

# **Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

Construction of a Student Meeting Point in an Environmental Perspective

**Trondheim Mai 2021**

Studenter:

Madeleine Eriksen

Andrea O. Vik Lauvstad

Maja K. Dahl

Intern veileder:

Per Otto Yttervoll

Ekstern veileder:

Jonas Rydningen Kirkhaug

Prosjektnr:

2021 - 18

Rapporten er ÅPEN



Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg- og miljøteknikk



## Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Det skal bygges nye studentboliger for Sit Tapir AS i Nardovegen 12 og 14. I dag står det to bygg på disse eiendommene. I tilknytning til studentboligene, skal ulike konstruktive løsninger for et tilhørende studentmøtepunkt vurderes. Dette gjøres med spesielt fokus på materialbruk og løsninger som egner seg til gjenbruk. Det skal utarbeides en 3D-modell, som videre brukes som underlag for arbeidstegninger og detaljtegninger. Konstruksjonens bæresystem skal prosjekteres og kontrolleres i henhold til plan- og bygningslovene, samt relevante standarder. Bæresystemet med tilhørende fundamenter dimensjoneres etter opptredende laster.

Bacheloroppgaven er skrevet med ambisjon om å bidra til en mer klimavennlig tilnærming i byggebransjen, med bakgrunn i våre fagfelt. Oppgaven er ønsket å være et positivt bidrag til prosjektet på Nardo og lignende prosjekter. Et mål er dermed at oppgavens innhold gir et godt utgangspunkt for videre tilpasning ved detaljprosjektering og utførelse av studentmøtepunktet.

### Stikkord:

- Studentmøtepunkt
- Utforming
- Konstruktive løsninger
- Dimensjonering
- Ombruk
- Trekonstruksjoner
- Materialreduksjon
- FutureBuilt

### Keywords:

- Student Meeting Point
- Design
- Constructive solutions
- Dimensioning
- Reuse
- Wooden construction
- Material reduction
- FutureBuilt

## Sammendrag

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet på vegne av oppdragsgiver Asplan Viak, som et bidrag til forbildeprosjektet for bærekraftige studentboliger på Nardo i Trondheim. Oppgaven tar for seg prosjektering av en utendørs kaldkonstruksjon, hvor studentene kan samles for å koble av, sosialisere eller lese i grønnere omgivelser.

Prosjekteringen sikter mot å utforme et studentmøtepunkt, der det legges til rette for ombruk med utgangspunkt i FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg. Sentralt ved prosjekteringen er dimensjonering av bærekonstruksjon i tre, samt utvalgte dekomponerbare forbindelser. Beregninger utføres i henhold til Norsk Standard. Ved dimensjonering benyttes også analyseverktøyet Focus Konstruksjon.

Ettersom et sentralt aspekt ved sirkulære prinsipper er reduksjon, vurderer oppgaven to aktuelle konstruktive løsninger opp mot hverandre. De konstruktive løsningene avveies etter dimensjonering av alternativenes bærende elementer. Vurderingen gjøres med utgangspunkt i et overordnet klimagassregnskap over opptredende materialmengder for sentrale komponenter.

Oppgaven stiller spørsmål til, og drøfter ulike tilnærminger til prosjektering for ombruk. Fordeler og ulemper ved de to alternativene drøftes også. For endelig løsning, dimensjoneres utvalgte forbindelser og nødvendige oppleggsflater. En detaljert 3D-modell utformes i BIM-verktøyet Archicad. 3D-modellen brukes videre som underlag for arbeidstegninger og utvalgte detaljtegninger.

Gjennom prosjekteringsprosessen har skillet til å bygge standardisert blitt tydelig. Prosjektering for ombruk er i tidlig fase basert på mange usikkerhetsmomenter, og krever kontinuerlig grundig avveide vurderinger og beslutninger. Denne prosessen er tid- og ressurskrevende, sett i sammenligning med standard prosjektering. Det ses med det på som helt avgjørende at veiledninger og standardiserte løsninger for gjenbruk blir utarbeidet, før en slik praksis vil utbres i bransjen.

## **Abstract**

This bachelor thesis has been prepared on behalf of Asplan Viak, as a contribution to the ideal project for sustainable student housing at Nardo in Trondheim, Norway. The thesis compiles a design of an outdoor construction, where students can gather to relax, socialize, or read in a greener environment.

The design of the building structure aims at creating a construction which is facilitated for reuse, based on Criteria for circular buildings in FutureBuilt. The construction is designed as a meeting point for students. The dimensioning of a wooden superstructure is significant in the design of the building structure, as well as decomposable connections. Calculations are in accordance with Norwegian Standards. In addition, the analysis tool Focus Konstruksjon is used during the dimensioning.

As a key aspect in the circular principles is reduction, two current constructive alternatives are evaluated against each other. The alternatives get evaluated when the dimensioning of the load-bearing elements is completed. The assessment is based on the environmental impact, calculated by the quantities of material divergency for the key components in each alternative before a conclusion is made.

The thesis discuss different approaches to design for reuse. The positive and negative attributes of the two alternatives are also discussed. For the final solution, selected connections and support surfaces are also dimensioned. A detailed 3D model is designed in the BIM tool Archicad. Further on, the 3D model is used as a basis for working drawings and selected detailed drawings.

During the process, the deviation of building standardized has become clear. Design for reuse is in the early stages based on many uncertainties and requires thoroughly weighed assessments and decisions. This process is time and resource consuming, compared to standard engineering. It is considered crucial, that guidelines and standardized solutions for reuse are compiled, before such procedures will be achieved in the major building industry.

## Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet av tre avgangsstudenter fra studieprogrammet Byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er skrevet på tvers av studieretningene, da to av oss har fordypning innen konstruksjonsteknikk og en av oss har tatt fordypning innen husbygningsteknikk. Oppgaven er skrevet i forbindelse med faget TBYG3016, og tilsvarer 20 studiepoeng.

Bacheloroppgaven er utformet i samarbeid med Asplan Viak. Fra start sto bachelorgruppen med et ønske om en oppgave som omhandlet trekonstruksjoner og miljø. Med hjelp fra Pasi Alto ved NTNU Wood, ble vi satt i kontakt med Asplan Viak. Vi ble presentert for fire mulige prosjekter, hvorav prosjektet på Nardo vekte stor interesse, og vi inngikk med det et samarbeid. Oppdragsgiver utformet en oppgavebeskrivelse, med utgangspunkt i behov, samt bachelorgruppens ønsker. Kontakten med Asplan Viak ble tatt opp høsten 2020. Arbeidet er utført i tidsrommet fra januar til mai 2021.

Vi vil rette en stor takk til ekstern veileder hos Asplan Viak, Jonas Rydningen Kirkhaug og intern veileder Per Otto Yttervoll for god hjelp underveis i bachelorskrivingen. Takken rettes også til øvrige ansatte hos Asplan Viak som har bidratt i oppgaven, samt forelesere ved NTNU.

Trondheim, 20.mai 2021



Madeleine Eriksen



Andrea O. Vik Lauvstad



Maja Katinka Dahl

# 1 Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	i
Abstract .....	ii
Forord.....	iii
Innledning .....	1
Terminologi.....	2
Tabelliste.....	8
Begrepsliste.....	9
2 Innovasjon og utvikling av byggebransjen i et miljøperspektiv.....	11
3 Teori.....	13
3.1 Norsk Standard.....	14
3.1.1 Regelverk .....	14
3.1.2 Byggteknisk forskrift .....	14
3.1.3 Eurokodene .....	14
3.2 Prosjekteringsverktøy.....	15
3.2.1 Byggforskserien .....	15
3.2.2 Focus Konstruksjon .....	15
3.2.3 Mathcad.....	15
3.2.4 ArchiCAD.....	15
3.3 FutureBuilt .....	16
3.3.1 Sirkulære prinsipper og strategier.....	16
3.4 Bygningsmaterialer i et miljøperspektiv .....	18
3.4.1 Ombruksmaterialer .....	19
3.4.2 Tre .....	19
3.4.3 Stål .....	21
3.4.4 Betong.....	22
3.4.5 Glass.....	23
3.4.6 EPS.....	24

3.5	Forskning på resirkulert tilslag i betong.....	24
4	Metode.....	26
4.1	Utforming av studentmøtepunkt.....	27
4.1.1	Tidlig fase .....	27
4.1.2	Alternative bæresystem.....	29
4.1.3	Byggteknisk utforming .....	31
4.2	Laster på bærekonstruksjonen.....	32
4.2.1	Egenlast.....	32
4.2.2	Nyttelast .....	33
4.2.3	Snølast.....	33
4.2.4	Vindlast.....	33
4.3	Statiske modeller .....	36
4.3.1	2D.....	37
4.3.2	3D.....	37
4.4	Dimensjonering .....	37
4.4.1	Kontroll av statisk system.....	38
4.4.2	Søyler .....	38
4.4.3	Bjelker.....	39
4.4.4	Dekker.....	41
4.4.5	Gjenbrukshuset .....	43
4.4.6	Amfitrapp.....	43
4.4.7	Fundament.....	44
4.4.8	Forbindelser .....	46
4.4.9	Oppleggsflater.....	48
4.5	Endelig løsning.....	48
4.5.1	Overslagsberegninger for klimagassregnskap .....	48
4.6	FutureBuilt .....	49



4.6.1	Ressursutnyttelse i byggefase .....	49
4.6.2	Ombruk og ombrukbarhet av bygningsdeler .....	49
4.6.3	Endringsdyktighet .....	50
4.7	BIM-modell .....	50
4.7.1	Aksonometrisk fremstilling .....	50
4.7.2	Arbeidstegninger .....	50
4.7.3	Detaljtegninger .....	51
5	Resultat .....	52
5.1	Utforming av studentmøtepunkt .....	53
5.2	Dimensjonering .....	54
5.2.1	Bærekonstruksjonens dimensjoner .....	54
5.2.2	Kapasitetsutnyttelse .....	55
5.2.3	Øvrige dimensjoner .....	57
5.3	Endelig løsning .....	58
5.3.1	Overslagsberegninger for klimagassregnskap .....	58
5.3.2	Forbindelser .....	59
5.4	FutureBuilt .....	61
5.4.1	Ressursutnyttelse i byggefase .....	61
5.4.2	Ombruk og ombrukbarhet av bygningsdeler .....	61
5.4.3	Endringsdyktighet .....	64
5.5	Bygningskomponenter .....	65
5.6	BIM-modell .....	66
5.6.1	Aksonometrisk fremstilling .....	66
5.6.2	Arbeidstegninger .....	66
5.6.3	Detaljtegninger .....	66
6	Diskusjon .....	67
6.1	Vurderinger ved utforming .....	68

6.2	Besparende utførelser .....	69
6.3	Metodisk tilnærming .....	71
6.4	Kommentarer til dimensjonering med tilhørende resultater .....	72
6.5	Endelig løsning.....	78
6.6	Tidsbruk .....	79
6.7	Kvalitetssikring .....	80
6.8	Veien videre .....	80
	Konklusjon.....	81
	Referanseliste.....	83
	Figurliste .....	90
	Vedlegg.....	91

## **Innledning**

Oppdragsgiver Asplan Viak er involvert i en konseptutredning i forbindelse med de nye studentboligene som skal bygges i Nardovegen 12 og 14. Utredningens formål er å undersøke løsninger for å etablere et system for ombruk av bygningsmaterialer og bygningsdeler i nye, bærekraftige studentboliger, i henhold til FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg.

Eiendommene på Nardo, som eies av Sit Tapir AS, skal helt eller delvis rives. I forbindelse med prosjektet, har Sit mottatt støtte fra Enova. I tilknytning til de nye studentboligene som skal bygges på tomten, ønsker Sit et eget sted hvor studentene kan møtes – et studentmøtepunkt.

Denne oppgaven skal med det gi forslag til mulig prosjektering av et studentmøtepunkt, hvor utforming og dimensjonering vurderes i et miljøperspektiv. Hvordan kan studentmøtepunktet dimensjoneres med hensyn til sirkulære prinsipper, og hvilke konsekvenser har dette for prosjekteringen? Hvilken vurdert konstruktiv løsning vil gi den største miljøbesparelsen? Innfrir endelig løsning for studentmøtepunktet FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg?

## Terminologi

$A$	Tverrsnittsareal
$A_s$	Tverrsnittsareal armering
$a_1$	Minste avstand mellom forbindere i fiberretningen
$a_2$	Minste avstand mellom forbindere vinkelrett på fiberretning
$a_{3c}$	Minste avstand til ubelastet kant
$a_{3t}$	Minste avstand til belastet kant
$a_{4c}$	Minste avstand til ubelastet ende
$a_{4t}$	Minste avstand til belastet ende
$A_{ef}$	Effektiv kontaktflate
$A_{ref}$	Referanseareal
$b$	Tverrsnittets bredde
$b_0$	Effektiv fundamentbredde
$b_f$	Fundamentbredde
$b_{min}$	Sperrens oppleggslengde
$b_s$	Søylebredde
$c_0$	Terrengformfaktor
$c_{dir}$	Retningsfaktor
$c_e$	Eksponeeringsfaktor
$c_f$	Kraftfaktor
$c_{min}$	Minste overdekning
$c_{nom}$	Nominell overdekning
$c_{p,net}$	Resulterende formfaktor
$c_{pe}$	Formfaktor for utvendig lufttrykk

$C_{pi}$	Formfaktor for innvendig lufttrykk
$C_{prob}$	Sannsynlighetsfaktor
$C_r$	Ruhetsfaktor
$C_{season}$	Årstidsfaktor
$C_t$	Termisk faktor
$d$	Diameter, avstand fra strekkarmeringens tyngdepunkt
$E_{0.05}$	Elastisitetsmodul for
$e$	Eksentrisitet
$e_1$	Avstand fra tverrsnitt til skrue
$e_2$	Avstand fra tverrsnitt til skrue
$F_{90.Rd}$	Dimensjonerende splittingskapasitet
$F_{90.Rk}$	Dimensjonerende splittingskapasitet
$f_{ax.k}$	Karakteristisk uttrekkskapasitet
$f_{ax.Rk}$	Karakteristisk uttrekkskapasitet til en forbinder
$F_{b.Rd}$	Dimensjonerende knekklast for skrue
$f_{c0d}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{ck}$	Karakteristisk trykkfasthet
$f_{cd}$	Dimensjonerende trykkfasthet
$f_{c90d}$	Dimensjonerende trykkfasthet vinkelrett på fiberretningen
$F_{c90d}$	Dimensjonerende trykklast vinkelrett på fiberretningen
$F_{forbinder}$	Last på hver forbinder
$f_{hk}$	Karakteristisk hullkantfasthet
$F_{kk}$	Korreksjonsfaktor for klimaklasse
$f_{md}$	Dimensjonerende bøyefasthet

$f_{mk}$	Karakteristisk bøyefasthet
$f_{td}$	Dimensjonerende strekkfasthet
$f_{tk}$	Karakteristisk strekkfasthet
$f_{uk}$	Bruddgrenseverdi
$f_{vd}$	Dimensjonerende skjærfasthet
$f_{vk}$	Karakteristisk skjærfasthet
$F_{v.Ed}$	Strekraftkomponent
$F_{v.Rd}$	Dimensjonerende kapasitet per skjærflate per forbinder
$F_{v.Rk}$	Karakteristisk kapasitet per skjærflate per forbinder
$f_{yd}$	Dimensjonerende flytegrense
$f_{yk}$	Karakteristisk flytegrense
$F_w$	Vindkraft
$f_{yd}$	Dimensjonerende flytegrense
$G_{gmean}$	Skjærmodul
$H$	Bjelkens tyngdepunkt
$h$	Tverrsnittets høyde
$h_e$	Avstand fra belastet kant til forbinderen lengst vekk
$h_f$	Fundamenthøyde
$h_s$	Søylehøyde
$i$	Arealtreghetsmoment
$I_v$	Turbulensintensitet
$k$	koeffisient
$k_1$	Turbulensfaktor
$k_1$	Faktor for hullkantrykk

$k_{90}$	Faktor for tretype
$K_{ap}$	Tabellverdi for kapasitet
$k_c$	Instabilitetsfaktor
$k_{c90}$	Faktor for lastkonfigurasjon, oppsplitting og trykkdeformasjonens størrelse
$k_{cr}$	Faktor for tørking og svelling av tverrsnitt
$k_{crit}$	Faktor for sideveis utknekking
$k_d$	Deformasjonsfaktor
$k_{def}$	Deformasjonsfaktor
$k_h$	Høydefaktor
$k_m$	Faktor for omfordeling av spenninger og inhomogeniteter
$k_{mod}$	Lastfaktor
$k_p$	Toppfaktoren
$k_r$	Terrengruhetsfaktor
$l$	Lengde
$l_{ef}$	Gjenget dels inntrengingsdybde
$l_{ef1}$	Lengde på stålplate mellom bjelke og søyle
$l_{ef2}$	Tverrsnitt og skruelengde samlet
$L_k$	Søylens kneklengde
$l_{skrue}$	Gjenget del av skrue
$l_{skrue}$	Skruens lengde
$M_{Ed}$	Dimensjonerende verdi for bøyemoment
$M_{y,Rk}$	Karakteristisk flytemoment
$M_{Rd}$	Momentkapasitet
$n$	Antall

$N_{Ed}$	Dimensjonerende verdi for aksialkraft
$n_{ef}$	Effektivt antall
$p_1$	Avstand mellom skruer i fiberretning
$p_2$	Avstand mellom skruer vinkelrett på fiberretning
$Q$	Kapasitet
$q_{fi}$	Faktor for skjærdeformasjon
$q_p$	Topp hastighetstrykk
$r$	Radius
$R_{Ed}$	Korreksjonsfaktor for klimaklasse
$R_z$	Dimensjonerende kraft i opplegg
$s_{k0}$	Karakteristisk snølast fra tabell
$s_k$	Karakteristisk snølast
$t$	Tykkelse
$v_b$	Basisvindhastighet
$v_{b0}$	Referansevindhastighet
$V_{Ed}$	Dimensjonerende verdi for skjærkraft
$V_{Rd}$	Skjærkraftkapasitet
$v_m$	Stedvindhastighet
$W$	Samlet lufttrykk
$W$	Motstandsmoment
$W_c$	Overhøyde
$W_{creep}$	Nedbøyning som følge av kryp
$W_e$	Utvendig lufttrykk
$W_{fin}$	Endelig nedbøyning



$W_i$	Innvendig lufttrykk
$W_{inst}$	Umiddelbar nedbøyning
$W_{net.fin}$	Netto endelig nedbøyning
$W_{nødv}$	Nødvendig motstandsmoment
$z_0$	Ruhetslengde
$z_{min}$	Minste høyde
$\alpha$	Vinkel, forholdstall
$\alpha_b$	Faktor for hullkantrykk
$\alpha_d$	Del av faktor for hullkantrykk
$\beta$	Vinkel, forholdstall, koeffisient
$\gamma$	Partialfaktor
$\lambda$	Slankhetstall
$\sigma_{c0d}$	Dimensjonerende trykkspenning
$\sigma_{c90d}$	Trykkspenning vinkelrett på kontaktflaten
$\sigma_{gd}$	Dimensjonerende grunntrykk
$\sigma_{m.crit}$	Kritisk bøyespennning
$\sigma_{md}$	Dimensjonerende bøyespennning
$\sigma_{t0d}$	Dimensjonerende strekkspenning
$\sigma_v$	Standardavvik vind
$\mu$	Formfaktor
$\rho$	Densitet
$\rho_L$	Armeringsforhold for lengdearmering
$\tau_d$	Dimensjonerende skjærspenning
$u_1$	fasthetsreduksjonsfaktor

## Tabelliste

Tabell 1 Antall studenter per sone .....	54
Tabell 2 Elementer for alternativ 1 .....	54
Tabell 3 Elementer for alternativ 2 .....	55
Tabell 4 Kapasitetsutnyttelse for bjelker i alternativ 1 .....	55
Tabell 5 Kapasitetsutnyttelse for søyler i alternativ 1 .....	56
Tabell 6 Kapasitetsutnyttelse for bjelker i alternativ 2 .....	56
Tabell 7 Kapasitetsutnyttelse for søyler i alternativ 2 .....	57
Tabell 8 Øvrige dimensjoner .....	57
Tabell 9 Klimagassregnskap alternativ 1 .....	58
Tabell 10 Klimagassregnskap alternativ 2 .....	59
Tabell 11 Forbindelser alternativ 2 .....	59
Tabell 12 Minsteavstander for forbindelser .....	60
Tabell 13 Oppleggsflate for alternativ 2 .....	60
Tabell 14 Ombruk og ombrukbarhet, eks. grunn og fundament .....	62
Tabell 15 Prosentandel ombrukte og ombrukbare komponenter .....	62
Tabell 16 Ombruk og ombrukbarhet, eks. grunn .....	63
Tabell 17 Ombrukte og ombrukbare komponenter .....	63
Tabell 18 Bygningsdeler .....	65

## Begrepsliste

<b>BIM</b>	brukes om prosjektering hvor det benyttes digitale 3D-modeller til å høste og berike informasjon i tegninger. Her skal all informasjon og endringer for 3D-modellen legges inn (1)
<b>BREEAM</b>	står for Building Research Establishment's Environmental Assessment Method, og er en internasjonalt anerkjent metode for å måle et byggs bærekraftige egenskaper (2)
<b>CO<sub>2</sub>-ekvivalent</b>	en enhet som sammenveier utslipp av forskjellige klimagasser til den globale oppvarmingseffekten som utslipp av ett tonn CO <sub>2</sub> vil ha i løpet av 100 år (3)
<b>Elastisitet</b>	evnen en bygning har til å utvide eller redusere arealer innenfor en gitt geometri (4)
<b>Enova</b>	arbeider for Norges omstilling til lavutslippssamfunnet, og forvalter Norges deltagelse i EUs nye innovasjonsfond – et av verdens største finansielle støtteordninger for lavutslippsteknologi. Enova dreier sin byggsatsing mot klima, med formål om å utløse markedsendringer som er nødvendig for å kutte klimagassutslipp i sektoren og omstille oss til et lavutslippssamfunn (5)
<b>EPD</b>	en tredjeparts sertifisert miljødeklarasjon for et gitt produkt eller produktgruppe. En EPD skal utformes etter den internasjonale standarden ISO 14025, som regulerer systemgrenser og innhold (6)
<b>Fleksibilitet</b>	evnen en bygning har til å møte vekslende funksjonelle krav gjennom å forandre egenskapene i bygget (4)
<b>Generalitet</b>	evnen en bygning har til å møte vekslende krav uten å forandre egenskaper (4)
<b>Gjenbruk</b>	samlebegrep for ombruk og materialgjenvinning
<b>Grønn Byggallianse</b>	et miljønettverk bestående av de største eiendomsaktørene i Norge, med hensikt å være en arena for aktive utbyggere som vil bli mer

	miljøeffektive Grønn byggallianse forvalter sertifiseringsordningen BREEAM-NOR i Norge (4)
<b>Ombruk</b>	ny utnyttelse av et produkt i dets opprinnelige form (7)
<b>Prosjektering</b>	omfatter her planlegging, dimensjonering og tegning i tidlig fase av byggeprosjektet
<b>Sirkulær økonomi</b>	handler om å utnytte naturressurser og produkter så effektivt og lenge som mulig, i et kretsløp der minst mulig ressurser går tapt (8)
<b>Sit</b>	en av studentsamskipnadene i Norge. Studentsamskipnad er en særegen organisasjonsform underlagt Studentskipnadsloven (9)
<b>Sit Tapir AS</b>	eiendomsselskapet som eier Nardoveien 12 og 14. Sit Tapir AS eies av Sits holdingselskap, Sit Eierselskap AS (9)
<b>Studentmøtepunkt</b>	omfatter her en konstruksjon som utgjør et samlingspunkt for studenter
<b>ÅpenBIM</b>	er betegnelsen på en bygningsmodell hvor filformatet for modellen er det internasjonale og åpne filformatet IFC. Hovedfordelen med IFC er at modeller fra IFC-kompatible prosjekteringsverktøy fra ulike fag kan utveksles, sammenstilles og kontrolleres som en helhet (10)

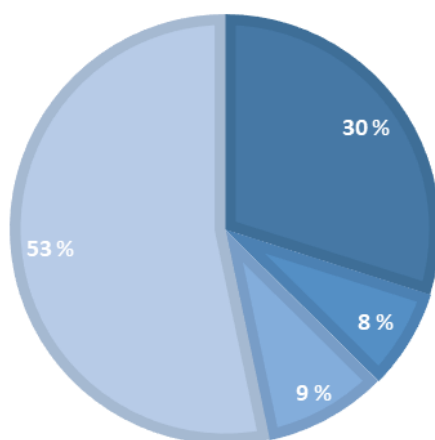
## 2 Innovasjon og utvikling av byggebransjen i et miljøperspektiv

Bygg- og anleggsbransjen står for et indirekte utslipp på opp mot 40 prosent av globale utslipp (11). Bygg- og anleggsvirksomheten er videre den største kilden til avfall i Norge (12). En stor utfordring for næringen er knyttet til produksjonen av byggevarer, som utgjør hele 24 prosent av utslippene til bygg- og anlegg.

