programmer i en lik studie, kan andre resultater forekomme. Dette selv om inndata er de samme.

### **5.2.2 Parkeringsutnyttelse**

Denne rapporten tar utgangspunkt i en eksisterende BIM-modell fra HENT. I denne modellen har arkitekten satt føringer for bærende vegger, sjakter og lignende. Bruken av denne modellen har begrenset rapportens kreativitet med at akseplasseringer er låst til arkitekt-tegnet modell. De bærende aksene er akse B1 til og med akse B7. Det er tydelig at avstanden mellom aksene ikke er optimalisert med tanke på inndeling av parkeringsplasser i kjelleren. I aksene går det store krefter, noe som medfører problemer ved utforming av bæresystemet i kjelleren. Hvis disse aksene flyttes sideveis, slik at avstanden mellom aksene sammenfaller med modulen til parkeringsplasser, vil kjelleren utnyttes i større grad.

Studiens resultater tolkes dit hen at det beste alternativet for bæresystem i boligbygg er massivtre – sett i lys av god parkeringsutnyttelse i kjeller. I forhold til bæresystemene av limtre og betong/stål viser massivtre seg best egnet grunnet lastsituasjonen den skaper. Massivtre danner en lastsituasjon med linjelaster på grunn av skivekonstruksjonen. Limtre og betong/stål danner punktlaster, på grunn av søylebjelkekonstruksjonen. Linjelasten viser seg særlig gunstig da situasjonen skaper et spillerom for lastnedføring fra boligbygg til parkeringskjeller. Det er erfart ved dimensjonering av parkeringskjeller at det er vanskelig å fjerne dirkede understøttelse av store punktlaster. Dette baseres på at punktlastene vil øke faren for store skjærbrudd hvis understøttelse fjernes eller flyttes.

Søylene kan enklest flyttes for linjelaster, men de kan kun flyttes langs aksene linjelasten angriper. Dette gir kun gevinst ved at søyler kan plasseres ved bak- og framhjulene til bilene og med det frigjøre 250mm av parkeringsplassen. Den største gevinsten er å flytte søylene mellom parkeringsplassene, langs med kjelleren. Et eksempel på dette er i ytterkant av parkeringskjelleren i akse A1. Her er det akkurat ikke plass til to parkeringsplasser på grunn av en søyle som er plassert 119mm for tett på ytterveggen. Ved å flytte den søylen, vil det frigjøre plass til én ekstra parkering.

Ved vurdering av utnyttelsesgraden, anses alle løsningene som ikke optimale. Som fremvist i tabell 4.31, har parkeringskjelleren rom for 73 parkeringsplasser totalt. De tre bæresystemene gir 57- og 52 parkeringsplasser. Under fremlegges en vurdering av utnyttelsesgraden til bæresystemene i forhold til optimal utnyttelse:

- Utnyttelsesgrad for bæresystem 1 og 3 =  $\left(\frac{52}{73}\right) \cdot 100\% = 71,23\%$  av optimal løsning
- Utnyttelsesgrad for bæresystem 2 =  $\left(\frac{57}{73}\right) \cdot 100\% = 78,08\%$  av optimal løsning

Årsaken til at ingen av de alternative bæresystemene utnytter parkeringskjelleren særlig godt er det manglende sammenfallet mellom leilighetsbyggene og parkeringskjelleren. Tapet på om lag 20% og 30% av parkeringsplasser kommer i hovedsak av avstanden mellom de bærende aksene. Om disse aksene flyttes, som tidligere nevnt, vil kjelleren bli utnyttet i større grad.

### **5.2.3 Tiltak som kan gjøres for bedre parkeringsutnyttelse**

Det er særlig akse D og G som er betydningsfulle for å øke antall parkeringsplasser i kjelleren. Færre søyler i disse aksene skaper flere parkeringsplasser. Tiltak kan gjøres for at bæresystem 1 og 3 kan få like mange plasser som bæresystem 2. Blir det ikke gjort noe med bæresystemet i bygget, må en DLB av større tverrsnitt plasseres for å understøtte punktlaster i akse D. Det er søylerekken i denne aksen som er svært ugunstig plassert og gir et betydelig tillegg i størrelsen til parkeringsplassen. De er plassert midt i parkeringsplassene, 2,06 m fra veggen. Bilene har plassert sine dører i denne sonen.