Årlig investerer Norges kommuner milliarder av kroner i bygging og rehabilitering. Tradisjonelt har byggeprosjekter vært basert på en bruk-og-kast-tankegang, der gamle bygg rives og deponeres før det bygges nytt, eller at rehabilitering utføres med nye materialer. I lys av ny kunnskap og bevissthet rundt behovet for å redusere klimagassutslipp, revurderes denne måten å organisere et byggeprosjekt på fra flere hold (8). Bygg- og anleggsnæringen spiller med dette en viktig rolle i det grønne skiftet. Figur 1 gir oversikt over byggsektorens forurensning av klimagassutslipp fordelt på produksjon, transport, drift og virksomhet. (7)

### BYGGSEKTORENS UTSLIPP AV KLIMAGASS I MILL.TONN CO<sub>2</sub> EKVIVALENTER

■ Drift av bygning ■ Transport av byggevarer ■ Bygg- og anleggs virksomhet ■ Produksjon av byggevarer



Figur 1 Byggsektorens forurensning av klimagassutslipp

For Norge handler det grønne skiftet konkret om å bli et lavutslippsland innen 2050. Det krever en omstilling til et samfunn hvor vekst og utvikling skjer innenfor naturens tålegrenser. En overgang til produkter og tjenester som reduserer negative konsekvenser for klima og miljø er avgjørende. (13)

Plan- og bygningslovene har fått kritikk for å være for omfattende og komplekse. Samtidig etterlyses det klarere ansvarsfordeling og mer kontroll (14). Dagens praksis gjør det vanskelig å etablere et marked for brukte byggevarer, og hindrer ifølge regjeringen omstillingen til

sirkulærøkonomi (15). Regjeringen vil gjøre det enklere å ta grønne valg ved å legge til rette for å bruke brukte byggematerialer om igjen. Mer ombruk av byggematerialer vil gi mindre avfall, og gi lavere utslipp grunnet redusert behov for nye materialer. (15)

Kommunal- og moderniseringsdepartementet har oppnevnt et utvalg for byggkvalitet for å få innspill til hvordan regelverket kan bli mer treffsikkert. En rapport utarbeidet av Byggkvalitetutvalget er under behandling, og foreslår flere endringer i plan- og bygningsregelverket, med formål om å bidra til forsvarlig byggkvalitet og sikre kvalifiserte aktører i næringen. En endring i regelverket kan bidra til innovasjon og nye klimaløsninger (14). Direktoratet for byggkvalitet skal også utarbeide en veileder for ombruk av byggevarer.

Fremover vil det etableres et større marked for salg av brukte byggevarer (15). utfordringene for en videre utvikling på feltet ligger ifølge SINTEF på mangel på insentiver, i det juridiske rammeverket når for eksempel tekniske egenskaper bør dokumenteres, praktiske utfordringer når det gjelder lagring, HMS-utfordringer ved demontering av farlig avfall og økonomisk ved at arbeidskostnader kan øke ved selektiv riving (16). Til tross for dette, finnes en rekke nyere eksempler på at ombruk har resultert i kreative og visjonære prosjekter.

### **3 Teori**

Dette kapitlet inneholder teori som danner prosjekteringsgrunlaget for studentmøtepunktet.

### **3.1 Norsk Standard**

Prosjektering er i henhold til Norsk Standard.

#### **3.1.1 Regelverk**

Plan- og bygningsloven (pbl) gir samlet rammeverk for planlegging og byggesak. Planlegging etter loven skal bidra til å samordne offentlige oppgaver, og gi grunnlag for vedtak om bruk og vern av ressurser. (17)

#### **3.1.2 Byggteknisk forskrift**

Byggteknisk forskrift (TEK) trekker opp grensen for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. Byggteknisk forskrift er utarbeidet av Direktoratet for byggkvalitet. (18)

#### **3.1.3 Eurokodene**

Eurokodene er en felles europeisk serie standarder for prosjektering av byggverk og dokumentasjon av produkters bæreevne og styrke til konstruksjonsformål. I henhold til § 10-2 i byggteknisk forskrift kan de grunnleggende kravene til byggverks mekaniske motstandsevne og stabilitet anses oppfylt dersom det benyttes metoder og utførelse i samsvar med Norsk Standard. Norsk Standard forutsetter at standardenes tilhørende nasjonale tillegg, med nasjonalt bestemte parametere, legges til grunn i prosjekteringen ved bruk av Eurokoder i serien NS-EN 1990 til NS-EN 1999. (19)

#### **Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner**

NS-EN 1990 (EC) beskriver grunnlaget for prosjektering og verifikasjon av konstruksjoner. EC fastsetter prinsipper og krav for konstruksjoners sikkerhet, brukbarhet og bestandighet, gir retningslinjer for relaterte forhold når det gjelder konstruksjonens pålitelighet, og brukes sammen med seriens relevante eurokoder. (19)

#### **Eurokode 1: Laster på konstruksjonen**

NS-EN 1991 (EC1) del 1-1, gir retningslinjer for prosjektering og påvirkninger ved konstruksjonsberegninger av bygg og anlegg, medregnet enkelte geotekniske forhold for tyngdetetthet av byggeprodukter og lagrede materialer, bygningsdelers egenlast og nyttelast for bygninger. EC1, del 1-3, gir retningslinjer for å fastsette verdier for snølaste som skal brukes ved prosjektering av konstruksjoner for bygg og anlegg. EC1, del 1-4, gir retningslinjer for fastsettelse av vindpåvirkninger for prosjektering av bygg og anlegg for hvert av arealene som belastes og er med i vurderingen. (20)



## **Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner**

NS-EN 1992 (EC2) gjelder for prosjektering av bygg- og anleggskonstruksjoner med uarmert, armert og spennarmert betong. EC2 er i samsvar med prinsipp og krav gitt i EC. EC 2 gir kun krav til betongkonstruksjoners kapasitet, bruksegenskaper, bestandighet og brannmotstand. (21)

## **Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner**

NS-EN 1995 (EC5) gjelder for prosjektering av bygninger og andre konstruksjoner av tre for konstruktiv bruk. EC5 er i samsvar med prinsipp og krav gitt i EC. EC5 gjelder krav til trekonstruksjoners bæreevne, brukbarhet, bestandighet og brannmotstand, og bygger på grensetilstandsbegrepet, samt partialfaktormetoden. (22)

## **3.2 Prosjekteringsverktøy**

### **3.2.1 Byggforskserien**

Byggforskserien gir dokumenterte løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger. Løsningene i Byggforskserien er veldokumenterte og robuste, og oppfyller kravene i Byggteknisk forskrift. Byggforskserien er utarbeidet av forskningsinstituttet SINTEF. (23)

### **3.2.2 Focus Konstruksjon**

Focus Konstruksjon (Focus) er et analyseprogram som benytter elementmetoden for å beregne konstruksjoner. I programmet kan konstruksjoner enkelt modelleres, påføres laster og undersøkes for dimensjonerende opptredende lastkombinasjoner i henhold til eurokoden med nasjonale tillegg. Programmet tillater modellering i 2D og 3D. Gjennom global analyse av modellen kommer det frem konstruksjonens kapasiteter og nødvendige dimensjoner av gjeldende materiale for det dimensjonerende lasttilfelle. Programmet gir også nødvendige diagrammer for dimensjonering. Ved å modellere i 3D oppnås et mer korrekt kraftbilde. (24)

### **3.2.3 Mathcad**

Mathcad er et ingeniørorientert kalkulasjonsverktøy. Det er godt egnet til å dokumentere og verifisere håndberegninger. Mathcad utfører beregningene ved korrekt matematisk notasjon, og oppdaterer beregningene fortløpende ved endring av inngående parametere. (25)

### **3.2.4 ArchiCAD**

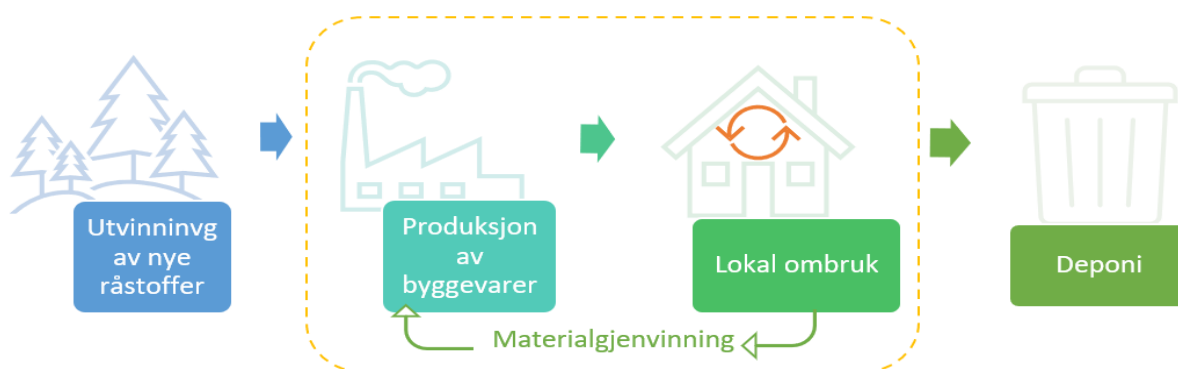
ArchiCAD er et BIM-verktøy, som inkluderer tilpassede norske maler og biblioteker i henhold til Norsk Standard. ArchiCAD kan benyttes til modellering i 2D og 3D. Modellen kan danne underlag for arbeidstegninger og detaljtegninger. (26)

### 3.3 FutureBuilt

FutureBuilt er en viktig leverandør av, og et program for, klimavennlige og visjonære prosjekter. Per april 2021 har FutureBuilt fått frem 56 forbildeprosjekter siden programstart i 2010. Et forbildeprosjekt skal redusere klimagassutslippene for byggene i et livsløpsperspektiv, både i byggefasen og drift, og strekker seg dermed godt forbi dagens praksis i byggenæringen. Forbildeprosjektet på Nardo har som mål å etablere et system for ombruk av bygningsmaterialer og bygningsdeler. Den interne sirkulær-økonomien skal også benyttes i fremtidige bygninger hos Sit. Prosjektet vurderes å ha stor nytteverdi både i utviklingen rundt nytt campus i Trondheim og i Trondheimsregionen for øvrig (27). Erfaringer fra FutureBuilt kan bli en nøkkel for kommuner som vil redusere utslipp de neste årene (8) og signaliserer et nytt miljøvennlig tankesett. Prosjektene som inngår i FutureBuilt forplikter seg til å oppfylle et sett med kvalitetskriterier, med tilhørende dokumentasjonskrav. Formålet er effektiv ressursbruk og et ønske om redusert omløpshastighet. Den første versjonen av kriterierene ble utgitt i januar 2019, og var basert på et notat fra diskusjoner mellom FutureBuilt, Asplan Viak og SINTEF Byggforsk. Disse ble videreutviklet etter innspill fra en rekke aktører, gitt som en revidert utgave av kriteriene senere samme år. FutureBuilds kriterier for sirkulære bygg, ligger i forkant av dagens praksis og regelverk, og viser vei mot et bærekraftig og inkluderende lavutslippssamfunn. (28,29)

#### 3.3.1 Sirkulære prinsipper og strategier

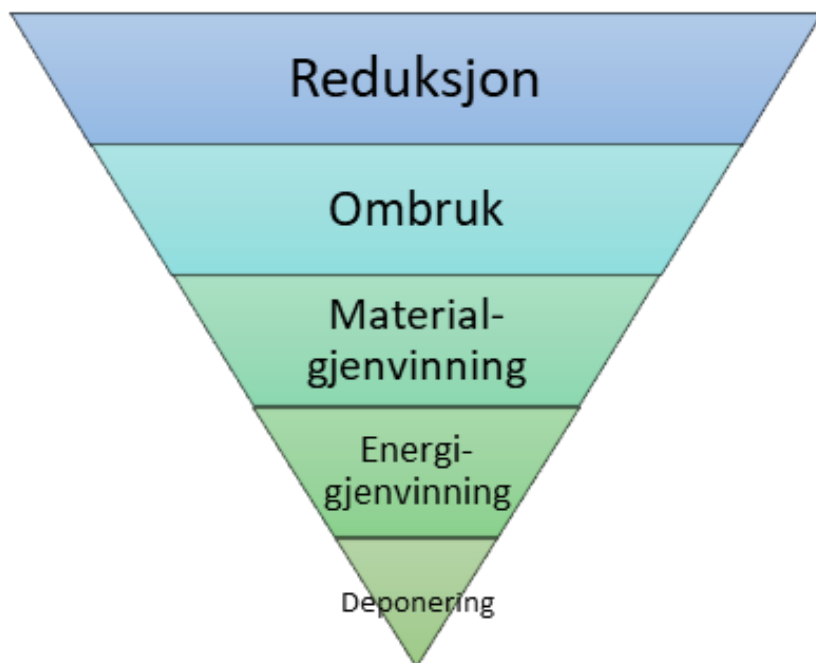
I henhold til FutureBuilds kriterier for sirkulære bygg, skal et sirkulært bygg legge til rette for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, og bestå av minst 50 prosent ombrukte og ombrukbare komponenter. Redusert ressursbruk gjennomføres ved arealeffektive løsninger, med god utnyttelse. Avfall reduseres gjennom materialvalg som innehar lang levetid, der materialer skal være endringsdyktige og/eller ombrukbare. Figuren nedfor illustrerer hvordan ombruk kan bidra til å redusere flere trinn i byggeprosessen, og i større grad utsette eller unngå utvinning, produksjon og deponi.



Figur 2 Sirkulære prinsipper|

Ombruk fremmes gjennom rehabilitering fremfor riving der det er mulig. Komponenter som skal ombrukes bør ha god teknisk kvalitet, og da med lang nok restlevetid til å rettferdiggjøre ombruk. Ombruk av materialer med høy miljøbelastning skal hele veien vektlegges.

Et formål er å bevare mest mulig materialressurser intakte og på et høyest mulig nivå i henhold til avfallspyramiden som vist i figuren under, både i rive- og byggefase. Bevaring eller rehabilitering av bygg medfører vanligvis lavere miljøbelastning, enn riving og nybygg. Det oppfordres derfor til å gjøre en grundig vurdering av miljømessige fordeler og ulemper.



Figur 3 Avfallspyramiden

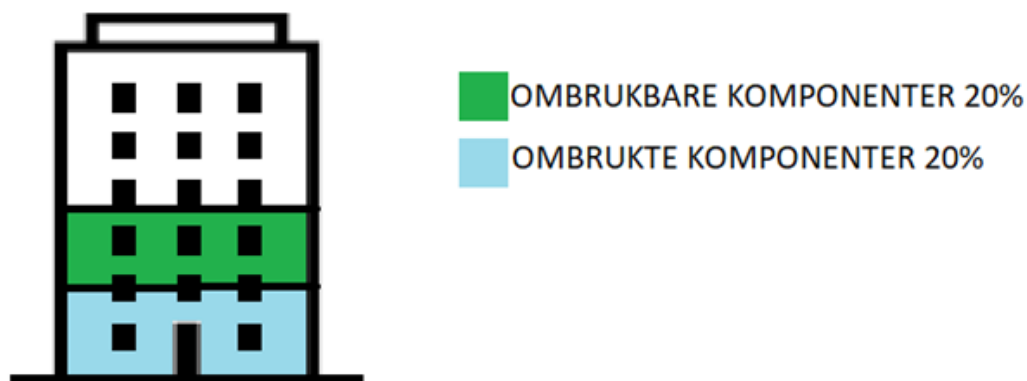
Prosjektering for ombruk innebærer å planlegge bygg på en slik måte at komponenter kan demonteres og ombrukes ved rehabilitering og riving, og på så måte forlenge materialressursenes levetid. Det anbefales robuste materialvalg, med få materialer og komponenter. Materialvalgene skal være homogene og det skal unngås miljø- og helseskadelige stoffer. Komponentene og materialene som benyttes skal kunne ombrukes i generasjoner. Bygningsdeler skal i størst mulig grad være i standard dimensjoner av lav kompleksitet og enkelt moduldesign. Forbindelser skal utformes med tanke på mulighet for demontering. Mellom komponenter og bygningsdeler skal det derfor benyttes reversible løsninger ved bruk av skruer eller bolter. Antall ulike forbindelser skal være på et minimum, og vanlig verktøy skal være mulig å benytte. Konstruksjonen skal settes sammen som uavhengige systemer, der de arrangeres etter levetid. Markering av

tilgjengelig informasjon skal være tydeliggjort på alle materialer, komponenter og festepunkt. Det er ønsket å unngå større naturinngrep på omliggende areal.

Prosjektering med brukte komponenter hindrer uttak av nye ressurser, reduserer avfall og innebærer ofte en vesentlig reduksjon av klimagassutslipp for prosjektet. Brukte komponenter kan anskaffes fra eget bygg ved rehabilitering, fra andre lokale bygg eller fra en tredjepartsleverandør. Måten man bruker et produkt i konstruksjonen vil ha stor betydning for reell gjenbruk. Kompositter og limte produkter er for eksempel vanskeligere å gjenbruke enn homogene produkter med mekanisk innfesting. Det er ofte små forskjeller i utførelsen som bestemmer om det er mulig å ombruke et produkt ved endt levetid eller om det må gå til materialgjenvinning, energiutnyttelse eller deponi.

Prosjektering for endringsdyktighet innebærer å planlegge bygget på en måte som bidrar til generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygget (29). Tilstrekkelig tilgjengelig informasjon bør medfølge, i form av eksempelvis god merking av byggets komponenter, utfyllende informasjon i FDV-dokumentasjon og en digital tvilling som viser byggets geometri i åpenBIM.

Et kriterium for nye bygg er at minimum 20 prosent av komponentene skal være ombrukbare, og minimum 20 prosent skal være ombrukte, som illustrert i figur 4. Til sammen skal minst 50 prosent av komponentene i prosjektet, ekskludert konstruksjon i grunn og fundament, være ombrukte eller ombrukbare.



Figur 4 Kriterier for ombrukte og ombrukbare komponenter

### 3.4 Bygningsmaterialer i et miljøperspektiv

Informasjon i kapittelet baseres på Grønn Materialguide (6), med mindre annet er spesifisert. Grønn Materialguide er utarbeidet av Grønn Byggallianse, og skal hjelpe bransjen til å velge miljøriktige materialer i tidlig prosjektfase. Veilederen inkluderer funksjons- og

dokumentasjonskrav, og beskriver miljøpåvirkningene til en rekke grupperte produkter. For hver produktgruppe gis en konsis beskrivelse og grafiske indikatorer. Indikatorene baserer seg på generiske europeiske databaser (EPDer) for enkeltprodukter og tilgjengelig litteratur, og angir forventet nivå og spenn innenfor produktgruppen. Vurderingene gjelder for nye produkter.

### **3.4.1 Ombruksmaterialer**

Etter oppdrag fra Sit Tapir AS har Rambøll gjennomført en befaring av eksisterende bygg på tomten, med formål å avdekke forekomster av helse- og miljøfarlig avfall i forkant av riving, og få et overblikk over potensialet for bevaring og ombruk. I den forbindelse er det utarbeidet en miljøsaneringsbeskrivelse (30). Helse- og miljøfarlig avfall fra bygningsmassen tilhørende Nardovegen 12 og 14 er undersøkt, og gir grunnlag for blant annet prosjektering og miljøsanering. En ombrukskartlegging er også gjennomført. Ombruksstudien identifiserer og gir potensielle bruksområder og tilknyttede problemer i forbindelse med ombruk og gjenvinning av de viktigste rehabiliterings- og rivingsmaterialene. Ombruksstudien er gjennomført uten tilgjengelig FDV-dokumentasjon for bygningsmassene, men tar utgangspunkt i funnene gitt i miljøsaneringsbeskrivelsen, samt Grønn Materialguide. (6)

### **3.4.2 Tre**

Tre er et av våre mest brukte byggematerialer både i store og små konstruksjoner. Treprodukter fremstilles ressurseffektivt. Produksjon av trelast og treprodukter innebærer tilvirkning av sagtømmer gjennom saging, høvling og ytterligere videreforedling, hvor alt av biprodukter nyttes fullt ut. Treindustrien er med det en miljøeffektiv industri med lave klimagassutslipp.

Treprodukter er lette å bearbeide, og gjør med det gjenbruk og gjenvinning enkelt. Trevirke er et sikkert konstruksjonsmateriale, som gir mulighet for gode systemløsninger i konstruksjoner og knutepunkter. Bruk av tre som byggemateriale bidrar til redusert CO<sub>2</sub>-innhold i atmosfæren. Dette skjer direkte ved karbonlagring, samt ved substitusjon som erstatning for mer klimabelastende materialer. (31)

### **Konstruksjonsvirke**

Konstruksjonsvirke er høvlet trelast som er sortert med hensyn til styrke. Konstruksjonsvirke fås i forskjellige fasthetsklasser definert i standarden NS-EN 338 (32). Konstruksjonsvirke i C-klasse benyttes der bøyefasthet, elastisitetsmodul og densitet er viktig, og anvendes eksempelvis som bjelkelag og stendere. Konstruksjonsvirke i T-klassen er hovedsakelig ment for bruk i limtre og andre tilfeller hvor strekkstyrke er dominerende lastpåvirkning. Konstruksjonsvirke har generelt lave klimagassutslipp, der transportavstand i produksjon og til byggeplass er av stor betydning for det totale utslippet. Konstruksjonsvirke er i prinsippet egnet til gjenbruk, men dette er i liten

grad økonomisk forsvarlig og har begrenset miljømessig verdi. Avhendet trevirke går i hovedsak til energigjenvinning. Kapp fra konstruksjonsvirke utgjør ofte en betydelig andel av det totale avfallet. (33)

Malmfuru er en betegnelse på furu som har hatt sein vekst, og derfor har stor malmandel. Kjerneveden i furu er naturlig beskyttet ved at harpiks er fylt i treverkets celler. Harpiksen fungerer som en naturlig impregnering, som gjør trevirket varig selv på værutsatte steder. Malmfuru har med det en svært god miljøprofil. (34)

### **Limtre**

Limtre er et bearbeidet treprodukt. Ved å benytte fingerskjøtte lameller av styrkesortert virke, kan det produseres bjelker av varierende form og størrelse. Limtre har relativt høye klimagassutslipp til trevirke å være. Dette skyldes limproduksjonen og en noe mer energiintensiv produksjon enn for vanlig konstruksjonsvirke. Limtre har imidlertid utmerkede egenskaper på både styrke og stivhet, og er med det markant bedre enn konstruksjonsvirke av samme dimensjon. Limtre er svært godt egnet i bærende konstruksjoner, og kommer godt ut i forhold til alternative materialer, sett i et miljømessig perspektiv. Som et trebasert materiale kan eventuelle justeringer gjøres med enkle håndverktøy, noe som gjør limtre godt egnet til gjenbruk. Det gir også rask og enkel montering, og kan føyes sammen med enkle, tradisjonelle metoder. Limtre har god bestandighet, selv i kjemisk aggressive miljøer. Limtreets lave egenvekt reduserer transport- og montasjekostnader, og har en positiv effekt på både pris, og utførelse av fundamenter. (35)

### **Trevirkets holdbarhet**

For trevirke til utendørs bruk må det tas ekstra hensyn til vær og vind. Her er regn, snø, sollys og jord, og skiftningen mellom disse, destruktive faktorer. Sollys medfører uttørking, som kan gi oppsprekking, og dermed passasje for vann. Råteangrep som følge av nedbrytende sopper og bakterier kan svekke treet.

Trevirkets råteresistens er blant annet avhengig av trevirkets naturlige holdbarhet. Standarden NS-EN 350 (36) tar for seg tre og trebaserte produkters holdbarhet. I standarden klassifiseres holdbarhet til tre mot treødeleggende sopp i fem klasser, som kun gis for ubehandlet tre. Impregnert eller modifisert trevirke kan imidlertid klassifiseres ved hjelp av et tilsvarende system. Eksempelvis anses impregnert trevirke som meget holdbart. Ubehandlet furu klassifiseres som middels til lite holdbar. (37,38)

Generelt bør konstruktiv trebeskyttelse etterstrebes. Dette oppnås ved beskyttelse fra direkte vannpåkjenning og fukt gjennom byggets utforming. Eksempler på konstruktiv beskyttelse kan være tilstrekkelig avstand fra trevirke til terreng, riktige beslags- og detaljløsninger og

tilstrekkelig lufting. Overflatebehandling, trykkimpregnering og modifisering av trevirket er aktuelt der konstruktiv beskyttelse ikke er mulig eller tilstrekkelig.

I henhold til punkt 41 (39) vil overflatebehandling gi beskyttelse for treets ytterste flate. Overflatebehandling vil ikke beskytte treet mot soppsporer, insekter og vann ved senere sprekkdannelse eller skader. Overflatebehandling krever vedlikehold og er avhengig av gjentatt behandling av endevend. I henhold til punkt 2.4 (40) skal overflatebehandling unngås, der det ikke er nødvendig for å redusere slitasje eller nedbrytning av materiale.

Riktig bruk av trykkimpregnert trevirke gir økt bestandighet mot råtesopp. Trykkimpregnert trevirke er ikke beskyttet mot mugg- og fargeskadesopp som lever på overflaten av materialer, og trevirket kan bli angrepet av slik sopp i luft med høy relativ fuktighet. Trykkimpregnert trevirke er delt i fire klasser: M, A, AB og B. Klassene tar utgangspunkt i bruksområde. I henhold til tabell 541 (39) skal eksempelvis konstruksjoner som er i permanent kontakt med jord eller ferskvann og konstruksjoner som er vanskelige å inspisere og skifte ut, behandles etter klasse A i henhold til tabell 34 (39). Trykkimpregnert trevirke klassifiseres som farlig avfall.

Modifisering av tre betyr at trevirket behandles for å bli mer motstandsdyktig, og er et alternativ der trevirket har ekstra stor fuktpåkjenning, eller er i kontakt med jord. Modifisering av treet innebærer en kjemisk eller termisk prosess, som vil øke klimagassutslipp vesentlig. Utslipp varierer med modifiseringsteknikk og tresort. Modifisering kan eksempelvis være kunstig malming, impregnering og varmebehandling. Dette vil endre treets egenskaper, og gjør det som regel også hardere og mer sprøtt. (6,38)

Her er Kebony et miljøvennlig alternativ til behandling av trevirke. Kebony-prosessen er todelt. I første trinn impregneres treet i furfurylalkohol. Dette er en naturlig væske som gjør treet mer dimensjonsstabilt. I andre trinn varmes trevirket opp, slik at det dannes nye og sterkere forbindelser mellom molekylene i impregneringen. Slik herdes treet. Behandlingen gjør treets cellevegger tykkere, og bidrar til stabilitet, økt hardhet og lang levetid. Kebony leveres brunt, og får med tiden en sølvgrå patina. Der trevirket kappes eller kløyves, behandles det med endeforseglingsvoks. Kebony er vedlikeholdsfritt. (41,42). Limtre kan overflatebehandles med samme middel og metoder som vanlig trevirke (35). Limtre til utendørs bruk bør behandles industrielt, og kan videre overflatebehandles jevnlig for bedre holdbarhet (43).

### **3.4.3 Stål**

Stål er en legering av jern og karbon, som øker styrken på jernet på bekostning av duktiliteten. Stål har høy strekkstyrke, og er et allsidig bygningsmateriale. Ubehandlet stål vil være utsatt for

korrosjon i kontakt med luft og vann. Dette kan motvirkes ved overflatebehandling, eller ved ulike legeringer. Rustfritt stål inneholder minimum 11 prosent krom, ofte kombinert med nikkel. Produksjon av stål er svært energikrevende. Stålindustrien står for omtrent 7 prosent av verdens totale CO<sub>2</sub>-utslipp. Energikilden ved produksjon har stor betydning. Produksjon av nystål fra jernmalm er energiintensivt og kan være forbundet med betydelig forurensning. Produksjon basert på fornybar energi bør foretrekkes framfor kull. Klimagassutslipp pr kg stål påvirkes av stålets resirkuleringsgrad og energitype som benyttes under produksjon. Stål kan tåle en høy resirkulert andel uten å miste styrke. Resirkuleringsgraden til stålet påvirker klimagassutslippet. Ved å benytte stål med mindre vekt for samme funksjon, eksempelvis høyfast stål, kan totale utslipp for konstruksjonen reduseres ytterligere. Ved endt levetid kan 100 prosent av stålet resirkuleres, og det finnes veletablerte returordninger for skrapstål i dag. Stålkonstruksjoner kan også gjenbrukes direkte.

Stål er imidlertid et produkt som inngår i et kretsløp, som gjør stål til en viktig del av den sirkulære økonomien. Et viktig steg i kretsløpet er at skrapstålet kan gjenvinnes i elektriske lysbueovner. Det fremtidige kretsløpet, som består av mer skrapbasert produksjon, vil få betydelig innvirkning på den totale energibruken. En elektrisk lysbueovn i dag bruker i gjennomsnitt 60 prosent mindre energi og har 70 prosent mindre utslipp av karbondioksid enn malmbasert produksjon. Etter at stålet er smeltet kan det fremstå i en helt ny form og med nytt formål. Stål kan også ombrukes direkte hvis det er boltet og ikke sveiset. (44)

#### **3.4.4 Betong**

Betong er et fleksibelt materiale med mange bruksområder, og er vanlig i bæresystemer som eksempelvis betongdekker eller bærende søyler. Betong er basert på en blanding av sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer. Tilslag er normalt sand, stein og pukk i ulike andeler. Forholdet mellom blandingselementene gir ulik styrke og bestandighet. Generelt tåler betong strekk svært dårlig. I tilfeller hvor betongen utsettes for strekk, armeres betongen. Armeringen tar opp strekk, og øker betongens styrke og strekkapasitet. Betong er i prinsippet vedlikeholdsfritt og kan stå i mange år, men vil likevel være utsatt for nedbrytning over tid. Nedbrytningen kan forårsakes av kjemiske og mekaniske prosesser, av frost, og ved at armeringen eksponeres for vann og luft, og ruster.

Armeringen utgjør imidlertid store deler av betongens klimautslipp. Det bør derfor kreves 100 prosent resirkulert armering. Sementproduksjon er også svært energikrevende, da det under produksjon av sement spaltes av betydelige mengder CO<sub>2</sub>. Utslippene kan reduseres ved å benytte lavkarbonbetong, der en andel av sementen i blandingen byttes ut med flyveaske, som er



et avfallsprodukt fra kraftproduksjon. Det kan redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med inntil en tredjedel. Sementindustrien har imidlertid blitt mer fokusert på å redusere CO<sub>2</sub>-utslipp fra sementproduksjonen. Forsknings- og utviklingsprosjekter i Norge og utlandet pågår for å redusere klimagassutslippet fra betong gjennom karbonfangst og –lagring.

I dag er det aktuelt å knuse betong etter at en konstruksjon rives, slik at luft kan komme til nærmest overalt i betongen, og denne blir fullstendig karbonatisert. Den knuste betongen kan dermed for eksempel brukes som fyllmasse eller tilslag i betong. Siden disse knuste betongbitene ikke lenger er armerte, spiller det ingen rolle om disse er fullstendig karbonatisert eller ikke. Slik oppnår en at betongen tar opp en betydelig andel av CO<sub>2</sub> som opprinnelig ble sluppet ut i forbindelse med produksjon av betongen. (45)

### **Resirkulering og gjenbruk av betong**

Brukt betong kan få ny nytte, i flere former. Gjennom ombruk kan betongen brukes til samme formål som den var utformet til, som bæresystem der det bygges nytt på samme sted, eller som betongprodukt som gjenbrukes i nye konstruksjoner etter demontering. For en bærende konstruksjon i betong vil det i mange tilfeller være hensiktsmessig å helt eller delvis bevare bærekonstruksjonen slik den er, og prosjektere for renovering. Utfordringen ved å ombruke bærende elementer på nye måter, er knyttet til tekniske krav for styrke og sammensetning.

Ved endt levetid kan betong omformes gjennom materialgjenvinning. I ubunden bruk kan betongen benyttes som løst tilslag til utlegging og mekanisk stabilisering. I bunden bruk kan betongen benyttes som tilslag. Dette er spesielt velegnet i betong til utvendige flater, grunnet reduserte krav til konstruksjonssikkerhet. Betongstandarden (46) skiller mellom gjenvunnet vasket tilslag og resirkulert tilslag. Standarden tillater under visse betingelser gjenbruk av opptil 30 prosent av tilslaget. Det må foretas forhåndsundersøkelser av betongen. Betong som kvalifiseres til farlig avfall eller får påvist asbest, kan ikke ombrukes. (45)

### **3.4.5 Glass**

Glass består av kvartssand og mineraler. Glass gir relativt høye utslipp per kvadrat, sammenlignet med andre fasadematerialer. Glass kan enkelt materialgjenvinnes. Klimagassutslipp for resirkulert glass, er lavere enn for nytt glass, men har imidlertid lavere kvalitet. Det vil anses som hensiktsmessig å ombruke glass, i form av fasadekledning, innervegger eller som vindu i uoppvarmede rom. De fleste vindu vil inneholde miljøfarlige stoffer. Dette må tas hensyn til ved gjenbruk. (6)

### **3.4.6 EPS**

Ekspandert polystyren (EPS) er en styrenplast som også er omtalt som isopor. I bygg benyttes EPS som isolasjon, deriblant markisolasjon. Plassering og fysisk påkjenning har innvirkning på levetiden, men plastbasert isolasjon har på generell basis meget lang levetid. EPS er med det fuktbestandig og rimelig. Ressursgrunnlaget for all plastbasert isolasjon er olje, altså en ikke-fornybar ressurs, og har med det høyere klimagassutslipp enn eksempelvis trebasert isolasjon. EPS kan material- eller energigjenvinnes. (6)

### **3.5 Forskning på resirkulert tilslag i betong**

Det er i dag vanskelig å få til bærende konstruksjoner av betong med resirkulert tilslag. Grunnet garanti- og ansvarsforhold er få leverandører villige til å levere dette. Betong med resirkulert tilslag er derfor ikke utbredt i Norge. Resirkulert tilslag anses imidlertid som en metode i vekst verden over, og mange nye teknologier tilknyttet resirkulert tilslag er allerede etablerte.

I en eldre kanadisk studie fra 2010, undersøkes resirkulert betong som tilslag for bærende elementer. Her er det gjort undersøkelser med null, 50 og 100 prosent resirkulert tilslag av knust betong. Studien baserer seg på standardiserte metoder for testing av våt og fast betong. Undersøkelsene viser at betongens styrke kun avhenger av styrke kvaliteten på resirkulert betong, og at styrken er uavhengig av mengden resirkulert tilslag. Formbarhet og vannabsorpsjon gir ingen påviste endringer, og armeringen ser heller ikke ut til å påvirkes. Studien viser imidlertid reduserte egenskaper for elastisitetsmodul og krympedeformasjon ved økt tilslag av resirkulert betong. Det vises også redusert mostand mot slitasje ved økt mengde resirkulert tilslag. Den kanadiske studien fraråder på bakgrunn av dette å benytte resirkulert tilslag i bærekonstruksjoner med fare for store deformasjoner eller aggressive miljøforhold. (47)

En studie foretatt i 2011 av noen av verdens ledende eksponenter innenfor fagfeltet, går metodisk gjennom ulike bruk og metoder for resirkulert tilslag i betong. Studien baserer seg på tidligere undersøkelser og egen forskning. Det konkluderes med et stort potensial for større utnyttelse av resirkulert tilslag og gjenbruk av betong for en grønnere byggeprosess. Studien viser til vellykkede prosjekter med resirkulert tilslag i betong, for massive betongkonstruksjoner utsatt for aggressive miljøtilpasninger. Rapporten peker på manglende utvikling i flere land, som igjen skal føre til større sikkerhet og undersøkelser rundt forskningen som allerede er forsøkt. Det poengteres manglende informasjon om emnet, og problematikk rundt innsamling av den informasjonen som allerede er til stede. (18)

RESGRAM er et norsk, 4-årig innovasjonsprosjekt, med oppstart høsten 2016, der målsetningen er å sammenligne kvaliteten til resirkulert tilslag fra oppgravde masser og knust betong med naturlig tilslag gjennom laboratorieforsøk og fullskala demonstrasjoner. Prosjektets hensikt er å produsere resirkulert tilslag som oppfyller de samme kravene som naturlig tilslag. RESGRAM medvirker til en sirkulær økonomi som en viktig del av regjeringens satsning på det grønne skiftet. I forbindelse med prosjektet er det gjennomført et pilotforsøk, der det ble støpt et 100 m<sup>3</sup> betongdekke av ferdigblandet betong, i henhold til betongklasse C35/45. Tilslaget var 100 prosent resirkulert tilslag. Egenskapene til fersk og herdet betong ble testet. Resultatene viste at betongen hadde en trykkfasthet som ikke var lavere enn for en betong støpt med naturlig tilslag. De foreløpige resultatene fra prosjektet viser dermed at det er mulig å produsere betong med 100 prosent resirkulert tilslag, som tilfredsstillende de samme fysiske kravene som tradisjonelle betongblandinger med naturlig tilslag. Kjemisk analyse av totalinnholdet av organiske og uorganiske forbindelser i ulike fraksjoner viser at tilslaget tilfredsstillende tilstandsklasse 1. Resirkulert tilslag i klasse 1 kan normalt brukes uten restriksjoner over grunnvann og på steder som ikke er i direkte kontakt med sjøvann eller ferskvannsressurser. (48)

## **4 Metode**

Dette kapitlet inkluderer metodikken ved prosjektering av studentmøtepunktet.

## 4.1 Utforming av studentmøtepunkt

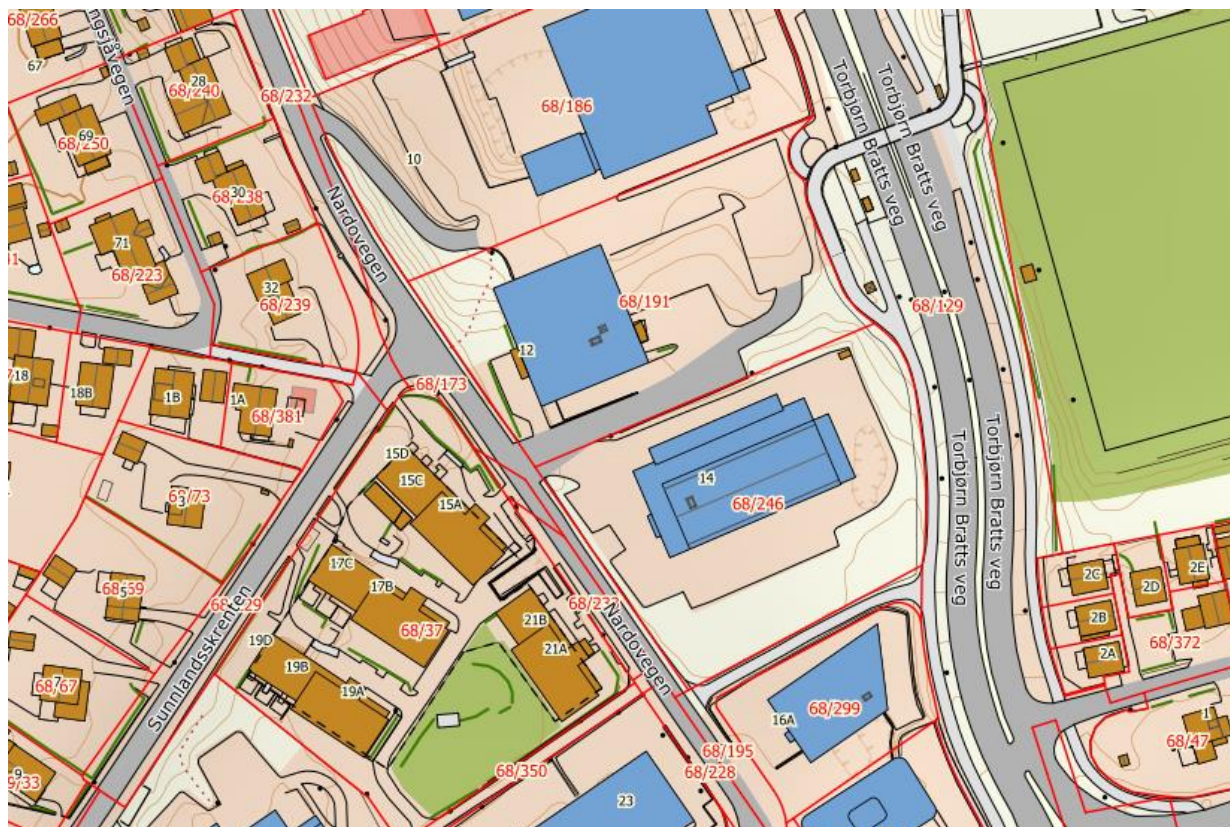
### 4.1.1 Tidlig fase

Det ble i oppstartsfasen gjennomført en befaring av tomtens eksisterende bygg, i regi av Sit. Under befaringen ble mulige gjenbruksmaterialer og elementer fra eksisterende bygg observert og fotografert. Dette ga en pekepinn på tilgjengelige ressurser ved delvis eller fullstendig riving.



Figur 5 Bilder tatt på befaring

I tilknytning til de bærekraftige boligene, ønsker Sit et sted hvor de fremtidige studentboligene beboere, samt andre studenter, kan møtes. Det er ikke kjennskap til ytterligere ønsker for bruksområde, størrelse eller utforming, da det verken har fremkommet i oppgaveteksten eller muntlig henvendelse under befaring. Byggets plassering på tomten er heller ikke kjent.



Figur 6 Eiendomskart med tomteavgrønsning (49).

Oppgavens første del gikk ut på å reflektere rundt hva som burde inngå i et slikt møtepunkt. Etter befaring av området og eksisterende bygg, ble ulike forslag til studentmøtepunkter skissert. Skissene ble i første omgang utformet individuelt, med utgangspunkt i egne ideer om hva et studentmøtepunkt burde inkludere. De individuelle løsningene ble diskutert i fellesskap og videreutviklet til en endelig skisse av studentmøtepunktet, som vist på neste figur.

Et felles ønske for studentmøtepunktet var å dele opp konstruksjonen i ulike soner, slik at den kan benyttes av større og mindre studentgrupper samtidig, og til ulike formål. Møtepunktet er tenkt som et felles utendørs samlingspunkt. På bakgrunn av dette er det planlagt en konstruksjon med uoppvarmede arealer til variert bruk.

Konstruksjonen fordeles over to etasjer. Øvre etasje er tiltenkt takterrasse med gode solforhold. Underetasjen er delvis overbygd og inkluderer et åpent rom, heretter kalt gjenbrukshuset. Adkomst til andre etasje utformes som en amfitrapp, som også bidrar til ekstra oppholdsareal.

Det vil utformes en omkringliggende terrasse som gir ytterligere areal. Det tas høyde for at maksimalt 10-15 prosent av studentboligenes beboere vil benytte studentmøtepunktet samtidig, og ved maksimalt antall regnes det med én student per kvadratmeter.



Figur 7 Første skisse av studentmøtepunkt

Videre ble mulige ombrukselementer fra tomtens eksisterende bygg tatt opp til vurdering. I denne oppgaven vurderes kun komponentene herfra til ombruk. Ettersom lagerbygningene på tomten i all hovedsak består av betong og stål, har det vært en utfordring å finne passende gjenbrukselementer fra stedet. Dette skyldes at dimensjoner og vekt ikke har vært hensiktsmessig for studentmøtepunktets størrelse og bærende konstruksjon i tre.

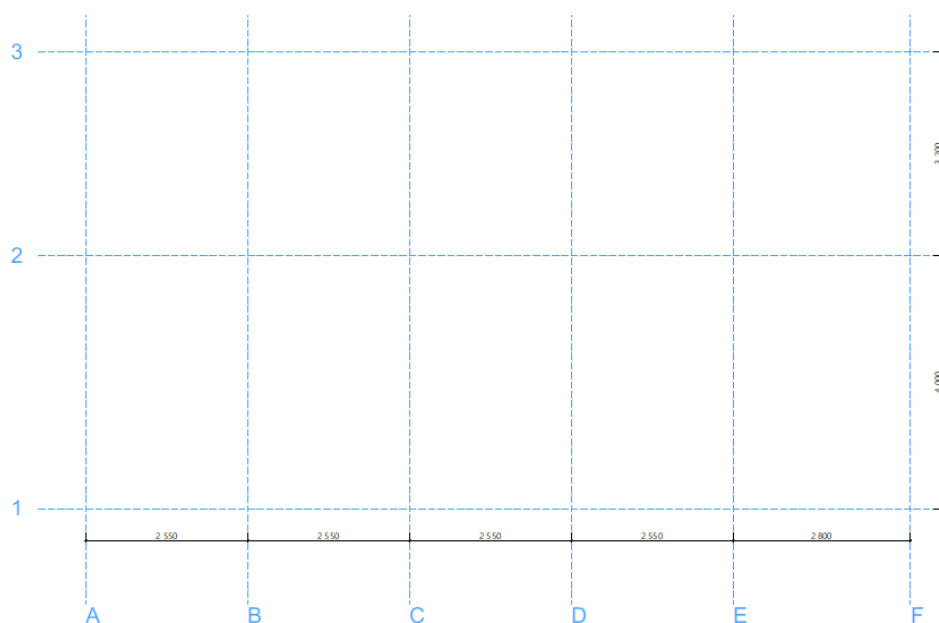
#### 4.1.2 Alternative bæresystem

Bæresystemet er utformet med hensyn på ombrukbarhet og endringsdyktighet, med et formål om å oppnå ønsket utforming ved minimert materialbruk. Bæresystemet er basert på bærekraftige og homogene materialer, og vektlegger mulighet for videre ombruk av samtlige elementer. Komponenter med enkel utforming og standardiserte dimensjoner er vurdert å ha størst endringsdyktighet, som dermed åpner opp for ombruk.

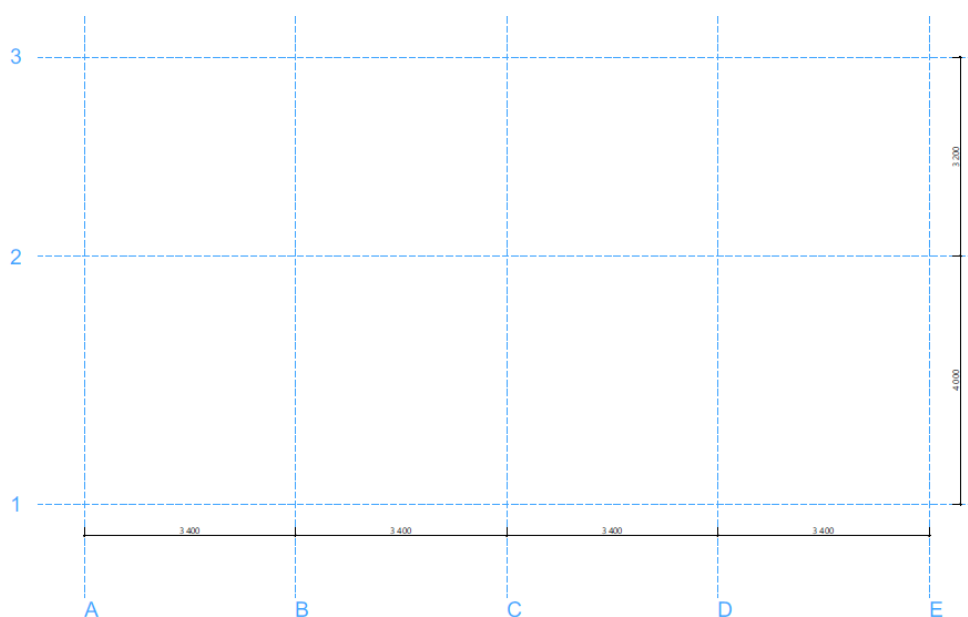
Det ble enighet i gruppen om en rammekonstruksjon som kunne benyttes i to etasjeplan, og at to alternativer for dette skulle vurderes opp mot hverandre. Det ene alternativet baserer seg på å benytte gjenbrukte hulldekker som dekke i 2. etasje i studentmøtepunktet. Det andre alternativet omfatter en fullstendig bærekonstruksjon i tre, der etasjeskilleren er et bjelkelag. For å få en

indikasjon på forskjeller mellom de to alternativenes klimafotavtrykk, ble det besluttet at disse skulle vurderes opp mot hverandre etter gjennomført dimensjonering.

Felles for begge alternativer er at dekket i andre etasje bæres av takbjelker over søyler som går direkte i søylefundamenter av betong. For utenom nødvendige ulikheter grunnet dekket, fremstår løsningene som svært like. Hovedsakelig er det dimensjonene og elementenes hyppighet som er varierende. Terrassekonstruksjonen er uavhengig av bærende konstruksjon og legges direkte på terreng. Alle bærende elementer navngis etter koordinater fra referansesystemet tilhørende hvert av alternativene, som vist på figurene nedenfor.



Figur 8 Referansesystem for alternativ 1



Figur 9 Referansesystem for alternativ 2



Det skal nevnes at bæresystemet har blitt endret underveis i prosessen, og i hovedsak forenklet, da nye utforminger har vist seg å gi større materialreduksjon og mindre inngrep i terrenget. Som følge av at konstruktiv løsning har blitt videreutviklet, har det blitt gjort endringer på skissen. Dette basert på dimensjoner og plasseringer av elementene. Videre i metode og resultat omtales kun endelig bæresystem for alternativ 1 og alternativ 2.

Prosjektering av studentmøtepunktet er i henhold til Norsk Standard. Ved prosjektering er det hele veien forsøkt å tilrettelegge for ressursutnyttelse på høyest mulig nivå, med utgangspunkt i FutureBuilts kriterier for sirkulære bygg, samt direkte bruk og beslutninger med bakgrunn i avfallspyramidens prinsipper. Kapittel 3.6 svarer ut for metodisk tilnærming til FutureBuilts kriterier for sirkulære bygg, ved prosjektering av studentmøtepunktet.

#### **4.1.3 Byggteknisk utforming**

Byggtekniske løsninger for konstruksjonens komponenter er valgt i lys av nødvendig funksjon og sirkulære prinsipper. Det skal tilrettelegges for et enkelt system for utskiftning og ombruk av komponentene, og gjennomføres med formål om å oppnå en fleksibel konstruksjon.

Fundament er valgt på bakgrunn av miljøhensyn og fleksibilitet. Det er vektlagt et stabilt bæresystem med redusert betongbruk, og søylefundament er derfor valgt som fundamentering. Dette anses som hensiktsmessig til mindre, uoppvarmede bygg (50). Søylefundamentet dekkes delvis til av terrassebord og vil være lite synlig fra utsiden.