Krav fra Byggforsk fører til at bæresystem 1 og 3 får et betydelig tillegg i lastbredden, noe som er avgjørende for at de har fem plasser mindre. Akse D er ytterveggen i boligbygget og kan ikke flyttes. Lastene i akse D er for store til at DLB kan håndtere de. En løsning for å avlaste denne aksen er å tilføre en søyle til i bæresystemet i bygget over. Dette vil avlaste søylen i akse D og den nye søylen kan man plassere i den sonen framhullet på bilene er.

Tiltak kan gjøres kollektivt for at alle de alternative bæresystemene kan forbedres med tanke på parkeringsplasser. Planløsningen i bygget kan endres, hvor aksene til bærende vegger kan flyttes for optimal løsning i kjeller. En annen løsning er å benytte seg av et tykt etasjeskille mellom parkeringskjeller og plan 1. Et tykt etasjeskille vil kunne ta opp store punktlaster og fordele de til yttervegger og større velplasserte søyler. Det vil fjerne behovet for direkte understøttelse av punktlaster, noe som automatisk frigir plass til flere parkeringsplasser.

### **5.2.4 Verdien av parkeringsplasser**

Med dagens marked for parkeringsplasser, et marked med økende etterspørsel, øker verdien i takt med tiden. Dette resulterer at prisen for én ekstra parkeringsplass i parkeringskjelleren fort kan bety en ekstra verdi på ca. 200 000 NOK, individuelt sett bare for parkeringsplassen. Dette er en verdi gitt av Brita Hagen i Eiendomsmeidler 1 Brumunddal den 8.april gjennom e-

postkorrespondanse. Utgangspunktet for prisen er prosjekter innad i bedriften. Disse prosjektene er Centrumparken og Portalen. Samtidig vil parkeringsplassen i de fleste tilfeller selges i direkte tilhørighet til en leilighet, hvilket vil bety en økning i verdi for salgspakken. En parkeringsplass i umiddelbar nærhet til leiligheten man benytter, i tillegg til at den er i samme bygg, er noe de fleste kjøpere verdsetter høyt.

Gevinsten av 57 parkeringsplasser kontra 52 parkeringsplasser er bedre utnyttelse av materialer og areal. Med det menes en oppsatt konstruksjon som opprettholder sine funksjoner, samtidig som den kan huse flere biler. Dette fører til at færre av parkeringsplassene må legges til rette for, og ta opp areal, på prosjektets tomt. Med mindre behov for tomtearealer til parkering utenfor selve konstruksjonen, vil man i større grad kunne legge til rette for eventuelle andre prosjekter, slik som fritidsarealer eller bygninger.

### **5.2.5 Fundamentering**

Det er viktig å merke seg at resultatet er regnet ved å se bort fra egenvekten til parkeringskjeller. Dette for best mulig sammenligningsgrunnlag av bæresystemene i seg selv.

I tabell 4.30 finnes en oppsummering av laster og arealer for fundamentering i de tre bæresystemene. Totalt gjennomsnittlig fundamentareal er nokså likt for de tre bæresystemene. Dette har en direkte sammenheng med egenvekten til systemene der bæresystem av stål og betong er noe tyngre enn trevirke, og vil med det naturligvis kreve større fundamentareal. Dog er det interessant å vurdere nødvendig fundamentareal for gjennomsnittlig kraft per søyle. Her krever bæresystem av massivtre størst areal og bæresystem av limtre krever minst. Ved sammenligning av fundamentarealet for snittkraften, er en vurdering av antall fundamenter vesentlig. Her krever et bæresystem av limtre om lag det dobbelte av et bæresystem i massivtre. Bæresystem av stål og betong kommer på andre plass. Dette resulterer i at bæresystem av limtre krever mange og små fundamenter, massivtre krever få og store fundamenter – og til sist – stål og betong krever mange og mellomstore fundamenter.