Det benyttes tilfarere i konstruksjonsvirke som understøtte til terrassebjelkene. Denne løsningen er valgt for å oppnå redusert materialbruk. Tilfarernes høyde er tilpasset ønsket høyde på terrasse og plasseres direkte på avrettingsmasser over fiberduk. De behandles slik at de tåler klimapåkjenningene. Det vil deretter legges terrassebjelker med tilhørende kantbjelker, hvor kubbing av terrassebjelker gjennomføres i nødvendige overganger. Høydedifferanse løses med rampe der det er nødvendig, i henhold til krav om universell utforming.

Veggen er konstruert for uoppvarmet rom, og beskytter mot vind og vann. På bakgrunn av dette benyttes noen prinsipper for tetting, men damptette vegger betraktes som overflødig. Kledning festes med tilhørende sløyfer for lufting og tetting, og velges med hensyn på ombrukte materialer.

For tilstrekkelig lysinnslipp i gjenbrukshuset, er det satt inn vinduer i tre av fire vegger. Vinduene som settes inn er tenkt å være gjenbrukte, men må undersøkes for forurensning. To-lags vindusglass i alle vinduer antas, og det tas høyde for at karmen må byttes ut. Dimensjoner, mengder og utforming av vinduer er i tråd med dimensjoner observert på befaring. For disse vinduene vil naturligvis u-verdi være irrelevant.

Amfitrappen er tenkt å legge til rette for sammenkomster, fungere som adkomst til takterrassen og kan benyttes som tribune for publikum. Konstruksjonen dimensjoneres med prinsipper for trapp, der det er vektlagt å minimere materialbruket. Trappens dimensjoner bestemmes i henhold til universell utforming for trapp, der det tilpasses høyder i overgangene til terrasse og terreng. Rekkverket rundt amfitrappen vil bestå av ombrukte materialer.

Terrassetaket er konstruert for kaldrom og skal tilpasses for god avrenning. Det vil være vektlagt et system med redusert materialbruk for mindre belastning på bærekonstruksjonen. Taket skal være luftet og vil fungere som oppholdsareal til studentene. Terrassetaket kles med terrassebord og konstruksjonen dekkes av tilhørende rekkverk. Rekkverket skal tilrettelegges for utnyttelse av ombrukte materialer og tilpasses høyde etter gjeldende krav.

## **4.2 Laster på bærekonstruksjonen**

*Laster og ligningsnummer er i henhold til gitte standarder, så lenge ikke annet oppgis.*

Egenlast, snølast og nyttelast er satt inn som horisontale linjelaster som virker ned på bjelker eller ned i søylefundament som punktlaster. For å ta høyde for vindlast er det plassert ut vindlast som punktlaster vertikalt, og linjelaster i alle tre av hovedaksens retninger. Beregnede laster legges inn i Focus og er grunnlaget for dimensjoneringen. Det er gjort beregninger ut fra at vindlast og snølast ikke vil opptre i full styrke samtidig, for å danne et ugunstig tilfelle som utgangspunkt for beregningene.

### **4.2.1 Egenlast**

Konstruksjonens egenlaster betraktes som permanente bundne påvirkninger i henhold til 1.5.3 i EC0 (19). I henhold til 3.2(1) (20) skal den totale egenlasten for konstruksjonsdeler og ikke-bærende deler betraktes som en enkel last ved kombinasjon av påvirkninger. Forskjellen på opptredende egenvekter mellom de to alternativene er stor. Nominelle verdier for egenlasten benyttes derfor ikke ved dimensjonering av bærekonstruksjonens elementer.

Opptredende materialmengder med tilhørende egenlast er gitt i vedlegg C. Tyngdetettheter og egenlaster som legges til grunn for beregning av egenlast er hentet fra tabell A.3 i EC1 (20) for trevirke. Øvrige verdier er hentet fra Byggforskblad (51). Volum og arealer er i tråd med dimensjoner og størrelser, der tallene hentes fra BIM-modell. Dimensjoner av gjenbrukselementer er basert på observasjoner fra befaring. Vedlegg C navngir og utleder de egenlaster som benyttes til dimensjonering av bærekonstruksjonen, eller som settes på for analyse i Focus Konstruksjon.

#### 4.2.2 Nyttelast

Beregningsmetode i henhold til EC1, del 1-1 (20). Med nyttelast regnes laster på byggverk som oppstår under bruk. For studentmøtepunktet omfatter det personers normale bruk, møbler og andre bevegelige gjenstander. Det tas også høyde for situasjoner som sjeldent vil forekomme, eksempelvis flytting av møbler eller store konsentrasjoner av personer. Nyttelast går under kategorien halvårslast.

Studentmøtepunktet plasseres i brukskategori C1 fra tabell 6.1. Videre gir tabell NA.6.2 en karakteristisk nyttelast fordelt som linjelast. Det anses ikke som nødvendig å øke nyttelast for trappen. For å finne nyttelast som fordeler seg på bærebjelker blir lasten omgjort til en jevnt fordelt last ut fra den opptredende lastbredden. (20)

#### 4.2.3 Snølast

Beregningsmetode i henhold til EC1, del 1-3 (52). Konstruksjonen ligger i Trondheim kommune. Terreng høyden på planområdet varierer mellom 56-68 moh. Antar at terreng høyden ved studentmøtepunktet er 68 moh., og dermed at takterrassen vil ha en maksimal høyde på 72 moh. Verdi for karakteristisk snølast korrigeres ikke, da konstruksjonens høyde over havet er lavere enn høydegrensen på 150 m. Karakteristisk snølast er hentet fra tabell NA.4.1(901). I beregninger blir denne lasten omgjort til linjelast ved hjelp av opptredende lastbredde. Overflater har en vinkel på null grader. Snølasten går under kategorien korttidslast. Formel for å finne karakteristisk snølast er følgende:

$$c_e * c_t * s_k * \mu \quad (5.2)$$

#### 4.2.4 Vindlast

Beregningsmetode i henhold til EC1, del 1-4 (53). Ligninger, tabeller og punkter henviser til denne. Det gjøres beregninger basert på statisk vindlast som vil være en påkjenning på konstruksjonen.

Referansevindhastigheten er hentet fra tabell NA.4(901.1). Med bakgrunn i dette beregnes basisvindhastigheten:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * c_{prob} * v_{b0} \quad (4.1)$$

Når stedvindhastigheten skal beregnes, ses det på en høyde  $z$  over terrenget, som vil påvirkes av terrengruhet, terrengform og basishastigheten.

$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (4.3)$$

$$c_r(z) = k_r * \ln \frac{z_{min}}{z_0} \text{ for } z < z_{min} \quad (4.4)$$

Turbulensintensiteten baseres på standardavviket av momentanvindhastigheten og divideres med middelvindhastigheten over en periode på 10 minutter. Bruker ligning (4.6) for å finne standardavviket og ligning (4.7) for å finne turbulensintensiteten. Regner til slutt ut vindkasthastighetstrykket:

$$\sigma_v = k_r * v_b * k_l \quad (4.6)$$

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} \quad (4.7)$$

$$q_p = 0,5\rho * v_m(z)^2 * (1 + 2 * k_p * I_v(z)) \quad (\text{NA.4.8})$$

Når vindkasthastighetstrykket for stedet er funnet, ses det på hvordan dette påvirker konstruksjonen. Vindkraften finnes ved ligning:

$$F_w = c_s * c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \quad (5.3)$$

Vindkraften oppgis i kN og plasseres i en avstand  $\frac{d}{4}$  fra loside. 7.3 (6)

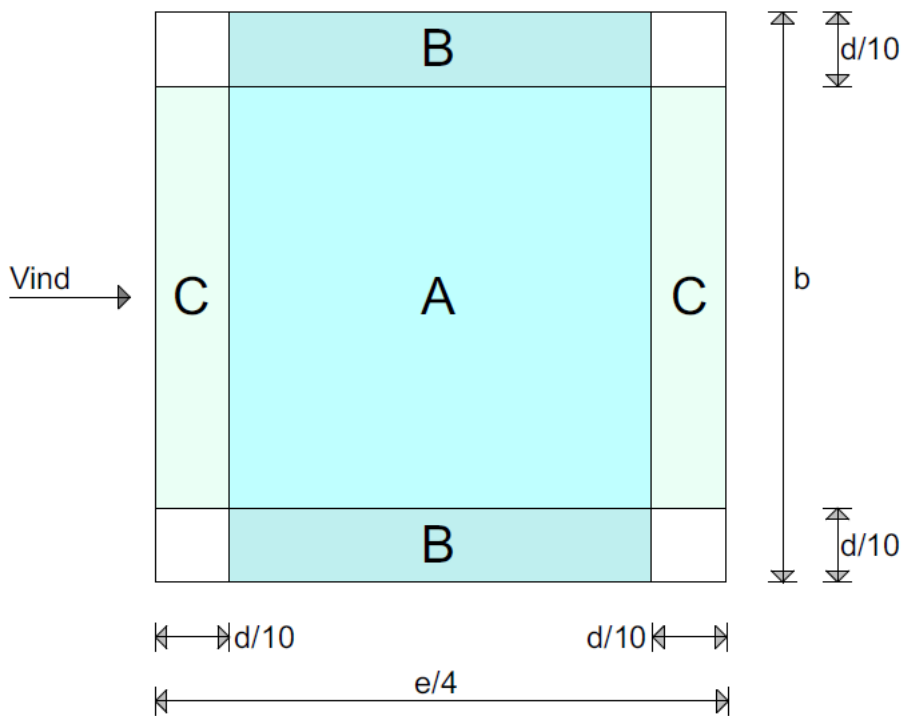
Konstruksjonen deles i to deler, en del med frittstående tak som er åpen mellom søylene, og en del som er et lukket rom med åpning, som regnes som et flatt tak. Det må ses på utvendig vindtrykk over det frittstående, og samlet utvendig og innvendig vindtrykk over det flate taket. I henhold til 7.2.1 (1) benyttes  $c_{pe,10}$  for bæresystemet.

$$\text{Utvendig lufttrykk: } W_e = q_p * c_{pe,10} \quad (5.1)$$

$$\text{Innvendig lufttrykk: } W_i = q_p * c_{pi} \quad (5.2)$$

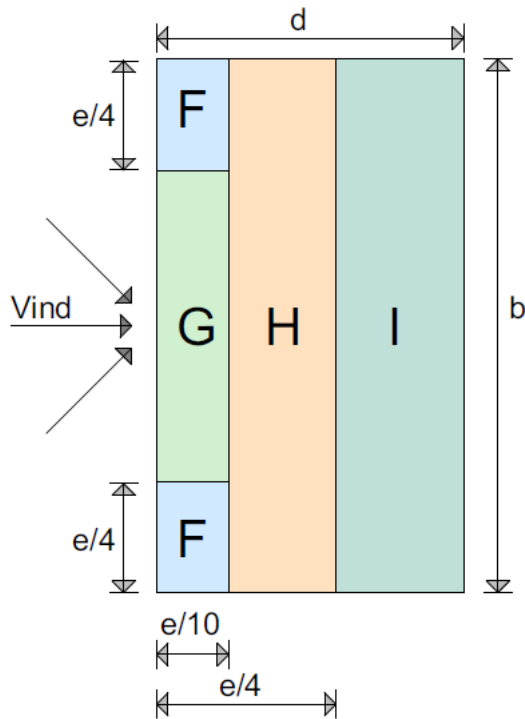
$$\text{Samlet lufttrykk: } W = W_e - W_i$$

Den frittstående takkonstruksjonen deles inn i tre soner: A, B og C, for å se hvordan de blir påvirket av vindtrykket. Ettersom det ikke er en lukket konstruksjon, settes  $c_{net} = c_{pe}$ . Setter inn i formel for utvendig vindtrykk og får ut en verdi per sone. Figuren nedenfor er basert på figur fra tabell 7.6.



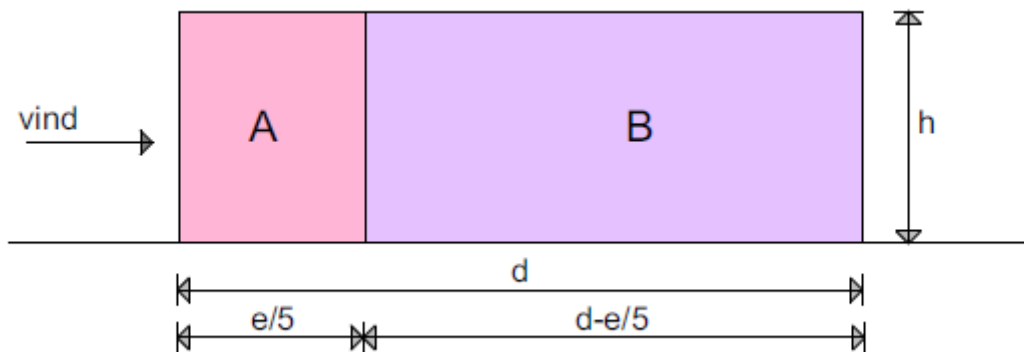
Figur 10 Soneinndeling frittstående tak

Det flate taket deles inn i fire soner: F, G, H og I. Finner utvendig formfaktor fra tabell 7.2 for hver sone for skarp takavslutning, og setter det inn i formel for utvendig vindtrykk. Innvendig formfaktor finnes ved å multiplisere  $c_{pe,10}$  med 0.75 i henhold til ligning 7.1, og dette settes inn i formel for innvendig vindtrykk. For å finne samlet vindtrykk må disse legges sammen for hver sone. Figur nedenfor er basert på figur 7.6.



Figur 11 Soneinndeling for flattak

Veggene deles inn i sone A og B. Vindlasten vil fordeles ut på berørte søyler. Utvendig og innvendig vindtrykk beregnes, der utvendig formfaktor finnes ved tabell 7.1 og innvendig formfaktor finnes ved ligning 7.1. Figur inspirert fra figur 7.5



Figur 12 Soneinndeling vegg

### 4.3 Statistiske modeller

Statistiske modeller av bærekonstruksjonen for de to alternativene er modellert inn i Focus Konstruksjon. Modellene påføres karakteristiske verdier for snølast, vindlast, nyttelast og øvrige egenlast. Egenlast av modellert konstruksjon genereres automatisk i Focus Konstruksjon.

Programmet gir en analyse av de opptredende kreftene som virker på konstruksjonens bæresystem som følge av ytre påkjenninger. Videre dimensjonering baserer seg på verdier for de mest ugunstige lastkombinasjonene, og hentes fra diagrammer og tabeller tilhørende alternativets statiske modell. Bærekonstruksjonen modelleres både i 2D og 3D for begge alternativer. Modellering i 2D benyttes for å få ut oversiktlige og tydelige diagrammer. Modellering i 3D er gjennomført for å kontrollere at 2D-modellene gir et korrekt kraftbilde, samt for å få frem eventuelle kritiske områder i konstruksjonen.

Focus Konstruksjon har blitt benyttet for beregning av oppleggskrefter, momentdiagram, skjærdiagram, segmentkart for kapasitetsutnyttelse og forskyvninger, og relevante snitt fra 2D og 3D-modellen ligger i vedlegg D og E, for henholdsvis alternativ 1 og 2. Disse har blitt benyttet for å finne kritiske punkt på konstruksjonen, samt vurderinger opp mot håndberegningene. Navnsetting av bærende konstruksjonselementer tar utgangspunkt i alternativets referansesystem.

#### **4.3.1 2D**

I 2D-modellen betraktes bærende konstruksjon i to deler, sett fra hver av konstruksjonens langsider. Dette er gjort for begge alternativ. Oppdelingen er gjort for å illustrere hvilke virkende krefter og verdier som benyttes for videre dimensjonering. Konstruksjonens vertikale laster legges inn i lineær modell. Dette omfatter egenlast, snølast og nyttelast, samt deler av vindlasten. Verdier som er benyttet fra statisk system i 2D begrenses, og vurderes slik at manglende vindlast ikke skal ha innvirkning på videre bruk i beregninger. I tilfeller der det vil ha betydning, benyttes verdier fra 3D-modell.

#### **4.3.2 3D**

3D-modellen inkluderer bærende bjelker og søyler, samt avstivende tverrbjelker som plasseres i takbjelkenes underkant. Statisk kan vegger i gjenbrukshuset betraktes som skall. Disse vil ta opp sideveis forskyvning, og virke avstivende på modellen. Dette forutsetter fullt samvirke mellom takbjelke og skive (54). Skallene utelukkes fra i modeller i Focus, da et inkludert skall tar opp en større andel av virkende krefter. Veggene er imidlertid ikke bærende, og det betraktes derfor som feil å inkludere skall i modellene. Øvrig konstruksjon er ellers tilstrekkelig avstivet, og husets vegger vil i all hovedsak virke avstivende på konstruksjonen.

### **4.4 Dimensjonering**

Konservative tabeller fra Byggforskserien legges til grunn for de bærende elementenes dimensjoner. For å sikre at bærekonstruksjonen oppfyller krav og forutsetninger, og heller ikke

overdimensjoneres, gjennomføres det manuelle beregninger i dataverktøyet Mathcad, i henhold til relevante standarder. Dimensjonering av søyler, bjelker og fundamenter inngår for begge alternativer. For hver kontroll som har blitt gjort, er det tatt utgangspunkt i det mest utsatte segmentet, da dette vil være dimensjonerende. Av opptredende laster på konstruksjonen, vil verdier for egenlasten og plassering av vindlast variere for de to alternativene. Videre i beregningene er det tatt utgangspunkt i en nøyaktighet på to desimaler. Dimensjonering av forankring og oppleggsflater gjennomføres kun for endelig alternativ.

Dimensjonering av konstruksjonen vil påvirkes av hvilken pålitelighetsklasse og klimaklasse studentmøtepunktet befinner seg i. Ut fra tabell B.1 (19) er det satt i pålitelighetsklasse 2, der konsekvensen er middels stor. Dette er basert på at mennesker skal oppholde seg i bygget. Klimaklasse finnes ved tabell NA.901 [NS-EN 1995] (22), der studentmøtepunktet plasseres i klimaklasse 3, på bakgrunn av at det er en utendørs konstruksjon som ikke er beskyttet mot regn og vann. Det forutsettes dimensjonerende brukstid til 50 år, da byggverket plasseres i brukstidskategori 4 fra tabell 2.1 (19). Ut fra metoder gitt i EC5 (22) er det utført beregninger for bruks- og bruddgrense.

#### **4.4.1 Kontroll av statisk system**

For å kunne ta utgangspunkt i verdier fra Focus, er det gjort kontrollberegninger av det statiske systemet i Mathcad. Det samme gjelder sammenligninger mellom statisk system i 2D og 3D. Det gjøres kontroll for oppleggskrefter hentet ut fra modell i 2D og sammenlignes med beregninger basert på tabell 3.5 i stålprofilene (55). Verdiene sammenlignes og får ut en feilmargin. Deretter gjøres det kontroll for å sammenligne statisk system i 2D mot statisk system i 3D. Dette gjøres ved å finne oppleggskreftene som virker på begge systemene og sammenligner for å få ut en feilmargin.

#### **4.4.2 Søyler**

*Beregninger for søyler er gitt i vedlegg D og E, for henholdsvis alternativ 1 og 2.*

EC5 (22) er lagt til grunn for beregninger av søyler, og alle ligningsnummer er hentet fra denne standarden dersom ikke annet er oppgitt.

For å få tilstrekkelig høyde under tak velges søylenes lengde til 2,7 m. Virkende laster betraktes i henhold til verste lastkombinasjon fra Focus. For å unngå torsjon og eksentrisitet i søylen settes søylebredde lik bjelkens bredde. Søylerne er delt opp i grupper ut fra virkende laster.



Fastheter og stivheter er gitt fra EN 14080 (56). Søyledimensjon kontrolleres for aksialkapasitet. Det tas utgangspunkt i tabell 21b (57) for å få en indikasjon på passende søyletverrsnitt. Dette justeres for klimaklasse 3 og sjekkes mot aksialkraft som virker ned på søylen.

Søylen kontrolleres for stabilitet når den er utsatt for trykk, eller en kombinasjon av trykk og bøyning. De relative slankhetstallene settes lik:

$$\lambda_{rel.y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel.z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} \quad (6.22)$$

Dersom (6.21) og (6.22) er større enn 0,3 må (6.23) og (6.24) oppfylles:

$$\frac{\sigma_{cod}}{k_{cy} * f_{cod}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m * \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{cod}}{k_{cy} * f_{cod}} + k_m * \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

For en limtresøyle med konstant tverrsnitt, der det bare virker strekkraft, må det sjekkes for strekk i fiberretningen:

$$\sigma_{t0d} \leq f_{t0d} \quad (6.1)$$

For en limtresøyle med konstant tverrsnitt, der det bare virker trykkraft, må det sjekkes for trykk i fiberretningen:

$$\sigma_{c0d} \leq f_{c0d} \quad (6.2)$$

Der det virker en aksial trykkraft i kombinasjon med spenninger som virker på hovedaksene, må følgende uttrykk oppfylles:

$$\left( \frac{\sigma_{cod}}{k_{cy} * f_{cod}} \right)^2 + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m * \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{cod}}{k_{cy} * f_{cod}} \right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.20)$$

#### 4.4.3 Bjelker

Beregninger for bjelker er gitt i vedlegg D og E, for henholdsvis alternativ 1 og 2.

EC5 (22) er lagt til grunn for beregninger av bjelker, og alle ligningsnummer er hentet fra denne standarden dersom ikke annet oppgis.

Aktuell bjelkedimensjon basert på spennvidde og virkende laster finnes ved tabell 21d (58) og justeres for klimaklasse og pålitelighetsklasse. Karakteristiske og dimensjonerende laster brukes som beregnet i vedlegg C. Fastheter og stivheter er hentet fra tabell 4 (56), og justeres for lastfaktor og partialfaktor for å finne dimensjonerende verdier. Moment- og skjærkraftdiagram hentes fra Focus.

Endringsblad A1 (59) tilhørende EC5 (22) er gjeldende for Norge, og henviser til Treteknisk rapport nr. 86 (60) for ny beregning av trykk vinkelrett på fiberretningen. Her settes ny verdi av  $f_{c90d}$ , som benyttes videre for å oppfylle krav for trykk vinkelrett på fiberretningen.

Følgende uttrykk skal være oppfylt:

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} * f_{c90d} \quad (6.3)$$

Det må kontrolleres mot bøyning som følge av eventuelle bøyepenninger på bjelken:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

Det må kontrolleres for skjærspenninger. Spenningskomponenten kan virke i fiberretningen eller med begge komponenter vinkelrett på fiberretningen. Følgende betingelse skal være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{vyd}, \text{ der } \tau_d = \frac{3 * V_{Ed}}{2 * k_{cr} * b * h} \quad (6.13)(6.60)$$

Det må kontrolleres mot nedbøyning, og dette gjøres med laster i bruksgrensetilstand. Ettersom det er en kontinuerlig bjelke over flere spenn, der alle spenn er mindre enn 10 meter, produseres ikke bjelken med overhøyde (35). En kombinasjon av de tre lastsituasjonene som er beskrevet i tabell 5 (35) benyttes, og fastsetter videre nedbøyningskrav. Dette gir høye verdier av den totale deformasjonen, som skyldes at en ikke ønsker permanente skader som følge av nedbøyning på konstruksjonen. Det gjøres to kontroller, én der snølast er dominerende variabel last, og én for nyttelast som dominerende variabel last.

Når nedbøyning for limtre skal beregnes, er det også viktig å ta med skjærdeformasjoner. Dette skyldes at skjærmodulen er en del lavere enn elastisitetmodulen, og det kan derfor oppstå store skjærdeformasjoner i trevirket.

Netto nedbøyning under en rett linje mellom oppleggene er gitt ved ligning:

$$W_{net.fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c \quad (7.8)$$

Finner nedbøyning fra bøyespenninger fra Stålprofiler (55):

$$W_{inst} = \frac{5}{384} * \frac{qL^4}{EI}$$

Benytter følgende ligning for å finne nedbøyning fra skjærspenning:

$$W_{inst.V} = W_{inst} * q_{fi}$$

For rektangulær bjelke er  $q_{fi}$  utledet fra formel fra forholdet mellom deformasjon, som følge av bøyespenning og skjærspenning, og hentes fra Limtreboka (35):

$$q_{fi} = 0,96 * \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} * \left(\frac{h}{L}\right)^2 \quad (6-18)$$

Ligninger for kombinasjonen av  $W_{inst}$  og  $W_{creep}$  hentes også fra Limtreboka (35):

$$W_{finG} = W_{instG} + W_{creepG} = W_{instG} * (1 + k_{def})$$

$$W_{finQi} = W_{instQi} + W_{creepQi} = W_{instQi} * (1 + \psi_i * k_{def})$$

Dette samles i en ligning som gir total nedbøyning av bjelken. For å sjekke om nedbøyning er oppfylt må det sammenlignes med krav fra tabell 7.2 basert på et deformasjonsnivå, ansett som akseptabelt og passende for den gitte konstruksjonen.

Takbjelkene avstives delvis i overkant ved hjelp av dekket, og av tverrbjelker i underkant. Langsgående fundamentbjelker er sideveis avstivet av bjelkelag i gjenbrukshuset.

Torsjonsstabilitet sideveis vurderes når det virker et moment på bjelken over spennet mellom søylene. Finner relativt slankhetstall for bøyning:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}}, \text{ der } \sigma_{m,crit} = \frac{0,78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0,05} \quad (6.30)(6.32)$$

Dersom dette er mindre enn 0,75 er bjelken stabil og avstivet mot vipping.

Der det kun opptrer et moment om sterk akse, må spenningen oppfylle følgende betingelse for å være torsjonsavstivet:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \quad (6.33)$$

#### 4.4.4 Dekker

##### Takkonstruksjon alternativ 1

Under befaring ble det observert 19 betongelementer med 600 mm bredde i Nardovegen 12. Det antas for denne oppgaven at det er snakk om HD265 elementer, grunnet mangel på ytterligere informasjon. Det antas også at de vil holde ettersom de har stått innendørs over et spenn på rundt 4,75 meter. Eventuell ombruk av betongelementene krever prøvetaking og styrketest (61). Til innfesting av dekket benyttes vinkelstål som legges på og festes i takbjelkene. For å sikre tilstrekkelig avrenning benyttes EPS fallisolasjon med et fall på 1:40, som kles med asfalttakbelegg. Tilfarere legges med et motgående fall på 1:40 for å rette ut terrassedekket og gi krysslufting, med senteravstand c/c 600 for å gi tilstrekkelig understøttelse til terrassebord. Terrassebordene dimensjoneres etter tabell 51 (62).

### **Takkonstruksjon alternativ 2**

Bjelkelaget i takkonstruksjonen legges på takbjelkenes overside. Bjelkelaget utsettes for nyttelast og snølast, og er dimensjonert i henhold til tabell 41 (62) for en lysåpning på 4 meter. Velger bjelkelag av konstruksjonsvirke C24, bjelkeavstand c/c 400. Finner tilstrekkelig dimensjon, slik at bjelkelag kan skrås med et fall på 1:40 fra midten og ut på hver side, for å sikre god avrenning. Kantbjelker avstiver bjelkelaget og forhindrer vipping. Bjelkelaget forankres i takbjelkene ved tilstrekkelig skruing fra oversiden og ned i takbjelkene. Bjelkelaget kles med OSB-plater eller lignende i overkant, som gir understøtte til asfalttakbelegg. Tilfarerne legges med et motgående fall på 1:40 for å rette ut terrassedekket og gi krysslufting, som legges med senteravstand c/c 600. Overliggende terrassebord dimensjoneres etter tabell 51 (62).

### **Dekke i gjenbrukshuset**

Bjelkelaget i gjenbrukshuset utsettes kun for nyttelast. Bjelkelaget er dimensjonert i henhold til tabell 22b (63), for en lysåpning på 4 meter. Velger limtrebjelker i GL32c, bjelkeavstand c/c 600, og finner nødvendig dimensjon. Bjelkelaget festes med passende bjelkesko på innsiden av gjenbrukshusets fundamentbjelker. Bjelkeskoene og tilhørende skruer blir ikke videre dimensjonert og kontrollert, men antas å holde basert på rommets bruk og størrelse. Terrassebordene dimensjoneres etter tabell 51 (62).

### **Terrassedekke på grunn**

Terrassedekket utsettes for nyttelast og snølast. Terrassebjelkene er dimensjonert i henhold til tabell 41 (62) for en lysåpning på 1,8 meter, og fundamenteres på langsgående tilfarere. Velger konstruksjonsvirke C24, bjelkeavstand c/c 600, og finner nødvendig dimensjon. Tilfarere legges på terreng, over fiberduk på drenerende masser av 50 mm finpukk, over 150 mm grovpukk. Tilfarernes dimensjon er satt slik at høydeforskjellen mellom terrassen på grunn og dekket i gjenbrukshuset reduseres. Terrassebord dimensjoneres etter tabell 51 (62). God lufting og

opptørking ved tilstrekkelig klaring fra bakkenivå og åpning mellom terrassebordene er nødvendig. Det velges terrassebord av malmfuru.

#### 4.4.5 Gjenbrukshuset

Fire av konstruksjonens søyler utgjør bæringen i gjenbrukshuset. Husets vegger bæres av fundamentbjelkene. De fire søylene føres ned på fundamentbjelkene, som videre fundamenteres i fire underliggende søylefundament. Stenderverket i gjenbrukshusets vegger tar dermed ikke opp laster fra bærekonstruksjonen.

I det statiske systemet betraktes veggene i gjenbrukshuset som skiver. Skivene skjærer hverandre i mer enn ett punkt, og gir en stabil avstivning av bygget. Veggene i gjenbrukshuset tar opp horisontale krefter, og fastholder mot translasjon. Lastene som virker på konstruksjonen, vil også forsøke å vri konstruksjonen, og denne rotasjonen må også tas opp av skivene.

#### 4.4.6 Amfitrapp

*Beregninger for amfitrapp er gitt i vedlegg D, og er gjeldende for begge alternativene.*

##### Sperrer i amfitrapp

Sperrene utsettes for nyttelast og snølast. De er dimensjonert i henhold til tabell 21h (64) for en spennvidde på 3,96 meter og en helning på 36,1 grader. Tabell 21h inkluderer kun snølast. Etersom snø- og nyttelast har lik partialfaktor, summeres lastene for å finne nødvendig dimensjon. Velger GL32c, sperreavstand c/c 600. Sperrene festes i toppen av stenderverket over fundamentbjelke 2, og hviler på fundamentbjelke 3. Konstruksjonsvirke C24 i to ulike dimensjoner benyttes til oppbygging av trinnene og utgjør trappens stenderverk. Trappekonstruksjonen kles, som de øvrige dekkene, med terrassebord dimensjonert etter tabell 51 (62). Trappen avstives i underkant for å stabilisere trappekonstruksjonen ytterligere.

Bærende bjelker under trapp er dimensjonert etter metode for taksperrer i Trehusboka (65), kombinert med bjelkeberegninger, viser til kapittel 3.4.3.

Bjelkedimensjon beregnes ut fra nødvendig motstandsmoment, og motstandsmoment for valgt sperredimensjon fra tabell 21h (64) er gitt ved følgende ligninger:

$$W_{n\ddot{o}dv} = \frac{M_{yed}}{f_{myd}} * k_h$$

$$W = \frac{b * h^2}{6}$$

Metode for å kontrollere torsjonsstabilitet, samsvarer med metode gitt for bjelker i kapittel 3.4.3.

Ved kontroll av sperrenes oppleggsareal, benyttes dimensjonerende vertikallast. Sperrens oppleggslengde er gitt ved:

$$b_{min} = \frac{F_y}{f_{c90d} * b}$$

Kontroll for nedbøyning utføres som for bjelker i kapittel 3.4.3.

### **Stendere under trapp**

Stendere som overfører last fra amfitrapp til fundamentbjelke dimensjoneres etter største oppleggskraft per stender. Alle laster som virker på stendere er lagt inn i Focus som linjelaster, der hver stender er representert i form av en punktrandbetingelse.

Fastheter og stivheter hentes fra tabell 1 (32). Etersom taksperrer er festet til stendere i siden, vil ikke stenderen være sentrisk belastet. Det tas hensyn til eksentrisk last, for å finne trykkspenningen som vil virke på stenderen. Videre beregning av stender følger søyleberegning for stabilitet av søyle og trykk i fiberretningen, se kapittel 3.4.2.

### **4.4.7 Fundament**

*Beregninger for fundament er gitt i vedlegg D og E, for henholdsvis alternativ 1 og 2.*

EC2 (21) er lagt til grunn for beregninger av fundament. Betongkonstruksjoner (66) er supplerende.

Kreftene som søylefundamentene utsettes for er variabel, slik at enkelte fundamenter utsettes for betydelig større krefter enn resten. For å redusere betongmengden, deles fundamentene i to grupper, der største lastpåvirkning blir dimensjonerende for hele gruppen. Dette er gjort for begge alternativer, for å kartlegge hvilket som vil være mest gunstig med tanke på reduksjon av materialer.

Grunnens bæreevne antas på bakgrunn av tilgjengelig informasjon, og består av fyllmasser, men kvaliteten og mengden av disse er ukjent. Dette er vist på figur 13, som er hentet fra NGU (49). Dybde til fjell er større enn fem meter, og grunnvannstanden er lavere enn én meter under fundamentnivå. Området ligger i nærheten av kvikkleiresonen Nardo Nordre i risikoklasse 3 (49). På bakgrunn av dette antas det at grunnens bæreevne ikke er optimal. Søylefundamentenes såle legges i utgangspunktet 300 mm under terreng, der ytterligere forankring ikke er nødvendig. Sålen støpes mot 60 mm EPS over et 100 mm avrettingslag. For småhus med én og to etasjer, kan man regne med at byggegrunnen kan ta opp spenninger i henhold til tabell 32 (67), uten at

det oppstår skadelige deformasjoner (68). I henhold til tabell 32 (67), antas det et tillatt dimensjonerende grunntrykk i bruddgrense på  $\sigma_{gd}=180 \text{ kN/m}^2$ .



Figur 13 Fyllmasser i grunn

Betongkvalitet B25 benyttes for alle søylefundamenter, og er satt i henhold til tabell E.1N (21). Armering valgt i henhold til NA.9.8.2.1(1) (21). Dimensjonerende brukstid for søylefundamenter settes til 100 år, på bakgrunn av armert betong sitt store klimagassutslipp ved produksjon. Ved dimensjonering av søylefundamentene i den enkelte gruppen, legges dimensjonerende aksialkraft og moment til grunn for beregningene. Dette baseres på mest ugunstige lasttilfelle for 2D-modellene i Focus Konstruksjon. Fundamentflatens dimensjon er satt slik at dimensjonerende grunntrykk i bruddgrense ikke overskrides ved gruppens mest ugunstige lasttilfelle.

Kvadratisk søyletverrsnitt med dimensjon 200 mm x 200 mm er valgt for alle fundamenter. Søylehøyden varierer med tykkelsen av fundamentet, men alle søylefundamenter føres 150 mm over terreng for å sikre tilstrekkelig avstand til bærende trekonstruksjon i henhold til figur 16-10 i Limtreboka (35). Tykkelsen av fundamentet er satt slik at den, sammen med valgt armeringsmengde, oppfyller alle krav og kapasitetskontroller for dimensjonering av søylefundamentene i den gjeldende gruppen. Kapasitetskontroller for moment, skjær og gjennomlokking utføres for alle fundamentgrupper i henhold til EC2 (21), og nødvendige armeringsmengder angis.

Oppbøyd armering legges gjennomgående i sålens underkant. Der fundamentet tidvis utsettes for løftekrefter fra vindlast, legges det også armering i sålens overkant. Ettersom løftekreftene er mindre enn nedovervirkende krefter, velges det for enkelthets skyld å armere alle søylefundamenter som utsettes for løftekrefter likt i underkant og overkant. Søylearmering føres ned til sålens underkantarmering. Hovedarmeringen må forankres i overensstemmelse med kravene i 8.4 og 8.5 i henhold til 9.8.2.1 (1) (21). Beregning av forankringslengder betraktes som overflødig i denne oppgaven.

#### 4.4.8 Forbindelser

*Beregninger for forbindelser er gitt i vedlegg E. Det er tatt utgangspunkt i forbindelser fra katalog tilhørende Rothoblaas (69).*

EC5 (22) er lagt til grunn for beregninger av forbindelser, og alle ligningsnummer er hentet fra denne standarden dersom ikke annet oppgis.

Det er tatt utgangspunkt i to ulike forbindelser, da det fremkommer fra Focus at konstruksjonen utsettes for en netto dimensjonerende løftekraft i valgte opplager. Det undersøkes derfor bolteforbindelse mellom søyle og søylesko, og skruetforbindelse mellom takbjelke og søyle.

#### Bolteforbindelse

Søyle føres ned på søylefundament, og forbindes i søylesko ved hjelp av bolter. Ser på dimensjonerende tilfelle med maks oppleggskraft. Det forutsettes forboring for bolter med diameter større eller lik 6 mm.

I følge 8.5.1.3 gjelder reglene i 8.2.3. Den karakteristiske kapasiteten til forbindelsen mellom stål og tre avhenger av tykkelsen på stålplaten. Dersom tykkelsen er mindre enn  $0,5 \cdot d$  betegnes det som en tynn plate, mens en tykk plate er større eller lik  $d$ . For å regne ut boltene kapasitet må karakteristisk flytemoment beregnes:

$$M_{y.Rk} = 0.3 * f_{uk} * d^{2.6} \quad (8.30)$$

For å finne plassering av bolter, benyttes tabell 8.4 for å finne minste tillatte avstander. Karakteristiske verdier for hullkantfasthet finnes ved:

$$f_{h0k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k \quad (8.32)$$

For å finne karakteristisk kapasitet for boltene ses det på minste verdi for hver forbinder per snitt. Finner kapasiteten for tynne stålplater som de ytre komponentene i en dobbeltsnittet forbindelse, med bruddform (j) og (k). Tau effekt antas ifølge 8.2.2(2) å være 25 prosent for bolter:



$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h2k} * d} + \left( \frac{F_{v,Rk}}{4} \right) \right. \quad (8.12)$$

For å finne dimensjonerende kapasitet må det justeres for lastfaktor og materialfaktor:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

### Skrueforbindelse

I henhold til 8.7.1(4) gjelder reglene for 8.5.1 for skruer med glatt skaft med en diameter større eller lik 6 mm. Det forutsettes forboring med skruer med diameter større eller lik 6 mm. Videre gjelder reglene i 8.2.3 for forbindelser stål mot tre, i henhold til 8.5.1.3(1). Den karakteristiske kapasiteten til forbindelsen mellom stål og tre avhenger av tykkelsen på stålplaten. I henhold til 8.2.3 betegnes det som en tynn stålplate dersom tykkelsen er mindre enn  $0,5*d$ , mens en tykk plate er større eller lik  $d$ . Det gjøres en forenklet kontroll av stålplaten utsatt for skjær basert på EC3 (70), ligning 6.17 og 6.18.

Forbinderens karakteristiske flytemoment beregnes med følgende ligning:

$$M_{y,Rk} = 0.3 * f_{uk} * d^{2.6} \quad (8.30)$$

For å finne plassering av skruer, benyttes tabell 8.4 for å finne minste tillatte avstander.

Karakteristiske verdier for hullkantfasthet avhengig av vinkelen finnes ved:

$$f_{h0k} = 0.082 * (1 - 0.01 * d) * \rho_k \quad (8.32)$$

$$f_{hak} = \frac{f_{h0k}}{k_{90} * (\sin(\alpha))^2 + (\cos(\alpha))^2} \quad (8.31)$$

Forbinderens uttrekkskapasitet fastslås ved følgende ligninger:

$$f_{ax,k} = 0.52 * d^{-0.5} * l_{ef}^{-0.1} * \rho_k^{0.8} \quad (8.39)$$

$$f_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} * f_{ax,k} * d * l_{ef} * k_d}{1.2 * \cos \alpha + \sin \alpha} \quad (8.38)$$

For skruer er den karakteristiske kapasiteten lik den minste verdien for hver forbinder per snitt.

Finner kapasiteten til en enkeltsnittet tykk stålplate, med bruddform (c), (d) og (e). Taueffekt antas ifølge 8.2.2(2) å være 100 prosent for skruer:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} * t_1 * d \\ f_{h,k} * t_1 * d * \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,k} * d * t_1^2}} - 1 \right) + \min (F_{v,Rk}, F_{ax,Rk}) \\ 2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \min (F_{v,Rk}, F_{ax,Rk}) \end{array} \right. \quad (8.10)$$

For å finne dimensjonerende kapasitet må det justeres for lastfaktor og materialfaktor:

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} * \frac{k_{mod}}{\gamma_m}$$

Det må tas hensyn til at det kan oppstå tverrstrekkbrudd som følge av en strekkraftkomponent som virker vinkelrett på fiberretningen i bjelken.

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.2)$$

$$F_{90,Rk} = 14 * b * w * \sqrt{\frac{h_e}{(1-\frac{h_e}{h})}} \quad (8.4)$$

$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (8.3)$$

#### 4.4.9 Oppleggsflater

*Beregninger for oppleggsflater er gitt i vedlegg E.*

Søyler og søylefundamenter medfører en punktlast på tilgrensende bærekonstruksjon, og krever et visst oppleggsareal for å forhindre betydelig deformasjon. Det må kontrolleres at oppleggskrefter som virker på bjelkene, ikke skaper deformasjon på tvers av fiberretningen. Dersom nødvendig oppleggsareal er større enn søylens tverrsnitt, legges stålplater med tykkelse 6 mm inn i overgangen mot tilgrensende bjelker. Oppleggsarealet avhenger av kraften i punktet. Kontroll av oppleggsflater gjøres etter figur 252, samt pkt 254 for korreksjonsfaktor,  $F_{kk3}$  (57). Dette sammenlignes med bjelkeberegninger for trykk vinkelrett på fiberretningen, se vedlegg E. Største verdi benyttes.

### 4.5 Endelig løsning

#### 4.5.1 Overslagsberegninger for klimagassregnskap

Som en indikator på hvilken løsning som er mest miljøbesparende, er det gjort overslagsberegninger i form av et forenklet klimagassregnskap. Overslaget er gjort ved å multiplisere opptredende materialmengder og tettheter gitt i vedlegg C, med verdier for klimagassutslipp for hver av materialene. Minimums- og maksimumsverdier tar utgangspunkt i Grønn Materialguide (6) sin indikator for klimagassutslipp, gitt som CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kvadratmeter for gjeldende produktgruppe. I disse sammenligningene er det tatt utgangspunkt i en levetid på 60 år. Sammenligningene tar hensyn til et produkts levetid ved å multiplisere eksempelvis klimagassutslippet for et produkt med forventet levetid på 20 år med 3.

Indikatorverdiene baserer seg på generiske europeiske databaser, samt beregninger for enkle søyle- og dragersystemer med lik bæreevne. I de fleste tilfeller inkluderer EPDene utvinning og produksjon av materialene, men ser bort fra transport til byggeplass og installasjon. I henhold til NS 3720 (71) vil det implisere A1-A3, samt B4. Grønn Byggallianse spesifiserer imidlertid at EPDene kan inneholde ulike deler av livsløpet i sin deklarasjon, og at det vil være stor variasjon mellom komplette bæresystemer, grunnet ulike spennvidder og avstivningsløsninger (6).

## **4.6 FutureBuilt**

Som et forbildeprosjekt, er FutureBuildts kriterier for sirkulære bygg gjeldende for prosjektet på Nardo i sin helhet. Dette kapittelet svarer ut for metodisk tilnærming til kriteriene ved prosjektering av studentmøtepunktet, i tilknytning til de fremtidige bærekraftige studentboligene. Kapittelets referanser er i henhold til FutureBuildts kriterier (40), med mindre annet er gitt. Prosjektering av studentmøtepunktet svarer ut for punkt 2.2-2.5, for byggefase og nybygg. Punkt 2.1, samt underpunkter for rivefase er kun relevant for utbyggingen i Nardovegen 12 og 14.

### **4.6.1 Ressursutnyttelse i byggefase**

I henhold til punkt 2.2 gjøres det rede for hvordan ressursutnyttelse i byggefase er planlagt og gjennomført. Dokumentasjon skal følge Wst 01, punkt 7 (2) og innfris i Rambølls Ombruksstudie (61) og Miljøsaneringsbeskrivelse (30) av eksisterende bygg på Nardo. Dokumentasjonen er benyttet for å vurdere potensielle materialressurser ved prosjektering av studentmøtepunktet, og har vært supplerende til befaringen som ble gjennomført ved oppgavens oppstartsfasen.

### **4.6.2 Ombruk og ombrukbarhet av bygningsdeler**

I henhold til punkt 2.3 og 2.4 skal minst 50 prosent av prosjektets komponenter være ombrukte eller ombrukbare. Herunder skal minst 20 prosent av komponentene i nybygg være ombrukte, og minst 20 prosent av komponentene i nybygg være ombrukbare. Dette skal gjennomføres for minimum ti komponenttyper fra hver av punktene, definert som ulike bygningsdeler i henhold til bygningsdelstabellen NS 3451 (72), 2-sifret nivå. Dette tolkes som det totale antall komponenter for den fullstendige utbyggingen av studentboligene i Nardovegen, og utdypes derfor ikke i denne oppgaven.

Tilnærming og fordeling på ulike tiltak for å oppfylle krav om ombruk, bestemmes for det enkelte prosjekt. For prosjektet på Nardo er bestemte tiltak ukjent for gruppen. Oppgaven gjør derfor kun rede for hvilke kriterier som oppfylles for studentmøtepunktet, og dermed i hvilken grad det bidrar til fordelingshelhet. Valgene som er tatt underveis etterstreber imidlertid en størst mulig

prosentandel ombrukte og ombrukbare komponenter, i lys av ønsket resultat og redusert ressursbruk.

Vurdering av ombruk og ombrukbarhet av bygningsdeler gjøres ved å gruppere komponenter etter bruksområde og materialtype. I tråd med punkt 2.3 fremstilles ombrukt mengde og type, som vekt og prosentandel. Det ses derfor på resultantvekt for gruppen og prosentandelen som komponentgruppen utgjør. Tallfestingen baseres på spesifikk vekt av komponenter i henhold til punkt 2.3, og tar utgangspunkt i tabell for egenlast og materialmengder for alternativ 2, se vedlegg C. Videre betraktes prosentandelen som de ulike grupperingene utgjør, sett ut fra komponentenes ombrukbarhet. Konstruksjonen betraktes først ekskludert grunn og fundament, som gitt i 2.3 og 2.4. Det ses også på verdier og prosentandeler for total konstruksjon, der fundamentet også er inkludert.

I henhold til punkt 2.4 skal de komponentene som regnes som ombrukbare blant annet være av robuste og homogene materialer. Et homogent materiale tolkes som et materiale som i all hovedsak består av én materialtype. Eksempelvis tolkes kombinert limtre, som et treprodukt hvor limet utgjør mindre enn én vektprosent per volumenhet limtre (35), som et homogent materiale.

#### **4.6.3 Endringsdyktighet**

Prosjektering for endringsdyktighet er gjort på en slik måte at bygget kan endre funksjon og bruk. Prosjektering er utført med formål om lang levetid for konstruksjonens komponenter, og vektlegger prinsipper som bidrar til generalitet, fleksibilitet og elastisitet.

### **4.7 BIM-modell**

Fullstendig BIM-modell med tilhørende arbeids- og detaljtegninger er kun utarbeidet for endelig løsning. Tegninger som tar for seg konstruksjonsmessige løsninger er blitt vektlagt. BIM-modellen skal bidra til å se løsninger for bæresystemet alene og den totale konstruksjonen som helhet. Dette utføres ved tegninger av aktuelle snitt, kritiske detaljer og aksonometriske fremstillinger.

#### **4.7.1 Aksonometrisk fremstilling**

Det utarbeides aksonometriske tegninger som visualiserer bærekonstruksjonen i seg selv og bygget som helhet, samt tegninger med videreutviklet konsept.

#### **4.7.2 Arbeidstegninger**

Det utarbeides arbeidstegninger av samtlige deler av konstruksjonen. Terrasse og gjenbrukshuset har individuelle tegninger der det er vurdert som nødvendig. Det utformes også egne tegninger

for trappekonstruksjonen. Farger benyttes for visualisering av komponenter på aktuelle tegninger. Målsatte plantegninger, snitt, arealplaner og bjelkelagsplaner utarbeides også. Det er ikke utarbeidet situasjonskart for prosjektet, da endelig plassering av bygget ikke er satt. Dette skyldes at utformingen av bebyggelsen rundt ikke er kjent, grunnet det overordnede prosjektets tidlige fase.

#### **4.7.3 Detaljtegninger**

Det produseres detaljtegninger for overganger, utvalgte innfestninger og vindusinnfestning.

## **5 Resultat**

Dette kapitlet inkluderer resultater for utforming, materialmengder og dimensjoner for studentmøtepunktet.

## 5.1 Utforming av studentmøtepunkt

Endelig skisse for studentmøtepunktet er vist i figurer under.



Figur 14 Aksonometrisk fremstilling



Figur 15 Aksonometrisk fremstilling

Tabell 1 gir en oversikt over soner, arealer og antall studenter det vil være plass til i studentmøtepunktet. Tallene tar utgangspunkt i én student per kvadratmeter.

Tabell 1 Antall studenter per sone

Soner	Kvadratmeter [m <sup>2</sup> ]	Studenter [stk.]
Terrasse	90,1	90
Amfitrapp	25,1	22
Gjenbrukshus	11,9	12
Takterrasse	39,4	39
<b>SUM</b>	<b>166,5</b>	<b>163</b>

## 5.2 Dimensjonering

### 5.2.1 Bærekonstruksjonens dimensjoner

#### ALTERNATIV 1

Tabell 2 gjengir nødvendige dimensjoner av konstruksjonens bærende elementer for alternativ 1.