Antall fundamentpunkter er i denne oppgaven sett på som et viktig vurderingspunkt. Dette fordi arbeidet med å lage et fundament er tidkrevende gjennom utmåling, plassering, forskaling og armering. Størrelsen på fundamentet spiller ikke særlig inn på arbeidstiden, men da heller i mengde betong.

## 5.3 Kan det generaliseres?

Et av delmålene for denne rapporten var å kunne komme opp med en optimalisert og komplett løsning for bæresystemene, med fokus på god parkeringsutnyttelse for underliggende parkeringskjeller. I tillegg til dette var en del av målet å kunne bruke de tendensene som resultatene antyder, til en generalisering på problemet. Slike forskningsprosjekter, med relativt minimal tid, setter begrensninger for hvor reelt problemløsningen blir. Det er en selvfølge at ulike begrensninger og forutsetninger må settes for undersøkelsen for å i det hele tatt komme i mål. Dette vil i enkelte tilfeller innebære at man går bort fra det reelle til det generelle – altså slik prosjekter blir løst i virkeligheten, og mot en forenklet versjon av virkeligheten. Dette er en svak side som gjelder denne undersøkelsen. Den konklusjonen som framkommer av denne undersøkelsen kan derfor sees på som en indikasjon og veiledning for reelle prosjekter, men ikke en direkte implikasjon for praksis.

## 5.4 Feilkilder

### Program

- Det kan forekomme feil bruk av innstillinger i Focus Konstruksjon. Konsekvensen kan gi feil verdier og kontroller. Feilkilden ligger hos brukeren av programmet.
- Det kan ha blitt oversett viktige sammenhenger mellom bæreskjelettene i aksene. Dette fordi bygningen naturlig opptrer som en 3D-situasjon, med dynamisk samspill mellom bæreskjelettene, der bygningen er ett komplett system. Feilkilden ligger i metoden for dimensjonering.
- Det kan bli puttet inn feil verdier i Maple som videre resulterer i feil svar. Feilkilden ligger hos brukeren av Maple.

### Utregning

- Senteravstanden mellom aksene lagt frem i rapporten samsvarer ikke med de senteravstandene som blir brukt i Maple. Årsaken er ulik søyleplassering fra forprosjekteringen til resultat. Feilen er på maks 15 mm og gjelder bare tre senteravstander. Dette er akseptabelt og det går ikke særlig utover resultatet.
- Feil kan oppstå i beregninger og dimensjonering gjort av eksterne bedrifter. For eksempel Lett-tak eller Spenncon. Da disse bedriftene er profesjonelle aktører, er det tatt utgangspunkt i at beregningene er korrekte.

## Materialer

- Egenvekten til konstruksjonen kan være feil. Selv om det hele tiden har vært fokus på å være kildekritisk, kan egenvekten være gitt ved unøyaktige verdier fra den nettsiden/den parten de har blitt hentet/gitt fra.
- Bygningsdelen mellom bygg og P-kjeller kan mangle noen egenvekter. Vi har kun regnet meg bygget rett på DLB og hulldekket. Her kan det eksempelvis ligge et betongdekke over P-kjelleren som ikke er medregnet.
- Det kan mangle noen egenvekter. Dette er noe som sikkerhetsfaktoren 1,2 i formel 6.10b skal ta seg av, og de er ikke mange eller store.

## Metode

- Valget med å dimensjonere alle vektene i Maple og ikke putte de karakteristiske verdiene inn Focus kan være en feilkilde med tanke på at det er et ledd ekstra hvor det kan ha oppstått feil.
- Det er kun én person som har hatt ansvar for utregning. Dette gir ingen etterkontroll og feil kan ha oppstått som ikke blir etterprøvd.