Tabell 2 Elementer for alternativ 1

Element	Materiale	Dimensjon [mm]	Lengde [mm]	Antall [stk]
<b>Takbjelke</b>	Limtre GL32c	140x360	10200	1
		140x360	13000	1
<b>Fundamentbjelke</b>	Limtre GL32c	140x315	10200	1
		140x315	13000	1
		140x315	5350	1
<b>Søyle gruppe 1</b>	Limtre GL32c	140x135	2700	5
<b>Søyle gruppe 2</b>	Limtre GL32c	140x270	2700	2
<b>Søyle gruppe 3</b>	Limtre GL32c	140x135	2700	2
<b>Fundament gruppe 1</b>	B25	Søyle:200x200	263	11
		Såle:1000x1000	175	
<b>Fundament gruppe 2</b>	B25	Søyle:200x200	298	3
		Såle: 1070x1070	200	
<b>Stender amfitrapp</b>	C24	98x123	2700	9
<b>Sperrer amfitrapp</b>	Limtre GL32c	48x280	3960	10



## ALTERNATIV 2

Tabell 3 gjengir nødvendige dimensjoner av konstruksjonens bærende elementer for alternativ 2.

Tabell 3 Elementer for alternativ 2

Element	Materiale	Dimensjon [mm]	Lengde [mm]	Antall [stk]
Takbjelke	Limtre GL32c	140x315	10200	1
		140x315	13000	1
Fundamentbjelke	Limtre GL32c	140x360	10200	1
		140x360	13000	1
		140x360	6200	1
Søyle gruppe 1	Limtre GL32c	140x135	2700	5
Søyle gruppe 2	Limtre GL32c	140x180	2700	2
Søyle gruppe 3	Limtre GL32c	140x135	2700	2
Søylefundament gruppe 1	B25	Søyle: 200x200	273	3
		Såle: 1265x1265	175	
Søylefundament gruppe 2	B25	Søyle: 200x200	298	7
		Såle: 965x965	150	
Søylefundament gruppe 2.2	B25	Søyle: 200x200	970	2
		Såle: 965x965	150	
Stender amfitrapp	C24	98x123	2700	10
Sperrer amfitrapp	Limtre GL32c	48x280	3960	11

### 5.2.2 Kapasitetsutnyttelse

#### ALTERNATIV 1

Tabell 4 gir kapasitetsutnyttelse for bjelkeelementer for betonghulldekke. Tall i prosent er kapasitetsutnyttelse målt opp mot krav. Beregninger som ligger til grunn er gitt i vedlegg D.

Tabell 4 Kapasitetsutnyttelse for bjelker i alternativ 1

Bjelkeelement	Dim.tabell [%]	Trykkrefter [%]	Bøyning [%]	Skjær [%]	Nedbøyning [%]	Torsjon [%]
Takbjelke	105	93	26	92	57	26

			18		57	
<b>Fundamentbjelke</b>	92	88*	16	80	46	16
		85*	11		31	

\* Overgang mellom fundamentbjelke og søyle 1d, 2d og 2e må styrkes med skruer inn i treet, etterfulgt av stålplate for å oppfylle krav om oppleggsflate. Skruer: VGZ EVO (69):  $d=7\text{mm}$ ,  $l=220\text{ mm}$  (gjeng 210 mm). 6 stk fordelt på to rader.

Tabell 5 gir kapasitetsutnyttelse for søyleelementer for betonghulldekke. Tall i prosent er kapasitetsutnyttelse målt opp mot krav. Beregninger som ligger til grunn er gitt i vedlegg D

Tabell 5 Kapasitetsutnyttelse for søyler i alternativ 1

Søyleelement	Dim.tabell [%]	Stabilitet [%]	Trykkrefter [%]	Strekkefter [%]	Bøyning i kombinasjon med trykk [%]
<b>Gruppe 1</b>	z: 44 y: 42	79 76	31	–	–
<b>Gruppe 2</b>	z: 26 y: 32	82 98	–	–	58 80
<b>Gruppe 3</b>	z: 19 y: 18	64 58	–	–	42 36

## ALTERNATIV 2

Tabell 6 gir kapasitetsutnyttelse for bjelkeelementer for betonghulldekke. Tall i prosent er kapasitetsutnyttelse målt opp mot krav. Beregninger som ligger til grunn er gitt i vedlegg E.

Tabell 6 Kapasitetsutnyttelse for bjelker i alternativ 2

	Dim.tabell [%]	Trykkrefter [%]	Bøyning [%]	Skjær [%]	Nedbøyning [%]	Torsjon [%]
<b>Takbjelke</b>	99	82	39 27	95	84 85	39
<b>Fundamentbjelke</b>	99	89* 86*	21 15	93	86 73	21

\* Overgang mellom fundamentbjelke og søyle 1c, 2c og 2d må styrkes med skruer inn i treet, etterfulgt av stålplate for å oppfylle krav om oppleggsflate. Skruer: VGZ EVO (69):  $d=7\text{mm}$ ,  $l=220\text{ mm}$  (gjeng 210 mm). 6 stk fordelt på to rader.

Tabell 7 gir kapasitetsutnyttelse for søyleelementer for betonghulldekke. Tall i prosent er kapasitetsutnyttelse målt opp mot krav. Beregninger som ligger til grunn er gitt i vedlegg E.

Tabell 7 Kapasitetsutnyttelse for søyler i alternativ 2

Søyleelement	Dim.tabell [%]	Stabilitet [%]	Trykkrefter [%]	Strekkrefter [%]	Bøyning i kombinasjon med trykk [%]
<b>Gruppe 1</b>	z: 42	75	29	8	–
	y: 40	72			
<b>Gruppe 2</b>	z: 24	78	–	–	53
	y: 30	93			
<b>Gruppe 3</b>	z: 19	65	–	–	42
	y: 18	58			

### AMFITRAPP

Søyleelement	Motstandsmoment [%]	Torsjonsstabilitet [%]	Nedbøyning [%]	Stabilitet [%]	Trykk i fiberretning [%]
<b>Bærebjelke</b>	65	65	89	–	–
			90		
<b>Stender under trapp</b>	–	–	–	68 88	26

### 5.2.3 Øvrige dimensjoner

Tabell 8 gir øvrige dimensjoner, og er gjeldende for begge løsninger, med unntak av bjelkelag i takkonstruksjon, som kun er gjeldende for alternativ 2.

Tabell 8 Øvrige dimensjoner

Element	Materiale	Dimensjon [mm]	Senteravstand [mm]	Lengde [mm]
<b>Terrassebord</b>	C24	28x95	100	

<b>Tilfarere i andre etasje</b>	C24	48x98 $t_1=48, t_2=98$	600	2000
<b>Bjelkelag i takkonstruksjon, alternativ 2</b>	C24	48x223	400	4000
<b>Bjelkelag i gjenbrukshus</b>	Limtre GL32c	36x300	600	4000
<b>Stenderverk i trapp</b>	C24	48x148x1stk/trinn 36x136x2stk/trinn	600	
<b>Terrassebjelker på bakkeplan</b>	C24	48x148	600	
<b>Tilfarere på grunn</b>	Limtre GL32c	48x98	1800	

## 5.3 Endelig løsning

### 5.3.1 Overslagsberegninger for klimagassregnskap

Overslagsberegninger for klimagassregnskap baserer seg på opptredende mengder nye materialer for de to alternativene, og inkluderer kun nye komponenter som vil variere. Tall for opptredende materialmengder er hentet fra vedlegg C.

#### ALTERNATIV 1

Tabell 9 Klimagassregnskap alternativ 1

<b>Materialtype</b>	<b>Opptredende materialmengde [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Tetthet [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Klimagassutslipp ekskludert karbonlagning [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Overslag klimagassutslipp [kg CO<sub>2</sub>-ekv/m<sup>2</sup>]</b>
<b>Stål</b>	0,05	7850	Min: 290 Maks: 450	113825-176625
<b>Limtre</b>	2,0	400	Min: 60 Maks: 160	48000-128000
<b>Betong</b>	2,9	2400*	Min: 180 Maks: 310	1252800-2157600
<b>SUM</b>				<b>1414625-2462225</b>

\*Ser bort fra opptredende armeringsmengde

## ALTERNATIV 2

Tabell 10 Klimagassregnskap alternativ 2

Materialtype	Opptredende materialmengde [m <sup>3</sup> ]	Tetthet [kg/m <sup>3</sup> ]	Klimagassutslipp ekskludert karbonlagning [kg CO <sub>2</sub> .ekv/m <sup>2</sup> ]	Overslag klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> .ekv/m <sup>2</sup> ]
Konstruksjonsvirke	1,2	420	Min: 20 Maks: 90	10080-45360
Limtre	1,5	400	Min: 60 Maks: 160	36000-96000
Betong	2,3	2400*	Min: 180 Maks: 310	993600-1711200
<b>SUM</b>				<b>1039680-1852560</b>

\*Ser bort fra opptredende armeringsmengde

Differansen mellom sum i tabell 9 og 10, for henholdsvis minimum og maksimumsverdier, er 374945 kg CO<sub>2</sub>.ekv/m<sup>2</sup> og 609665 kg CO<sub>2</sub>.ekv/m<sup>2</sup>. Opptredende armeringsmengder burde blitt inkludert, da armeringen utgjør store deler av betongens klimautslipp. Det er likevel valgt å se bort fra dette, da opptredende armeringsmengder ikke angis i konkrete mengder, og kun vil gjøre differansen større. Trolig vil tall fra tabell 9 og tabell 10 i hovedsak helle mot minimumsverdiene, da miljøbesparende valg vektlegges hele veien. Det kan imidlertid være mulig at lavkarbonbetong ikke kan benyttes, grunnet regional tilgjengelighet (73). Verdien for betongen vil i så tilfelle ikke ligge i nederste sjikt. På bakgrunn av overslagsberegningene for klimagassregnskapet velges alternativ 2 som endelig løsning for bæresystemet.

### 5.3.2 Forbindelser

For endelig løsning er det dimensjonert forbindelser for bolter gjennom søylesko, og skruer som skal fastholde takbjelke til søyle.

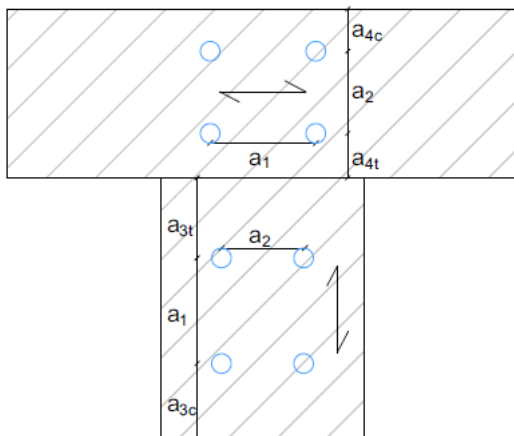
Tabell 11 Forbindelser alternativ 2

Forbindelse	Dimensjon	Antall per forbindelse [stk.]	Kapasitet i søyle [%]	Kapasitet i bjelke [%]	Kapasitet tverrstrekk [%]
Bolter	M12	4	59	–	–
Søylesko	T=5 mm	1	–	–	–

<b>Skruer</b>	100 mm x 8 mm	8	83,7	74,4	91,0
<b>Stålplate</b>	T=6 mm	1	–	–	–

Tabell 12 Minsteavstander for forbindelser

	<b>a<sub>1</sub></b>	<b>a<sub>2</sub></b>	<b>a<sub>3t</sub></b>	<b>a<sub>3c</sub></b>	<b>a<sub>4t</sub></b>	<b>a<sub>4c</sub></b>
<b>Bolt</b>	60 mm	48 mm	84 mm	48 mm	36 mm	36 mm
<b>Skrue</b>	50 mm	40 mm	80 mm	40 mm	30 mm	30 mm



Figur 16 Minsteavstander for forbindelser

I bolteforbindelsen fra søylefundament til søyle skal en søylesko festes med fire bolter i søylesko. I skrueforbindelsen fra takbjelke til søyle, skal det benyttes en 6 mm tykk stålplate som festes med totalt åtte skruer. Disse skruene er fordelt likt mellom søylen og bjelken. På grunn av lastens virkning på fiberretningen er kapasiteten for skruene i bjelken og søylen ulik.

## Oppleggsflate

Tabell 13 Oppleggsflate for alternativ 2

<b>Forbindelse</b>	<b>Nødvendig oppleggsflate basert på trykkrefter [mm]</b>	<b>Nødvendig oppleggsflate [mm]</b>	<b>Valgt oppleggsflate</b>
1a søyle mot bjelker	140x195	140x135	140x195
1b søyle mot bjelker	140x195	140x195	140x195
1c søyle mot bjelker	140x195	140x195	140x195
1c bjelke mot fundament	140x195	140x290	140x290

	Skruer M7 220 mm		Skruer M7 220 mm
1d søyle mot bjelker	140x195	140x135	140x195
1d bjelke mot fundament	140x195	140x200	140x195
2a søyle mot bjelker	140x195	140x135	140x195
2b søyle mot bjelker	140x195	140x195	140x195
2c søyle mot bjelker	140x195	140x195	140x195
2c bjelke mot fundament	140x195 Skruer M7 220 mm	140x290	140x290 Skruer M7 220 mm
2d søyle mot bjelker	140x195	140x135	140x195
2d bjelke mot fundament	140x195 Skruer M7 220 mm	140x290	140x290 Skruer M7 220 mm
2e søyle mot bjelker	140x195	140x135	140x195
2e bjelke mot fundament	140x195	140x135	140x195

## 5.4 FutureBuilt

Kapittelet svarer ut for oppgavens endelige tilnærming til FutureBuilts kriterier for sirkulære bygg. Prosjektering av studentmøtepunktet svarer ut for punkt 2.2-2.5 for byggefase og nybygg. (40)

### 5.4.1 Ressursutnyttelse i byggefase

Konstruksjonens bærende elementer bestilles ferdig kappet og behandlet. Øvrige materialer bestilles fortløpende, i hensiktsmessige lengder og mengder, for å minimere kapp og svinn. Overdreven bruk av emballasje unngås. Overskuddsvarer, samt eventuelle feilbestilte produkter skal leveres tilbake til produsent eller tilgjengeliggjøres for interne og eksterne interessenter. Kapp, svinn og emballasje håndteres i henhold til avfallspyramidens prinsipper.

### 5.4.2 Ombruk og ombrukbarhet av bygningsdeler

Tabell 14 grupperer komponenter fra tabell for egenlaster og materialmengder for alternativ 2 gitt i vedlegg C, etter bruksområde og materialtype. Tabellen gir videre resultatvekten for gruppen og angir hvilken prosentandel komponentgruppen utgjør av den totale konstruksjonen som medregnes. I henhold til punkt 2.3 og 2.4 medregnes ikke vekt for grunn og fundament.

Tabell 14 Ombruk og ombrukbarhet, eks. grunn og fundament

Komponentgruppe	Komponentnummer	Vekt [kN]	Prosent av total [%]	Livsløp
Bærekonstruksjon, GL32c	206, 207, 209, 220	10,52	13,7	Ombrukbar
Bjelkelag takkonstruksjon, C24	205	4,87	6,3	Ombrukbar
Bjelkelag i gjenbrukshus, GL32c	214	0,88	1,1	Ombrukbar
Stenderverk gjenbrukshus	210-1, 211-1, 212-1	2,01	2,7	Ombrukt
2-lags vindu gjenbrukshus	210-2, 211-2, 212-2	1,96	2,6	Ombrukt
Kledning, korr. stål	211-3, 212-3, 215	3,69	4,8	Ombrukt og ombrukbar
Diverse ombrukt treverk	202, 210-3, 217	6,92	9,0	Ombrukt
Terrassebord, malmfuru	200, 213, 216, 225	28,38	36,9	Ombrukbar
Tilfarere mark, C24	227	13,02	17,0	–
Asfalttakbelegg	202	2,25	2,9	–
Undertak, OSB	203	2,05	2,7	Ombrukt
Opplegg og forbindelser, stål	208	0,24	0,3	Lokal gjenvinning

Tabell 15 angir total andel ombrukte og ombrukbare komponenter for konstruksjonen, ekskludert grunn og fundament.

Tabell 15 Prosentandel ombrukte og ombrukbare komponenter

	Total prosentandel av konstruksjonen [%]
<b>Ombrukte komponenter</b>	21,8
<b>Ombrukbare komponenter</b>	62,8
<b>Ingen av delene</b>	20,2

*OBS: summen utgjør ikke 100 prosent, da noen komponenter både er ombrukte og ombrukbare, og dermed vil regnes dobbelt.*



Ser fra tabell 15 at prosentandeler for ombrukte og ombrukbare komponenter innfris, sett ut fra studentmøtepunktets satte rammer. Tabell 16 ser videre på konstruksjonen inkludert fundament, men ekskludert grunn.

Tabell 16 Ombruk og ombrukbarhet, eks. grunn

Komponentgruppe	Komponentnummer	Vekt [kN]	Prosent av total [%]	Livsløp
Ombrukte komponenter over grunn og fundament	210-1, 211-1, 212-1, 210-2, 211-2, 212-2, 211-3, 212-3, 215, 202, 204	16,6	11,9	Ombrukt
Ombrukbare komponenter over grunn og fundament	206, 207, 209, 220, 205, 214, 211-3, 212-3, 215, 200, 213, 216, 225	48,3	34,8	Ombrukbar
Øvrige komponenter over grunn og fundament	227, 203, 208	15,5	11,2	–
Søylefundament	221, 222, 223	56,3	40,5	Ombrukbar komponent
			9,1	Av totalt 75% tilslag, er 30% ombrukt tilslag
EPS	224	2,3	1,6	Materialgjenvinning

Tabell 17 gir total andel ombrukte og ombrukbare komponenter for hele konstruksjonen, inkludert fundament, ekskludert grunn.

Tabell 17 Ombrukte og ombrukbare komponenter

	Total prosentandel av konstruksjonen [%]
<b>Ombrukte komponenter</b>	21,0
<b>Ombrukbare komponenter</b>	75,3
<b>Ingen av delene</b>	12,8

*OBS: summen utgjør ikke 100 prosent, da noen komponenter både er ombrukte og ombrukbare, og dermed vil regnes dobbelt*

Ser at fundamentet utgjør en avgjørende andel av konstruksjonen, og at krav for andel ombrukte og ombrukbare komponenter også innfris når fundamentkonstruksjonen medregnes.

### **Strategier for ombrukbarhet**

Konstruksjon over terreng utføres hovedsakelig i limtre og konstruksjonsvirke i standarddimensjoner, og er satt i uavhengige lag med lav kompleksitet. Det er benyttet reversible forbindelser slik at komponentene kan demonteres uten skade, og utføres hensiktsmessig så like som mulig. Ombrukbare komponenter fungerer uavhengig av tilliggende lag etter demontering.

Tilstrekkelig trebeskyttelse benyttes for å øke konstruksjonens motstandsdyktighet mot vann og fukt, råtesopp og insekter, og for å bidra til økt levetid. Konstruktiv trebeskyttelse etterstrebes. Konstruksjonen beskyttes fra dirkete vannpåkjenning ved å kle utovervendte overflater, samt gjennom konstruktiv tildekking av endaved. Alt trevirke bør impregneres med furfurylalkohol og herdes ved varmebehandling. Bærende elementer og elementer som legges direkte på grunn bør, i henhold til tabell 541 (38), trykkimpregneres etter klasse A.

### **5.4.3 Endringsdyktighet**

Studentmøtepunktet er utformet på en slik måte at de enkelte områdene kan brukes uavhengig av hverandre. Planløsning og bærekonstruksjon er fleksibel og elastisk. Konstruksjonen kan i svært stor grad tilpasses ulike underlag, og gir mulighet for utvidelse, sammenslåing eller oppsplitting av bruksareal.

## 5.5 Bygningskomponenter

Samlet overordnet resultat av bygningsdelene gis i tabell 18. Dette inkluderer de viktigste bygningskomponentene i konstruksjonen.

Tabell 18 Bygningsdeler

Bygningsdeler	Beskrivelse
Åpen fundamentering	60 mm EPS markisolasjon Søylefundamenter. Betongkvalitet, B25. Armering BN500C Ø10. Søylesko Eventuell stålplate, t = 6 mm. Fuktsperre i overgang stål/tre
Bæresystem	Takbjelker GL32c. 140mm x 360mm. Fundamentbjelker GL32c. 140mm x 315mm. Søyler GL32c. 140mm x 135mm / 140mm x 180mm.
Takkonstruksjon	Bjelkelag C24. 48mm x 223mm. Kløyves fra midt og ut slik at h=172mm. Ombrukt undertak. Antar 18 mm OSB-plate. Asfalttakbelegg, t = 4,2 mm. Tilfarere C24. 48mm x 98mm. Kløyves fra ender til midt slik at h=48mm. Terrassebord av malmfuru 28mm x 95mm, c/c 100 mm.
Vegg 1 gjenbrukshus	Passende innvendig kledning, gjerne ombruk. Stendere av ombrukt trevirke. Antar C24, 48mm x 14 mm. 2 stk. ombrukte 2-lags vindu. 720mm x 2360mm og 1600mm x 2000mm. Vindsperre, t = 12 mm.
Vegg 2 gjenbrukshus	Passende innvendig kledning, gjerne ombruk. Stendere av gjenbrukt trevirke. Antar C24, 48mm x 148mm. 1 stk. ombrukt 2-lags vindu. 1600 mm x 2000mm. Vindsperre, t = 12 mm.
Vegg 3 gjenbrukshus	Passende innvendig kledning, gjerne ombruk. Stendere av gjenbrukt trevirke. Antar C24, 48mm x 148mm. 1 stk. ombrukt 2-lags vindu. 720 mm x 2360 mm. Vindsperre, t = 12 mm.
Utvendig kledning	Utlekking horisontal av ombrukt trevirke. Antar C24, t = 36 mm. Lekting vertikalt av ombrukt trevirke. Antar C24, t = 23mm.  Ombrukt kledning. Vertikal kledning av tre: Antar C24, 22mm x 28mm. Kledning av korrugert stål, antar t = 1 mm.
Dekke i gjenbrukshus	Bjelkelag GL32c. 36mm x 300mm, c/c 600. Terrassebord malmfuru. 28mm x 95mm, c/c 100 mm.
Terrasse på grunn	Tilfarere C24. 48mm x 198mm, c/c 1800 mm. Terrassebjelker C24. 48mm x 148mm, c/c 600 mm. Terrassebord malmfuru. 28mm x 95mm, c/c 100 mm.
Amfitrapp	Sperrer GL32c 48mm x 280mm Stenderverk under sperrer. C24. 98mm x 123mm. Trappetrinn. C24. 48mm x 148mm og 36mm x 136mm Avstivning underside. C24. 28mm x 95mm.

## 5.6 BIM-modell

Fullstendig BIM-modell med tilhørende arbeids- og detaljtegninger er kun utført for endelig løsning. BIM-modellene representerer tegninger for modellen, både konstruksjon og fullstendige tegninger. Tegningene er fremstilt aksonometrisk. Det er produsert arbeidstegninger, inkludert målsatte planer, areal og snitt med tilhørende detaljer, se vedlegg F.

### 5.6.1 Aksonometrisk fremstilling

Aksonometriske tegninger inkluderer selvstendige konstruksjonstegninger, tegninger av hele konstruksjonen og arkitektoniske salgstegninger.



Figur 17 Aksonometrisk salgstegning

### 5.6.2 Arbeidstegninger

Arbeidstegninger består av selvstendige tegninger for bærekonstruksjonen, terrasse, bjelkelag og trapp. Det inkluderer egne snitt for konstruksjonen, amfitrapp og snitt for hele bygningen. Det er produsert målsatte tegninger der det tidvis er benyttet fargekoder for forklarende illustrasjoner.

### 5.6.3 Detaljtegninger

Detaljtegninger gir detaljer av samtlige fundament, overganger mellom terrasse og søyle, overgang mellom yttervegg og terrasse, samt vindusdetaljer. Detaljer der innfesting vil være aktuelle er tegnet inn.

## **6 Diskusjon**

Dette kapitlet diskuterer valg og avveininger gjort i prosjekteringen.

## 6.1 Vurderinger ved utforming

Oppgavebeskrivelsen var svært åpen vedrørende utforming og krav til byggets størrelse og konkrete funksjon. Videre satte de sirkulære prinsippene prosjekteringen i en ny kontekst. Dette har gjort at prosjekteringen har fått en kreativ tilnærming, som har gitt rom for tolkning. Utover dette har noen få, men omfattende rammer, ført til en langt mer tidkrevende prosjekteringsprosess, der det kontinuerlig har blitt stilt spørsmål til egne løsninger og bestemmelser.

En utendørs kaldkonstruksjon ble betraktet som et godt alternativ for oppgaven. Utformingen gir flere utendørs arealer som kan brukes av alle. Et viktig formål for utformingen var å skape et multifunksjonelt møtepunkt for studentene, som kan brukes til både lesing, avkobling og sosialt samvær. Ettersom studentmøtepunktet legges i tilknytning til studentboliger som skal romme et stort antall personer på et relativt lite areal, ble det besluttet å gå for en liten, arealeffektiv konstruksjon med ulike seksjoner og nivåer for opphold. Nødvendigheten av oppvarmede rom ble vurdert som overflødig, ettersom bygget plasseres i tilknytning til studentboligene. Konstruksjonens utforming gjør videre bygget endringsdyktig, og åpner opp for eksempelvis etterisolering og endring av soneinndelinger.