## 5.5 Konklusjon

I denne studien er det sett nærmere på hvilket av tre ulike bæresystemer i et boligbygg som utformer bæresystemet i den underliggende parkeringskjeller på best mulig måte.

Vurderingskriterier for studiet er satt til: søyleplassering med utnyttelse av parkeringsareal, fundamentering og miljø.

Tabell 5.1:

Oppsummering av antall søyler, antall parkeringsplasser og totalt fundamentareal under bygg B for bæresystem 1-3.

Bæresystem nr.	Antall søyler [stk]	Antall parkeringsplasser (totalt) [stk]	Totalt fundamentareal under bygg B [m <sup>2</sup> ]
1	19	52	55,42
2	10	57	55,25
3	15	52	65,73

**Bæresystem 1, søylebjelkesystem av limtre:** viser seg godt egnet i et miljøperspektiv og bygningens fundamentering. Bjelkene i tre er svake på lange spenn og det oppstår dermed hyppige lastnedføringer i form av punktlaster. Dette er lite heldig for parkeringskjeller, noe som gjenspeiles i den systemløsningen som krever flest søyler.

**Bæresystem 2, vegger og etasjeskille av massivtre:** krever minste nødvendige fundamentareal og færrest søylepunkter i P-kjelleren. Bæresystemet er sterkt dominert av trevirke som er et miljørettet godt materiale, både med tanke på råvaren og at massivtre kan produseres av trevirke med lav kvalitet i forhold til limtre.

**Bæresystem 3, av stål og betong:** viser seg godt egnet til store spenn. Egenvekten av materialene er tunge og har dermed behov for mye fundamentering. Materialene er ikke like gunstige i et miljøperspektiv som trevirke. Grunnet utformingen av bygningen kommer bæresystemet likt ut i utnyttelsesgrad av parkeringskjeller som bæresystem 1.

For å oppsummere viser massivtre, bæresystem 2, seg som det mest egnede materiale for kombinasjonsbygget i byggetrinn 3, Mjøsparken. Dette begrunnes med fordelene linjelastpåvirkning har kontra store punktlaster, konstruksjonstekniske egenskaper og lav egenvekt ift. betong/stål. Videre vil limtre anbefales fremfor stål og betong, med grunnlag i at limtre er et mer bærekraftig materiale i forhold til stål og betong, og har behov for færre søyler – ergo flere parkeringsplasser.

## 5.6 Forslag til videre arbeid

Denne studien tar for seg en liten del av en større utfordring. Det er gjennom studien erfart at temaet er meget aktuelt for videre forskning, ikke bare fordi det finnes lite forskning på temaet fra før av, men også for å belyse punkter som ikke allerede er tatt hensyn til. Dette studiet har begrenset tidsbruk og med det er avgrensninger satt.

Til videre forskning anbefales det å se nærmere på underliggende punkter:

- Se videre på hvilken effekt bruken av ett tykt dekke i etasjeskille vil ha. Det er her snakk om å se på hvordan man skal kunne konstruere etasjeskille slik at man unngår bruk av søyler i kjelleren, og med det kan se på om gevinsten er økonomisk og evt. brukervennlig lønnsomt. Differansen på optimal og vår best utnyttede løsning er 16 parkeringsplasser. Dersom man velger å ta utgangspunkt i verdien på 200 000 NOK gitt i denne oppgaven, er den samlede verdien på til sammen 3 200 000 NOK, noe som i seg selv viser at det er verdt å jobbe videre med.

- Inkludere grunnforholdene i større grad og se hvordan disse påvirker prosjekteringen/gjennomføringen. Dette sees på som aktuelt punkt for videre arbeid da byggetrinn 3 ligger såpass tett inntil Mjøsa.
- Gjennomføre samme studie, med samme begrensninger/forutsetninger, men inkludere andre simuleringsprogrammer og tester. Dette vil kunne være med på å styrke/svekke troverdigheten til dette studiets resultater.
- Gjennomføre en økonomisk vurdering av optimalt samspill mellom boligbygg og parkeringskjeller.
- Hva er den økonomiske fordelene med trevirke kontra betong/stål ved fokus på nødvendig fundamentering? Det er her ønskelig å komme frem til et spesifisert forholdstall på byggetid og kostnad.
- Gjøre en studie som søker etter en direkte sammenheng mellom egenvekten til bæresystemene og parkeringsutnyttelsen.



# 6 Vedlegg

For fullstendige vedlegg, se zip-mappe «Vedlegg bacheloroppgave».

2.1 – Dokumentasjon av ukesarbeid

2.2 – Regning på fundament

3.1 – Mjøstårnet – Dekkelementer

3.2 – Moelven trø8 info

4.1 – Snølast

4.2 – Vindlast

4.3 – Lett-tak

4.4 – Resultat for bæresystem 1, Focus konstruksjon

4.5 – DLB-dimensjonering, Situasjon 1 - bæresystem 1

4.6 – DLB-dimensjonering, Situasjon 2 - bæresystem 1

4.7 – Resultat for bæresystem 2, Focus konstruksjon

4.8 – Resultat linjelast for bæresystem 2, Maple

4.9 – DLB-dimensjonering, Situasjon 1 - bæresystem 2

4.10 – DLB-dimensjonering, Situasjon 2 - bæresystem 2

4.11 – DLB-dimensjonering, Situasjon 3 - bæresystem 2

4.12 – Spenncon HD-265

4.13 – Resultat for bæresystem 3, Focus konstruksjon

4.14 – DLB-dimensjonering: Situasjon 1 - bæresystem 3

4.15 – DLB-dimensjonering: Situasjon 2 - bæresystem 3

4.16 – Søyledimensjonering BT-snitt

4.17 – Regning på punktlaster for bæresystem 2

#### 4.18 – Parkeringskjeller med søyler og avstand til plasser

## 7 Litteraturliste

- Bell, K (2015a) *Konstruksjonsmekanikk, del 2, Fasthetslære*. Utgiver: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS
- Bell, K (2015b) *Konstruksjonsmekanikk, del 1, Likevektslære*. Utgiver: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS
- Bell, K. (2017) Dimensjonering av trekonstruksjoner. Utgiver: Fagbokforlaget
- Betongelementforeningen. (2013). *Betongelementboken Bind C – Elementer og knutepunkter*. 4. utgave.
- Christensen N. og Almar-Næss A. (2019) *Stål Store Norske Leksikon* Tilgjengelig fra: <https://snl.no/st%C3%A5l> (Hentet: 26.03.2019)
- Contiga a (u.å.) *Betongbjelker*. Tilgjengelig fra: <http://contiga.no/produkter/betong/bjelker/> (Hentet: 01.04.2019)
- Contiga b (u.å.) Standardstørrelser Betongbjelker. Tilgjengelig fra: <http://contiga.no/wp-content/uploads/2013/08/Standardst%C3%B8rrelser.Betongbjelker.pdf> (Hentet: 25.03.2019)
- Dahlum, S. (2018) *Kvantitativ analyse*. Tilgjengelig fra: [https://snl.no/kvantitativ\\_analyse](https://snl.no/kvantitativ_analyse) (Hentet: 01.04.2019)
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) § 11-2 *Risikoklasser*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-2/> (Hentet: 04.03.2019)
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) § 11-3 *Brannklasser*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/i/11-3/> (Hentet: 04.03.2019)
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) § 11-8 *Brannceller*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/11/iii/11-8/> (Hentet: 04.03.2019)
- Egenes, J.S. 2018. Bæresystemer (P3). *BYG3332 Fleretasjes trehus* Tilgjengelig fra: <https://cloud.swivl.com/v/cc128844ad4fd08fe76c3583309ee865> (Hentet: 31.03.2019)
- Eide J. (2010) *Stålkonstruksjoner*. Oslo: NKI Forlaget AS
- Ekeli, T. (2003). *Materialkunnskap* Oslo: Byggenæringens Forlag AS