Figur 18 Takterrasse

Det kan diskuteres om en kald konstruksjon er mer eller mindre hensiktsmessig i denne sammenheng. Tanken var at en slik konstruksjon vil kreve færre komponenter enn en varm konstruksjon, noe som legger til rette for redusert materialbruk ved prosjektering.

Prosjekteringen av studentmøtepunktet har fra start tatt sikte på en konstruksjon som i størst mulig grad består av ombrukte komponenter, samt en øvrig konstruksjon utført i trevirke, der det suppleres med andre materialer der det betraktes som nødvendig.

Bærende konstruksjon av limtre velges til fordel for konstruksjonsvirke, på bakgrunn av limtreets gode styrkeegenskaper i forhold til vekt og dimensjon. Dette tillater mindre tverrsnitt enn ved bruk av konstruksjonsvirke. Materialet har høyere klimagassutslipp enn annet trevirke ved produksjon, men anses fortsatt som et bærekraftig materialvalg. Redusert materialvekt vil videre føre til lavere utslipp under transport og montasje. Trevirke er i utgangspunktet et materiale som er bærekraftig, og som egner seg svært godt til ombruk.

En kald og åpen konstruksjon som oppgaven foreslår, vil imidlertid utsettes for vær og vind i større grad enn en varm, lukket konstruksjon. Trevirkets levetid og tekniske kvalitet vil med det reduseres betraktelig grunnet høyere og vedvarende fuktighet, til tross for bruk av trebeskyttelse. Med utgangspunkt i dette, kan det diskuteres om det er riktig å anta at byggets komponenter vil være ombrukbare etter å ha stått utendørs i lang tid, uavhengig av hvor godt konstruksjonen beskyttes. Det må tas høyde for at resultatprosenten for endelig alternativ ikke er en reel, men en ideell verdi.

Videre kan det stilles spørsmål ved om det er mer hensiktsmessig å utføre bygget i andre materialer, eventuelt prosjektere bygget som en varm konstruksjon, for å skåne materialene og muliggjøre ombruk i større grad. Nye materialer bør vurderes for hele livsløpet, fra råvareutvinning, produksjon, bruksfase og levetid, til avhending eller gjenbruk. Det kan være en utfordring å vurdere den totale miljøpåvirkningen fra hele verdikjeden til et produkt, vurdert opp imot et annet. Bruk av stål og betong tas opp til vurdering med hensyn på materialenes levetid. På en annen side er dette mindre fleksible materialer med færre ombruksmuligheter, som videre har betraktelig høyere klimagassutslipp ved produksjon og deponi. En fellesnevner for alle materialer er at optimalisert levetid for produkter, samt økt grad av gjenvinning, vil være sentralt i overgangen til det grønne skiftet og en sirkulær økonomi.

## **6.2 Besparende utførelser**

Detaljerte geotekniske undersøkelser er ikke lagt til grunn for prosjektet. Det er derfor vært ønskelig å benytte en fleksibel fundamenteringsmetode, som kan være aktuell uavhengig av plassering og grunnforhold. På bakgrunn av dette, er åpen fundamentering på søylefundamenter valgt. Søylefundamenter i betong utgjør bestandige komponenter som kan ombrukes ved rehabilitering og riving i flere generasjoner bygg. Prosjekteringen tar høyde for 30 prosent

ombrukt tilslag i betongen, i henhold til NS-EN 206 (74). Det foreslås imidlertid å vurdere 100 prosent resirkulert tilslag. Det vises her til forskning fra blant annet RESGRAM (48), som har gitt positive resultater ved bruk av resirkulert tilslag. Forskningen anses å gi tilstrekkelig grunnlag for å anta at dette er gjennomførbart, for en enkel utendørs konstruksjon som denne. Dette vil også være i tråd med forbildeprosjektets ambisjonsnivå.

Grunne søylefundamenter er valgt da det vil redusere betongmengden, sammenlignet med andre nye fundamenteringsløsninger. Det kan ellers diskuteres om det er mer eller mindre hensiktsmessig å velge grunne søylefundamenter, fremfor å føre de ned til frostfri dybde. Ved å føre fundamentene ned til frostfri dybde, økes betongvolumet. Grunne fundamenter reduserer videre terrenginngrep, men krever til gjengjeld større mengder EPS som ikke kan ombrukes.

Et svært besparende og viktig tiltak kan imidlertid være å utføre studentmøtepunktet på et asfaltert område, eller eventuelt på deler av grunnmuren i Nardovegen 14, som omtalt i ombruksstudiet (61). Ved å benytte en solid flate som underlag, kan en svært stor andel av konstruksjonens klimagassutslipp kuttes, da søylefundamentene kan sløyfes. Prosjektering for en slik løsning ble tatt opp til vurdering. Det ble i stedet vektlagt å utforme en fleksibel løsning, som åpner opp for en mer allsidig plassering av konstruksjonen, og det ble gjennomført dimensjonering av et fullstendig bæresystem. Ved å benytte en eksisterende solid flate, kunne det vært mer aktuelt å ombruke betonghulldekkene i takkonstruksjonen, ettersom søylefundamentene da kan sløyfes. Det vises til at disse var utslagsgivende for klimagassoverslaget for alternativ 1.

Det er valgt å benytte tilfarere i konstruksjonsvirke som fundamentering for terrassedekke på grunn. Det vil her være problematisk å planere terrenget slik at tilfarerne får et fullstendig avrettet underlag. Her burde eksempelvis dimensjonerte betongklosser benyttes, for tilstrekkelig avretting av tilfarerne. Terrassedekket vil på lik linje med resten av konstruksjonen tidvis utsettes for fukt, men vil imidlertid ha større vanskeligheter med å tørke. Terrassekonstruksjonen vil med det være mer utsatt for råte, og det tas høyde for at den må skiftes ut i løpet av byggets forventede levetid. Ettersom terrassekonstruksjonen er et dominerende element i studentmøtepunktet, medfører dette at en stor andel av konstruksjonens materialer potensielt forringes.

En aktuell alternativ løsning for terrassedekke på grunn, kan være å prosjektere for et dekke med skifer over fast grunn. Dette på bakgrunn av observasjoner av skifer gjort på befaring. En mulig oppbygging kan da være 100 mm lag med puk, vegduk, og et 60 mm avrettende lag i 2/4 fraksjon for skiferdekket. En slik løsning ville redusert materialbruken betraktelig og ikke minst gitt et dekke bestående av naturmaterialer som er ombrukbare i evig tid. Dette ble valgt bort for



en prosjektering av en fullstendig trekonstruksjon. Likevel er terrassekonstruksjonen uavhengig av øvrig konstruksjon, og dermed så fleksibel at det vil være uproblematisk å gjøre en slik endring før byggefase igangsettes.

### **6.3 Metodisk tilnærming**

I ettertid stilles det spørsmål til metoden som er benyttet ved prosjekteringen. I gjeldende metode er det tatt utgangspunkt i studentmøtepunktets første skisse, som avbildet på figur 7. Videre ble mulige ombrukselementer fra tomtens eksisterende bygg vurdert. Det ble så sett på hvordan det tenkte resultatet kunne oppnås med minst mulig materialbruk. Etersom eksisterende bygg på tomten i all hovedsak består av betong og stål, ville en naturlig del av prosjekteringen i dette tilfellet vært å undersøke materialer fra andre lokale bygg eller en tredjepartsleverandør. Dette ble i prosjektets tidlige fase vurdert å være uhensiktsmessig, ettersom markedet for brukte materialer er under kontinuerlig endring. Det kunne dermed vært et alternativ å vurdere en konstruktiv løsning for redusert materialbruk basert på skissen, for å så undersøke markedet for brukte komponenter fra andre lokale bygg eller fra en tredjepartsleverandør.

En annen tilnærming kunne vært, med utgangspunkt i ombrukselementer fra tomtens eksisterende bygg, å vurdere hensiktsmessige bruksområder for ulike elementer, for å så finne en måte å inkludere en størst mulig andel ombrukte komponenter fra tomtens eksisterende bygg, og supplere med brukte komponenter fra andre lokale bygg eller en tredjepartsleverandør.

En tenkt konsekvens av de sistnevnte metodene kan være at en konstruksjon som prioriterer ombruk i svært stor grad, vil resultere i at andre ønskede egenskaper faller bort. Dette kan gå utover egenskaper som eksempelvis funksjonalitet og endringsdyktighet.

Et relevant aspekt ved bacheloroppgaven har videre vært å utforme en bærekonstruksjon til dimensjonering. Dersom ombrukselementer skal inkluderes i bærekonstruksjonen, kreves tilstrekkelige styrketester av ombrukselementet. Etersom unødige antagelser har blitt forsøkt unngått, har det vært mer hensiktsmessig å prosjektere studentmøtepunktet med formål om en ombrukbar bærekonstruksjon.

Et annet valg som ble avgjørende for oppgaven, var beslutningen om å inkludere to alternative bresystemer. Å betrakte disse opp mot hverandre ble vurdert som en interessant tilnærming til en endelig løsning. Det ville sikre at den endelige løsningen var det beste av de vurderte, sett i lys av sirkulære prinsipper. De to alternativene illustrerer ellers den gjennomgående vurderingsprosessen, og gjenspeiler noen av avveiningene som er gjort underveis.

## 6.4 Kommentarer til dimensjonering med tilhørende resultater

I EC1 (20) anbefales nominelle verdier for egenlasten. For å få et mer virkelighetsnært bilde, er det heller tatt utgangspunkt i opptredende verdier. Dette har vært en viktig del av oppgaven, da de to alternativene baserer seg på ulikhetene i egenlasten for de to dekkene i takkonstruksjonen.

Til å begynne med ble det kun tegnet én 3D-modell i Focus. Utover i prosjektperioden har det blitt sett et behov for lineære statiske modeller til fremstilling. Modeller i 2D gir oversiktlige illustrasjoner til beregningene, og har vært å foretrekke der mer kompliserte fremstillinger ikke er nødvendig. Ulempen med fremstillinger i 2D er at det kun kan legges inn krefter i to retninger. En 3D-modell gir et mer korrekt kraftbilde, som ser virkende laster i sammenheng, og har vært et godt hjelpemiddel for å identifisere kritiske punkter i konstruksjonen til videre håndberegninger. Todimensjonale modeller kan med det utelate utslagsgivende laster og korrekte globale virkninger, men ser fra kontroll av statisk system i vedlegg C at differansen mellom de ulike modellene er liten. Dimensjonering av konstruksjoner tar høyde for feilmarginer og avrundinger. Feilmarginen som da oppstår som følge av ulike statiske modeller, har blitt ansett som godkjent. Det ble utført kontroll av alternativ 2, og det kunne eventuelt blitt gjort flere kontroller for lastvirkninger, og da for begge alternativ. Det ble imidlertid vurdert som tilstrekkelig med den gjennomførte kontrollen da begge alternativ er bygd opp på samme måte. Ingen av resultatene ligger helt på grensen av kapasitetsutnyttelse, og har ikke utgjort vesentlige forskjeller. Modellen er imidlertid kun et veiledende verktøy.

Beregningene har basert seg på et nøyaktighetsnivå på to desimaler. Dette for å oppnå tilnærmet korrekte verdier, uten å gi et usannsynlig presist bilde. I resultatet er det ansett som nok nøyaktig å angi med hele tall.

### Dimensjonering av bærekonstruksjonens bjelker

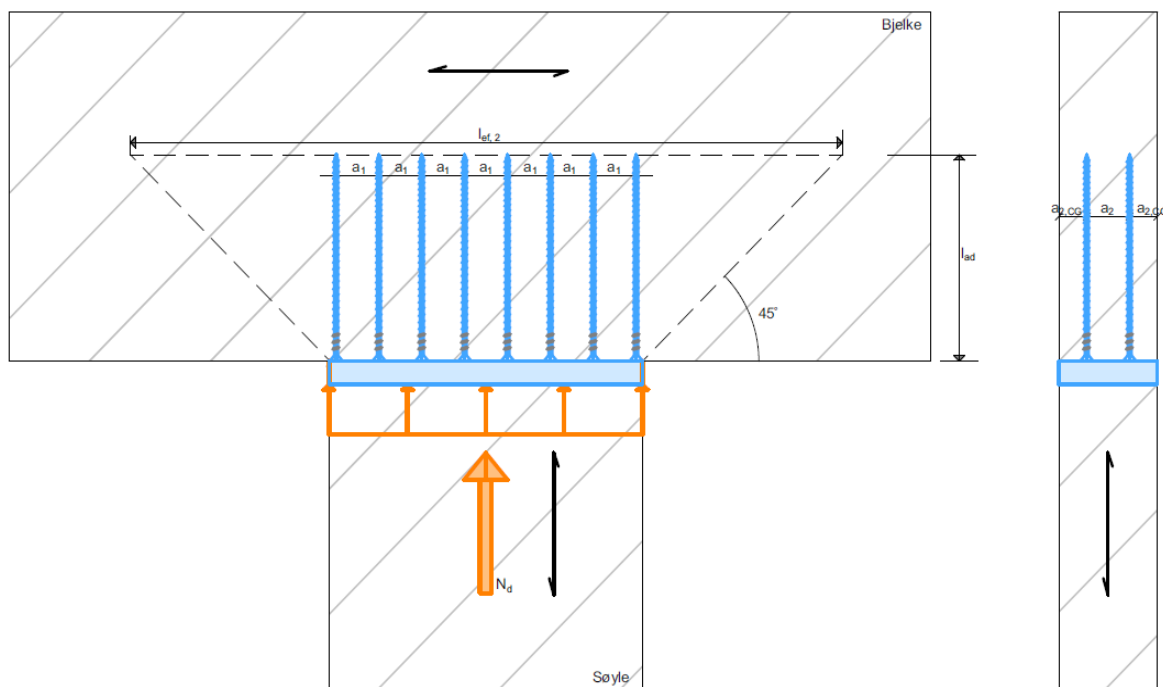
Som en start ble det tatt utgangspunkt i dimensjoneringstabell for korttidslast og permanent last. Konstruksjonen dimensjoneres imidlertid for lasttilfelle med permanent last, halvårslast og korttidslast. I denne oppgaven har tabellverdier kun blitt brukt som en pekepinn på dimensjoner. Eksempelvis ser man at resultat for fundamentbjelke i alternativ 1 gir lavere dimensjon enn angitt i tabell fra gjeldende Byggforskblad.

Fra vedlegg D og E fremkommer det at fremgangsmåte i (6.1.5) fra EC5 (22) ikke oppfyller krav for trykk vinkelrett på flaten. Dette skyldes at faktoren  $k_{c90}$  er lav, og ettersom det er en kontinuerlig last, blir  $l_1 > 2h$  ikke oppfylt. Dermed kan ikke faktoren økes. For takbjelke for begge alternativ ble det løst ved å følge metode fra Endringsblad A1 (59). Dette er en tilleggsendring

tilhørende EC5 (22), der det godtas en alternativ kontroll, der ny verdi av  $f_{c09k}$ , er funnet fra tabell 2 (60). Begrunnelsen for å tillate en alternativ og mer fleksibel metode, ligger i at NS3470 (75) stiller andre krav enn EC 5 (22). I følge Treteknisk Rapport nr. 86 (60) har det ikke vært negative erfaringer med konstruksjoner som følger denne fremgangsmåten, og det har derfor blitt sett på som unødvendig å følge skjerpelser i EC5 (22). For å oppfylle arealkrav om trykk vinkelrett på fiberretningen ble det lagt inn stålplate med dimensjoner 140 mm x 195 mm. For områder der krav for oppleggsflate ikke tilfredsstillende krav for trykk, har det blitt lagt inn større stålplater.

Som en ser fra vedlegg D og E, for henholdsvis alternativ 1 og 2, er verdier for trykkraftkapasitet over grensen for fundamentbjelkene i begge alternativene - selv med metode fra Treteknisk rapport nr. 86 (60). For å oppfylle kravet om trykk vinkelrett på flaten for å unngå deformasjoner i bjelken, ble det benyttet en metode fra nytt utkast til EC5, som forklart i Limtrebokas beregningseksempel (76).

Ved benyttelse av denne metoden, blir krav om trykk vinkelrett på fiberretningen oppfylt ved bruk av helgjengede skruer for å gi ytterligere styrke. En stålplate vil videre fordele trykket. Dette illustreres på figur nedenfor, og er basert på figur 17.4 fra Limtrebokas beregningseksempel (76). For å unngå unødig bruk av skruer, er det sett på hvilke knutepunkt som trenger ekstra styrke, basert på opplagerkrefter som vil virke opp i hvert punkt.



Figur 19 Forsterkning mot trykk vinkelrett på fiberretningen

For fundamentbjelkene, er kraften som virker ned på bjelken betydelig. Her har det vært nødvendig med 220 mm lange skruer for å oppfylle betingelse 1. Det gjør at  $l_{ef2}$ , i forhold til  $l_{ef1}$ , blir relativt stor. Dersom skruen blir for lang, mister den sin forsterkningsevne, som er tilfelle for fundamentbjelkene. Det er dermed uttrekkskapasiteten som er den forsterkende faktoren, og gjør at betingelse 2 blir oppfylt.

Fra tabell 4 og 6 i resultatet, er ikke bøyning et kritisk punkt for bjelke dimensjoneringen for noen av bjelkene i dette tilfellet. Dette skyldes at det kun er bøyning om sterk akse, og bjelketverrsnittets høyde vil forhindre store verdier for bøyning på bjelken. Dette er et vanlig fenomen for bjelker over korte spenn.

For alternativ 2 ligger skjær på 95 prosent av kapasitetsutnyttelse, noe som var forventet basert på segmentkart over kritiske områder hentet fra Focus, se vedlegg E. Skjærkapasiteten tar utgangspunkt i forholdet mellom dimensjonerende skjærspenning og skjærfasthet. Dimensjonerende skjærspenning avhenger av den effektive bredden som blir redusert som følge av faktoren  $k_{cr}$ , som tar hensyn til svelling og sprekking i trevirket. Ifølge Limtreboka (76) kan faktoren settes til en høyere verdi enn standarden tilsier, som normalt praktiseres i Norge. Hvis denne verdien skulle blitt fulgt ville skjærspenningen vært noe lavere. Her ligger skjærkraften opp mot maksimal kapasitetsutnyttelse i overganger mellom takbjelke og søyle, men beregninger viser at det er innenfor grenseverdier, og skjærspenningen blir derfor godkjent. Den vil dog være en dimensjonerende faktor for tverrsnittet.

Som en kan se fra resultattabellene ligger nedbøyningen mellom 73 og 86 prosent av kapasiteten for valgt alternativ 2, og noe lavere i alternativ 1, som skyldes det reduserte spennet. Dersom en ser nøyere på beregninger, og faktoren  $q_{fi}$  i vedlegg D og E, blir det lagt til en tilleggsnedbøyning som følge av skjær på opp mot 18 prosent. Som nevnt i metoden, er dette en følge av forholdet mellom skjærmodulen og elastisitetsmodulen for limtre, ettersom skjærmodulen til tre er lav. Det er derfor en viktig å inkludere deformasjoner fra skjærkreftene i beregningene for nedbøyning.

Dersom en sammenligner beregninger i vedlegg D og E med forskyvninger fra Focus, ser man en tydelig forskjell i nedbøyningen. Dette skyldes at metoden for nedbøyning i håndberegningene er gjort konservativt og baseres på karakteristiske verdier for lastsituasjonen. Dette er valgt for å unngå permanente skader. Eventuelt kunne det blitt tatt utgangspunkt i ofte forekommende lastsituasjon i håndberegningene, for å få mindre spenn i verdiene - særlig for fundamentbjelker og bjelke i trapp ettersom de ikke har en underliggende konstruksjon. Nedbøyningen er ikke dimensjonerende, selv for strengeste metode inkludert skjærdeformasjoner, og har derfor ikke vært nødvendig å redusere i beregningene.

For å avgjøre om deformasjoner er innenfor grenseverdiene kontrolleres det mot nedbøyningskrav hentet fra tabell 7.2 i EC5 (22). Her er det tatt utgangspunkt i netto endelig nedbøyning,  $W_{net,fin}$ , for bjelker på to opplegg. Tabell 7.2 gir da at nedbøyning fra L/250 til L/350 er godkjent. Her ble det tatt vurdering basert på konsekvenser av nedbøyning i kombinasjon med tabell 6-1 (35). Nedbøyningskrav er dermed satt til L/300 for takbjelker og fundamentbjelker. For bjelke i trapp settes kravet til L/250.

Som beskrevet i metoden er bjelkene delvis fastholdt mot vipping. Bjelkene er fastholdt mot vipping i hvert opplager, og vipping i bjelkens spenn er derfor aktuell å undersøke. Det som manglet for å kunne konkludere med at vipping og torsjon er helt utelukket, var en fastholdelse mot sideveis forskyvning på bjelkens trykkside. Den vil forflytte seg ut fra hvilken lastsituasjon som er gjeldende, der det ved nedoverrettet last vil være trykk i overkant av bjelken midtveis, mens trykket vil være i underkant av bjelken i området rundt forbindelsen med søylen. Det vil være omvendt for oppadrettet kraft. Kontrollen for vipping og torsjon ble derfor gjennomført for både takbjelke og fundamentbjelke. Fra vedlegg D og E fremkommer det at det ikke vil være fare for vipping for noen av bjelkene, da relativ slankhet er lav. Videre ser man fra tabell 4 og 6 at utnyttelse av torsjonskapasiteten er liten, og det vurderes derfor at bjelken er fastholdt mot vipping.

I startfasen av søyledimensjoneringen ble det tatt utgangspunkt i tabell 21b (57). Fra tabell 5 og 7 i resultatet, fremkommer det at kapasitet fra tabell 21b ligger langt innenfor grenseverdier, og at et mindre søyletverrsnitt kunne blitt valgt. Tabellen baserer seg imidlertid på en sentrisk belastet søyle. I konstruksjonen vil det i noen tilfeller være opptredende bøyespenninger i kombinasjon med trykk. Beregninger sammenlignet med krav fra EC5 (22) har vært dimensjonerende for søylene.

Stabilitetsberegninger av søyler kontrollerer om søylen tåler belastningene den utsettes for. Disse belastningene er spenninger fra trykk eller strekk aksialt, og bøyespenninger som virker langs søylen. Disse sammenlignes med fastheter, og tar hensyn til relative knekk lengder. Fra tabell 7 ligger stabilitetsutnyttelse på mellom 58 og 93 prosent for de ulike gruppene i alternativ 2. Gruppe 2 er da nærmest grensen for maksimal kapasitetsutnyttelse, særlig i y-retning ettersom denne har størst slankhet og søylen blir utsatt for krefter i tre retninger. Det er stabilitetsberegningene som er avgjørende for om søyledimensjonene er tilstrekkelige, og det har i tilfeller med lav utnyttelse blitt vurdert mindre tverrsnitt. Disse har ikke oppfylt stabilitetskrav, og valgte tverrsnitt basert på bjelkebredde har blitt stående.

Søyler som kun er utsatt for trykkrefter, er kun aktuelt for søylegruppe 1 for begge alternativer. Kontroll for trykkraft i fiberretningen må oppfylle krav til opplagerkraft i aktuell søyle. Dette er samme opplagerkraft som det tas utgangspunkt i, når søyletverrsnitt fra dimensjoneringstabell velges. Kapasitetsutnyttelsen for trykkrefter er likevel mindre enn for dimensjoneringstabellen, og kan begrunnes ved at tabellen er en generell og konservativ metode for å dimensjonere søyler. Som tidligere nevnt tar tabellen høyde for verdier fra nyttelast og generell egenlast, mens en manuell beregning av trykkreftene tar utgangspunkt i den spesifikke lasten fra snølast, nyttelast og egenlast. Det gir dermed et mer presist resultat ved beregning i henhold til EC5, sammenlignet med tabellverdier fra Byggforsk.

Strekkreftene som virker på søylene er kun opptredende over området der oppadrettet vindlast gir strekk i søylene. Det er kun aktuelt for søyler i gruppe 1 for alternativ 2, grunnet dekkets egenlast som er mindre enn effekten fra vindlasten. Sammenlignet med søylenes trykkfasthet, er strekkfastheten lavere. Til tross for dette blir kapasitetsutnyttelsen liten, ettersom oppadrettet kraft som gir strekk er lav.

Søyler i gruppe 2 og 3 er på grunn av vindlast utsatt for bøyepenninger i kombinasjon med aksialt trykk. Denne kombinasjonen vil i utgangspunktet kunne ses på som oppfylt ettersom stabilitetsberegninger er innenfor kravet. Dette skyldes at ligninger for stabilitet og bøyning i kombinasjon med trykk inneholder samme komponenter. Forskjellen er at trykkrefter står for en mindre andel, og dermed er kapasitetsutnyttelsen lavere og automatisk oppfylt.

### **Dimensjonering av fundament**

Dimensjonering av fundament deles inn i hensiktsmessige grupper, sortert etter opptredende aksialkrefter. Videre kombineres dimensjonerende aksialkraft og dimensjonerende moment for gruppen, uavhengig av om disse er opptredende i samme punkt. Dette for å helgardere løsningen. Alle grupper dimensjoneres slik at skjær-, moment- og gjennomlokkingskapasiteter oppfylles. Det er varierende hvilken av disse kapasitetene som er dimensjonerende. Dimensjoner og armeringsmengde velges slik at dimensjonerende krav innfris med relativt liten margin.