- Fallsen H.B. (2011) *Kompendium i faget Lastberegning v/HiG*, Sted: Høgskolen i Gjøvik
- Fallsen H.B. (2017) *Kompendium i dimensjonering av betongkonstruksjoner v/HiG*, Sted: Høgskolen i Gjøvik
- Hulldekke-element (2009). I Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/hulldekke-element> (Hentet: 28.02.2019)
- Jern og Stål (u.å) *SINTEF*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/jern-og-stal/> (Hentet: 26.03.2019)
- Kirkhus, A. (2015). *Planlegging av parkeringsplasser og garasjeanlegg*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/byggforsk/fagblogg/poster/planlegging-av-parkeringsplasser-og-garasjeanlegg/> (hentet: 26.03.2019)
- Kommunekart (2019) *Tårnvegen 57 2380 Brumunddal* Tilgjengelig fra: <https://kommunekart.com/> koordinat: 60,87735°N 10,93097°Ø (Hentet: 18.03.2019)
- Larsen, P.K. (2015) *Dimensjonering av stålkonstruksjoner*. 2.utgave. Trondheim: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Limtre (2009). I Store norske leksikon. Tilgjengelig fra <https://snl.no/limtre> (Hentet 30. mars 2019)
- Loe Betongelementer (u.å). *Hulldekker* Tilgjengelig fra: <http://loe-betong.no/produkter/detalj/hulldekker> (Hentet: 28.02.2019)
- Moelven (2015) *Kerto – den sterkeste*. Tilgjengelig fra: <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/brosjyrer/kerto-brosjyre-a4-revidert-september-2017.pdf> (Hentet: 27.02.2019)
- Moelven Limtre (2018) *Standard Limtre* (EPD-rapport 02/2018). Tilgjengelig fra <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/sertifiseringer-og-dokumentasjon/epd-standard-limtre.pdf> (Hentet:30.03.2019)
- NDLA (u.å.) *Generalisering*. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/node/167214> (Hentet: 01.04.2019)
- Norconsult (u.å) *Mjøsparken, Brumunddal* Tilgjengelig fra: <https://www.norconsult.no/prosjekter/mjosparken-brumunddal/> (Hentet: 22.03.2019)
- Norgips byggesystemer (u.å.). Innvendige vegger med trestenderverk. Tilgjengelig fra: <https://norgips.no/assets/planningpdfs/Prosjekteringsh%C3%A5ndbok/Innvendig-vegger-med-trestender.pdf> (Hentet: 11.03.2019)
- Norske limtreprodusenters forening (2015) *Limtreboka*

- Norsk stålforbund - Betongelementforeningen (2008) *Hulldekker på bæresystem av stål*. Tilgjengelig fra:  
[http://www.stalforbund.no/uploads/source/files/Materialet/Hulldekker/Veileder\\_Hulldekker\\_2008\\_2.pdf](http://www.stalforbund.no/uploads/source/files/Materialet/Hulldekker/Veileder_Hulldekker_2008_2.pdf) (Hentet: 28.02.2019)
- NTNU (2013). *Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjekt- og masteroppgaver*. Tilgjengelig fra:  
[https://www.ntnu.no/documents/1272524419/1273312006/R%C3%A5d\\_Og\\_Retningslinjer\\_For\\_Rapportskrivning\\_BAT.pdf/760496d8-2d08-4b99-9c33-8ff1e6ef7b9c](https://www.ntnu.no/documents/1272524419/1273312006/R%C3%A5d_Og_Retningslinjer_For_Rapportskrivning_BAT.pdf/760496d8-2d08-4b99-9c33-8ff1e6ef7b9c) (Hentet: 20.03.2019)
- Ringsaker kommune (2016). Detaljreguleringsplan for Mjøstårnet *Reguleringsbestemmelser* (Sak: 15/3839). Brumunddal 19.10.2016. Utgiversted: Ringsaker kommune, s.1-13
- Ringsaker kommune (u.å). *Mjøsparken* Tilgjengelig fra:  
[www.ringsaker.no/getfile.php/3309697.1897.wrfbscfryp/Arthur+Buchardt.pdf](http://www.ringsaker.no/getfile.php/3309697.1897.wrfbscfryp/Arthur+Buchardt.pdf) (Hentet: 21.03.2019)
- Sandvik M. (2003). *Materialkunnskap* Oslo: Byggenæringens Forlag AS
- SINTEF Byggforsk (2013). *471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler* Tilgjengelig fra:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster\\_for\\_bygningsmaterialer\\_byggevarer\\_og\\_bygningsdeler](https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningsdeler) (Hentet: 20.02.2019)
- SINTEF Byggforsk (2015). *312.130 Parkeringsplasser og garasjeanlegg* Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/61/parkeringsplasser\\_og\\_garasjeanlegg](https://www.byggforsk.no/dokument/61/parkeringsplasser_og_garasjeanlegg) (Hentet: 01.03.2019)
- Spenncon (u.å.). *HD265*. Tilgjengelig fra:  
<https://spenncon.no/mobil/produkter/etasjeskiller/hd265/> (Hentet: 28.02.2019)
- Spill (u.å). *Nynorskordboka*. Tilgjengelig fra:  
[https://ordbok.uib.no/perl/ordbok.cgi?OPP=spill&ant\\_bokmaal=5&ant\\_nynorsk=5&begge=&ordbok=begge](https://ordbok.uib.no/perl/ordbok.cgi?OPP=spill&ant_bokmaal=5&ant_nynorsk=5&begge=&ordbok=begge) (Hentet: 01.04.2019)
- Standard Norge (2002). *NS-EN 1990 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1990%3a2002%2bNA%3a2008> (Hentet: 15.03.2019)
- Standard Norge (2002). *NS-EN 1991-1-1, Laster på konstruksjoner. Allmenne laster. Tetthet, egenvekt, nyttelaster i bygninger*. Tilgjengelig fra:

- <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-1%3a2002%2bNA%3a2008> (Hentet: 12.03.2019)
- Standard Norge (2003). *NS-EN 1991-1-3, Laster på konstruksjoner. Allmenne laster. Snølaster*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-3%3a2003%2fNA%3a2008&subscr=1> (Hentet: 08.03.2019)
  - Standard Norge (2004). *NS-EN 1992-1-1, Prosjektering av betongkonstruksjoner*. Tilgjengelig fra: (Hentet 12.03.2019)
  - Standard Norge (2005). *NS-EN 1991-1-4, Laster på konstruksjoner, allmenne laster, vindlaster*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1991-1-4> (Hentet: 08.03.2019)
  - Standard Norge (2016). *NS-EN 1990:2002+AI:2005+NA:2016 Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner*. Tilgjengelig fra:  
<https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=NS-EN+1990> (Hentet: 13.03.2019)
  - Thue, Jan Vincent (2009). *Elementbygging*. I Store norske leksikon. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/elementbygging> (Hentet 29. mars 2019)
  - Thue, Jan Vincent (2019). *Hus*. I Store norske leksikon. Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/hus> (Hentet 29. mars 2019)
  - TreFokus *a* (u.å). *Konstruksjonstre*. Tilgjengelig fra:  
<http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/konstruksjonstre> (Hentet: 28.03.2019)
  - TreFokus *b* (u.å). *Treets miljøegenskaper* Tilgjengelig fra:  
<http://www.treindustrien.no/miljo> (Hentet: 28.03.2019)
  - TreFokus *c* (u.å). *Massivtre* Tilgjengelig fra:  
<http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/massivtre> (Hentet: 31.03.2019)
  - Veidekke (2011) *Samfunnsrapport 2011, Miljø*. Tilgjengelig fra:  
<http://veidekke.com/no/rapporter/2011/samfunnsrapport/miljoe/> (Hentet: 11.03.2019)
  - Årtun T. og Nesse N. (2018). *Sement Store Norske Leksikon* Tilgjengelig fra:  
<https://snl.no/sement> (Hentet: 27.03.2019)