### **Dimensjonering for alternativ 1**

En ser fra resultatet at valgt tverrsnitt for takbjelken er 140 mm x 360 mm. Betonghulldekkets egenlast vil gi et relativt stort tverrsnitt i forhold til spennet det virker over. Videre virker det store trykkrefter ned fra bjelken over på søylene, som kan gi deformasjoner i knutepunktene. Ved hjelp av stålplater, oppfylles kapasitet for trykkrefter ved alternativ metode fra Treteknisk rapport nr. 86, for trykk vinkelrett på bjelken. Skjærkapasiteteten er dimensjonerende for takbjelken.

Fundamentbjelken har et mindre tverrsnitt enn takbjelken for alternativ 1, men mange av kontrollene er relativt like, basert på kapasitetsutnyttelsen i tabell 4. I tillegg til stålplater i forbindelsene, må det også forsterkes med skruer for å oppfylle krav om trykkapasitet vinkelrett på bjelken.

For å bestemme søyledimensjon ble det tatt utgangspunkt i bjelkebredden. Ut fra dette ble minste dimensjon med bredde på 140 mm valgt til 140 mm x 135 mm. For å vurdere om dette var et valg som ville gitt overdimensjonerte søyler ble det testet ut for mindre dimensjoner. Disse testene oppfylte ikke krav om stabilitet, og ble forkastet. For gruppe 2 ble ikke krav om stabilitet oppfylt for tverrsnittsdimensjon 140 mm x 135 mm, og det ble nødvendig å øke til 140 mm x 180 mm for denne gruppen. Søyler i gruppe 2 får en større total belastning fra trykkraft fra overliggende dekke i kombinasjon med bøyning om begge resterende hovedakser fra vindlast, og det var derfor ikke mulig å beholde samme søyledimensjon for alle søylene. Å sette alle søyler lik gruppe 2 har ikke vært aktuelt, da det vil gi unødvendig bruk av materialer. Til tross for at mest mulig like dimensjoner er ønskelig, har det blitt vurdert som bedre å gå for ulike søyledimensjoner, av hensyn til sirkulære prinsipper.

For alternativ 1 deles dimensjonering av søylefundamenter inn i to grupper. Gruppe 1 består av elleve søylefundamenter. Kontroll av gjennomlokkingskapasiteten er dimensjonerende for gruppe 1. Her er fundamentbredden  $b_{f11}$  satt til minimumsverdi, og dermed er fundament høyden  $h_{f11}$  den avgjørende parameteren. Gruppe 2 består av tre søylefundamenter. Her er skjærstrekkkapasiteten dimensjonerende. Med hensyn på praktisk utførelse, justeres fundament høyden  $h_{f12}$  til fordel for å legge inn supplerende skjærarmering.

### **Dimensjonering for alternativ 2**

Ved fastsettelse av dimensjoner for takbjelker, ble det vurdert å gå ned i tverrsnittsdimensjon, da det ut fra tabell 6 ser ut til at det er verdier fra dimensjoneringstabell 21d (77), som er dimensjonerende. Dette kunne blitt sett bort fra dersom alle andre kontroller hadde godtatt et mindre tverrsnitt. Det ble vurdert og testet for mindre dimensjoner, men kapasitet for skjærspenning vil overstiges, samt at det vil oppstå for store deformasjoner på grunn av nedbøyning, derunder skjærdeformasjoner som vil ha stor innvirkning på valgt bjelke dimensjon.

For fundamentbjelken vil det oppstå samme situasjon som for takbjelken. Krav for skjærspenning og nedbøyning godtar ikke en bjelke med mindre tverrsnittshøyde enn 315 mm.

Som for alternativ 1 ble tverrsnittsbredden bestemt fra bjelkens bredde. Ut fra dette ble minste dimensjon med bredde på 140 mm valgt til 140 mm x 135 mm. For å vurdere om dette var et valg som ville gitt overdimensjonerte søyler ble det testet ut for mindre tverrsnitt. Testene

oppfylte ikke kravene om stabilitet, og ble forkastet. For gruppe 2 ble ikke krav om stabilitet oppfylt for tverrsnittet, og det ble nødvendig å øke til 140 mm x 180 mm for denne gruppen, som for alternativ 1.

For alternativ 2 deles dimensjonering av søylefundamenter i første omgang inn i to grupper. Gruppe 1 består av tre søylefundamenter. Her er kontroll av gjennomlokkingskapasitet dimensjonerende. I dette tilfellet justeres armeringsmengden noe, for å oppfylle gjennomlokkingskontroll i snitt d. Gruppe 2 består av ni søylefundamenter. For denne gruppen er både skjær- og gjennomlokkingskapasiteter tett opp mot maksimal utnyttelse. Her justeres armeringsmengden noe for å innfri begge krav. Fra diagram for oppleggskrefter, gitt i vedlegg E, ser man at fundamentene ved mest ugunstige lastkombinasjon vil utsettes for løftekrefter. Dette skyldes at egenvekten til konstruksjonen er lavere enn virkende vindlast på det frittstående, flate taket. Det kontrolleres med dette om forankringen som følge av fundamentets dimensjoner og overliggende masser, vil gi tilstrekkelig forankring. For to av fundamentene, vil forankringen ikke være tilstrekkelig. For å oppnå tilstrekkelig forankring, men samtidig holde opptredende betongmengder på et rimelig nivå, føres fundamentene dypere ved å øke søylehøyden. Slik forankres fundamentene ved hjelp fra overliggende masser, uten å gi stor økning i betongmengde. Gruppe 2 får med det en undergruppe, hvor såledimensjoner er like for begge grupper, men fundamentdybden er spesiell for gruppe 2.1.

### **Dekomponerbare forbindelser**

For å oppnå dekomponerbare forbindelser, benyttes reversible forbindelsesmetoder. Dette innebærer blant annet beregnede forbindelser med skruer og bolter. Forbindelsesmetodene er valgt med hensyn på tilstrekkelig kapasitet, uten å overdimensjonere. Det er også tatt i betraktning at konstruksjonen er av limtre, og relativt liten av størrelse, så andre forbindelsesmetoder er derfor utelatt. Etersom søylen hviler i en søylesko, og bjelken hviler på søylen, ble det beregnet for krefter som virker oppover, og kan løfte konstruksjonen. Det har derfor ikke blitt tatt hensyn til fastholdelse nedover. De utvalgte forbindelsene ble valgt på bakgrunn av løftkrefter i mest belastet punkt på konstruksjonen.

## **6.5 Endelig løsning**

Ved dimensjonering viste hulldekkenes store egenlast seg å være mer utslagsgivende for bærende konstruksjon enn først antatt. Resultater for gjennomført klimagassregnskap, peker på store forskjeller mellom de to alternativene. Her kommer alternativ 2 best ut, med god margin, til tross for at det vil kreve nye materialer til bjelkelaget. Dette skyldes i all hovedsak vinkelstålet som



legges inn, som barriere mellom tre og betong til innfesting av hulldekkene. Det må videre benyttes betydelig større mengder betong og armeringsjern i fundamentet for alternativ 1. Til tross for at resultatene utpeker alternativ 2 som beste løsning ved gitte forutsetninger, kan det derfor gjøres noen tiltak for å legge til rette for ombruk av hulldekkene i takkonstruksjonen.

Hulldekkene ble i utgangspunktet vurdert å være aktuelle i takkonstruksjonen. I ombruksstudien (61) nevnes det at ombruk av bærende betongelementer er kostbart og tidkrevende, men at det vurderes som mindre aktuelt i prosjektet på Nardo. Det nevnes videre at ombruk av hulldekker i forbindelse med utenomhuskonstruksjoner kan anses som relevant. På bakgrunn av dette ville man sikret å gi et nytt bruksområde til betonghulldekkene.

Dersom ombrukt vinkelstål er mulig å få tak i, kan alternativ 1 være mer aktuelt. Videre kan det også være mer aktuelt med ombruk av hulldekke dersom studentmøtepunktet kan plasseres slik at ny fundamentering ikke er nødvendig, som diskutert i kapittel 5.2. Ombruk av betonghulldekker kan ellers være mer aktuelt i prosjekter der det kombineres med søyler i betong.

Som vist i vedlegg C, utgjør hulldekket en avgjørende vektandel av konstruksjonen. Viktigheten av å ta utgangspunkt i opptredende egenlast for alternative konstruktive metoder ble fremtredende, da hulldekkenes høye egenvekt genererte større dimensjoner og økt materialhyppighet i bærende konstruksjon. Det ble klart at hulldekkenes plassering var svært ugunstig, og at et annet bruksområde utenomhus til fordel bør vurderes.

Til tross for at alternativ 1 med høy sannsynlighet vil generere en langt større andel ombrukbare materialer grunnet sin høye egenvekt, og med det gir høyere prosentandel ombrukte materialer, så er det alternativ 2 som kommer best ut. På bakgrunn av dette stilles det et spørsmål ved et av FutureBuilts kriterier, som vurderer andelen ombrukte og ombrukbare materialer, regnet i vekt. I dette tilfellet blir det tydelig at tunge konstruksjonselementer kan bidra til at FutureBuilts krav for prosentandeler ombrukte og ombrukbare komponenter, regnet i vekt, innfris - uten å nødvendigvis konstruere et mer miljøbesparende bygg. En konsekvens av dette kan bli at massive ombruksmaterialer velges for å oppfylle kriterier til FutureBuilt. Dette viser viktigheten av en helhetlig vurdering av kriteriene, men kan også peke på visse smutthull i prosjektering for ombruk i henhold til kriteriene.

## **6.6 Tidsbruk**

Prosjektering av studentmøtepunktet har gitt rom for stadige revurderinger av utforming, tverrsnittsdimensjoner og materialvalg. Dette har vært en tidkrevende del ved prosjekteringen. Prosjektering for ombruk er mindre håndfast, og krever med det ny innsikt og nye måter å tenke på. Dette kan resultere i løsninger som ellers ville blitt betraktet som mindre hensiktsmessige. En

erfaring og gjennomgående tendens, har vært at det er enkelt å låse seg til utvalgte ombrukselementer eller tenkte løsninger. En konsekvens kan bli at man da går glipp av mer hensiktsmessige løsninger, som ut prosessen viser seg som mer opplagte. Dette kan tenkes å være en typisk tendens ved prosjektering for ombruk. På bakgrunn av dette er det sett et behov for mer konkrete metoder.

Over tid har bransjen utviklet effektiviserte metoder for prosjektering. BIM er en sentral del av denne effektiviseringen, og har mange fordeler. Deriblant vil ressursene i et byggeprosjekt kunne utnyttes langt bedre. En videreutvikling på feltet vil skje dersom nye bygg inkluderer tilgjengelig informasjon av byggets komponenter, samlet som FDV-dokumentasjon og øvrig informasjon om byggesystemet i åpenBIM. Dette anses som en viktig medvirkende faktor i det grønne skiftet, som også vil legge til rette for enklere prosjektering for ombruk ved rehabilitering og riving. Som nevnt innledningsvis, skal de etablerte norske standardene og veiledninger videreutvikles og legge til rette for ombruk. Dette ses på som nødvendig for å gjøre prosjektering for ombruk mer attraktivt, og mindre ressurskrevende.

## **6.7 Kvalitetssikring**

Bacheloroppgaven har vært kompleks, og krevd tverrfaglig kompetanse. Som en konsekvens av ulik kompetanse, har fokuset i perioder stått på individuelle oppgaver. Dette har medført at det i perioder har blitt lagt mindre vekt på kvalitetssikring enn først tenkt. Et større fokus på kontinuerlig kvalitetssikring, ville avslørt eventuelle mangler ved et tidligere tidspunkt. Det kunne igjen ført til en mer effektiv prosess.

## **6.8 Veien videre**

For å videreutvikle studentmøtepunktet, vil det være aktuelt å se på flere aspekt ved prosjekteringen. Det kan eksempelvis innebære en videreutvikling av konsept og utforming av studentmøtepunktet, med hensyn til plassering og tilpasning til omkringliggende bebyggelse, eller en tilpasning av konstruksjonen for aktuelle ombrukte komponenter.

Det vil ellers være nødvendig å gjennomføre ytterligere beregninger for forbindelsene, da det i denne oppgaven kun har blitt sett på to sentrale forbindelser. I henhold til FutureBUILTS kriterier, kreves det blant annet ytterligere informasjon om FDV-dokumentasjon og om byggesystemet med anvisning for demontering. Synlige og markerte festepunkter er en av forutsetningene for ombrukbare komponenter. Tilgjengelig informasjon vil også ha stor nytteverdi for konstruksjonen. For ombrukte materialer må videre kvalitet og egenskaper dokumenteres på en slik måte at bygningsdelene tilfredsstillt kravene i TEK og DOK (40).

## **Konklusjon**

Denne bacheloroppgaven legger frem forslag til utforming og dimensjonering av et utendørs møtepunkt for studenter, hvor vurderinger underveis i prosjekteringen er gjort i et miljøperspektiv. Konkret har slike vurderinger resultert i en mer tidkrevende prosjekteringsprosess, der et gjentakende spørsmål har vært om det finnes en mer miljøbesparende løsning, og i hvilken grad dette er gjennomførbart og bærekraftig for prosjektet.

Avveininger ved prosjektering i et miljøperspektiv har med det omhandlet eksempelvis utforming og materialreduksjon mot funksjonsbehov og nytte, materialenes tekniske kvalitet mot påført miljøbelastning, konservative beregninger og tidsbesparelse mot materialreduksjon og miljøbesparelse, eller hvorvidt mest mulig uniforme dimensjoner og materialer bør prioriteres fremfor materialreduksjon og homogenitet.

Prosjekteringen har resultert i en endringsdyktig konstruksjon, der ønsket funksjon er oppfylt, som i utgangspunktet er ombrukbar i svært stor grad. Endelig løsning for studentmøtepunktet innfrir ikke alle av FutureBuilts kriterier isolert sett, men er prosjektert i henhold til sirkulære prinsipper. Dette skyldes at studentmøtepunktet i hovedsak består av en bærende kaldkonstruksjon til utendørs bruk.

Med FutureBuilts kriterier som ambisjonsnivå, har prosjekteringen resultert i en konstruksjon som gir et langt mindre klimafotavtrykk enn en tilsvarende konstruksjon som prosjekteres etter standardiserte løsninger.

## Referanseliste

1. GRAPHISOFT NORGE. Archicad. [Internett]. 2021 [Hentet 30.04.21]. Tilgjengelig fra: <https://graphisoft.no/archicad/oversikt/>.
2. Grønn Byggallianse. Teknisk Manual, BREEAM-NOR 2016. [Internett]. 2016. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/06/SD-5075NOR-BREEAM-NOR-2016-Nybygg-Versjon-1.2.pdf>.
3. SSB. SSB. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/ajax/ordforklaring?key=250651&sprak=no>.
4. Trollkode AS. Byggordboka. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.byggordboka.no/artikkel/sok/elastisitet>.
5. Enova SF. Enova. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/om-enova/>.
6. Byggalliansen. Grønn Materialguide. 2021.
7. Sørnes K, Nordby AS, Fjeldheim H, Hashem SMB, Mysen M, Schlanbusch RD. Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer. SINTEF Fag; 2014.
8. Miljødirektoratet. Sirkulære Bygg, Kilmasats-prosjekt. [Internett]. 2018. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/myndigheter/klimaarbeid/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2018/sirkulare-bygg/>.
9. Sit. Organisering. [Internett]. [Hentet 12.04.21]. Tilgjengelig fra: <sit.no/om-sit/organisering>.
10. SmartDok. Alt om BIM. [Internett]. [Hentet 04.04.21].Tilgjengelig fra: <https://www.jobbsmartest.no/alt-om-bim/>.
11. Holte K, Rolstad AN. Miljøriktig riving av boliger. SINTEF Norge. Oslo; 2005.
12. Miljøstatus. Avfall. [Internett]. Oslo; 2021 [Hentet 17.04.21]. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/avfall/>.
13. Klima- og miljødepartementet. Det grønne skiftet i Norge. [Internett]. 2020 [Hentet 12.04.21].Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/gront-skifte/id2076832/>.
14. Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Boliger skal være grønne og av høy kvalitet. [Internett]. Oslo; 2020 [Hentet 07.05.21].

15. Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Nå blir enklere å bruke brukte byggematerialer om igjen. [Internett]. Oslo; 2021 [Hentet 23.04.21]. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/na-bli-det-enklere-a-bruke-brukte-byggematerialer-om-igjen/id2828497/>.
16. Sørnes K, Nordby AS, Fjeldheim H, Hashem SMB, Mysen M, Schlanbusch RD. Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer: SINTEF; 2014.
17. Kommunal- og moderniseringsprogrammet. Plan- og bygningsloven. [Internett]. 2008 [Hentet 19.03.21].
18. Direktoratet for byggkvalitet. Byggteknisk forskrift (TEK 17) med veiledning. [Internett]. Trondheim; 2017 [Hentet 20.04.21]. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
19. Standard Norge. Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. 1st ed.; 2016.
20. Standard Norge. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-1: Allmenne laster - Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger. Utgave 1. 2019.
21. Standard Norge. Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Utgave 1. 2018.
22. Standard Norge. Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Utgave 1. 2010.
23. SINTEF. Hva er byggforskserien. [Internett]. [Hentet 03.05.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/side/198/hva\\_er\\_byggforskserien](https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien).
24. Focus Software AS. Om Focus Konstruksjon 3D. [Internett]. [Hentet 27.04.21]. Hentet fra: <https://www.focus.no/produkter/focus-konstruksjon-3d/>.
25. PTC Inc. PTC Mathcad. [Internett]. [Hentet 22.04.21]. Tilgjengelig fra: <https://www.mathcad.com/en>.
26. GRAPHISOFT NO. Archicad - Brukervennlig og intuitivt. [Internett]. [cited 2021]. Available from: <https://graphisoft.no/archicad/oversikt/>.
27. Asplan Viak. Oppgavebeskrivelse Asplan Viak. 2021. Tilgjengelig ved forespørsel.
28. FutureBuilt. Om FutureBuilt. [Internett]. Oslo; 2021 [Hentet 10.04.21]. April. Tilgjengelig fra: [Futurebuilt.no/om-oss](https://futurebuilt.no/om-oss).

29. Andresen I, Lassen N, Dokka TH. Notat - Kriterier for nZEB for FutureBuilt-prosjekter. Trondheim: NTNU, Powerhouse-alliansen/SEB; 2016.
30. Rambøll. Miljøsaneringsbeskrivelse Nardovegen 12 og 14; 2021.
31. Treindustrien. Miljø. [Internett]. 2021.
32. Standard Norge. Konstruksjonstrevirke - Fasthetsklasser. Utgave 1. 2016.
33. Trefokus, Treteknisk. FOKUS på tre - Konstruksjonsvirke. Nr 43; 2012.
34. Alvdal Skurlag AS. FDV-DOKUMENTASJON - Alvdal Malmfuru. 2015.
35. Norske Limtreprodusenteres Forening. Limtreboka. Bergen; 2015.
36. Standard Norge. Tre og trebaserte produkters holdbarhet - Prøving og klassifisering av motstandsevnen mot biologisk påvirkning til tre- og trebaserte materialer; 2016.
37. Trefokus. Trevirkets holdbarhet. [Internett]. [Hentet 18.04.21]. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/tre-utendors/artikkel-2>.
38. SINTEF BYGGFORSK. Byggforskblad 432.101 Trebeskyttelse. Overflatebehandling, trykkimpregnering og modifisering. [Online]. Trondheim; 2017 [Hentet 07.04.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/203/trebeskyttelse\\_overflatebehandling\\_trykkimpregnering\\_og\\_modifisering](https://www.byggforsk.no/dokument/203/trebeskyttelse_overflatebehandling_trykkimpregnering_og_modifisering).
39. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 432.101 Trebeskyttelse. Overflatebehandling, trykkimpregnering og modifisering. [Internett]. Trondheim; 2017 [Hentet 15.04.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/203/trebeskyttelse\\_overflatebehandling\\_trykkimpregnering\\_og\\_modifisering](https://www.byggforsk.no/dokument/203/trebeskyttelse_overflatebehandling_trykkimpregnering_og_modifisering).
40. Nordby AS. FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg. 2020.
41. Kebony. Teknologi. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra: <https://kebony.com/no/content/teknologi>.
42. Kebony. FAQ. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra: <https://kebony.com/no/content/faq>.

43. Setra. Treated Glulam. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra:  
<https://www.setragroup.com/en/glulam/om-limtra/ytbehandling>.
44. Norsk Stål AS. Grønnere - Stålproduksjon i dag. [Internett]. 2021. Tilgjengelig fra:  
<https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/groennere-staalproduksjon-i-dag>.
45. Miljøkomiteen. Visste du dette om betong og miljø?; 2016.
46. Standard Norge. Betong — Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar; 2013.
47. Paine K, Dhir R, Halliday JE, Zheng L, Collery D, Rai HS. Use of recycled and secondary aggregates in concrete: Engineerin and environmental considerations. 2011.
48. SINTEF. Gjenbrukte gravemasser kan erstatte naturlig tilslag i betong. 2019.
49. Norges geologiske undersøkelse. [Kart på nett]. 2021 [Hentet 07.04.21]. Tilgjengelig fra:  
[ngu.no/emne/kart-pa-nett](http://ngu.no/emne/kart-pa-nett).
50. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 521.304 Pilarer av betong i telefarlig grunn. [Internett]. 1996 [Hentet 07.04.21].
51. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 471.031 Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningsdeler. [Internett]. Trondheim; 2013 [Hentet 22.03.21].  
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).
52. Standard Norge. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster. Utgave 1. 2018.
53. Standard Norge. Eurokode 1: Laster på konstruksjoner - Del 1-4: Allmenne laster - Vindlaster. Utgave 1. 2009.
54. Yttervoll PO. Forelesningsnotat; Skiveavstivning, statikk og konstruksjonslære. 2019.
55. Larsen PK. Dimensjonering av stålkonstruksjoner: Akademika Forlag; 2010.



56. Standard Norge. Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre - Krav. Utgave 1. 2016.
57. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 520.233 Søyler av tre. Dimensjonering. [Internett]. Trondheim; 2011. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/306/soeyler\\_av\\_tre\\_dimensjonering](https://www.byggforsk.no/dokument/306/soeyler_av_tre_dimensjonering).
58. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 520.222 Bjelker av tre. Dimensjonering. [Internett]. Trondheim; 2011 [Hentet 06.03.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/304/bjelker\\_av\\_tre\\_dimensjonering](https://www.byggforsk.no/dokument/304/bjelker_av_tre_dimensjonering).
59. Standard Norge. Endringsblad A1 - Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Utgave 1. 2008.
60. Eide S, Glasø G, Aasheim E. 86: Prosjektering av trekonstruksjoner - Trykk vinkelrett på fiberretning; 2013.
61. Rambøll. Ombruksstudie Nardovegen 12 og 14. Trondheim; 2021
62. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 517.111 Treterrasser på terreng. [Internett]. Trondheim; 2021. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/2608/treterrasser\\_paa\\_terreng](https://www.byggforsk.no/dokument/2608/treterrasser_paa_terreng).
63. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 522.351 Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse. [Internett]. 2011. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag\\_dimensjonering\\_og\\_utfoerelse](https://www.byggforsk.no/dokument/334/trebjelkelag_dimensjonering_og_utfoerelse).
64. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 525.814 Taksperrer av tre. [Internett]. 2004 [Hentet 06.03.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/398/taksperrer\\_av\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/398/taksperrer_av_tre).
65. Edvardsen KI, Ramstad T. 13 Beregning av bæreevne. In Edvardsen KI, Ramstad T. Trehusboka. 2014. p. 441-445.
66. Sørensen SI. Betongkonstruksjoner. Utgave 2. Fagbokforlaget; 2013.

67. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 511.101 Byggegrunn og terreng. [Internett]. 2012 [Hentet 14.03.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/240/byggegrunn\\_og\\_terreng](https://www.byggforsk.no/dokument/240/byggegrunn_og_terreng).
68. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 511.204 Enkle grunnundersøkelser for bygging av småhus. [Internett]. 2012 [Hentet 08.03.21]. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/241/enkle\\_grunnundersoekelser\\_for\\_bygging\\_av\\_smaahus](https://www.byggforsk.no/dokument/241/enkle_grunnundersoekelser_for_bygging_av_smaahus).
69. Rotho Blaas Srl. Screws and connectors for timber. [Internett]. 2021 [Hentet 06.03.21]. Tilgjengelig fra: [rothoblaas.com/catalogues-rothoblaas](http://rothoblaas.com/catalogues-rothoblaas).
70. Standard Norge. Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger. Utgave 1. 2015.
71. Standard Norge. Veiledning til NS 3720:2018 — Metode for klimagassberegninger for bygninger. Utgave 1. 2021.
72. Standard Norge. Bygningsdeltabell. Utgave 1. 2019.
73. ENOVA SF. Klimavennlige byggematerialer. Potensial for utslippskutt og barrierer mot bruk. 2020.
74. Standard Norge. Betong - Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar. Utgave 1. 2013.
75. Standard Norge. Aerospace series - Steel FE-PM1503 (X3CrNiMoAl13-8-2) - Vacuum induction melted and consumable electrode remelted - Solution treated and precipitation treated - Forgings -  $a$  or  $D \leq 150$  mm -  $1\ 200$  MPa  $\leq R_m \leq 1\ 400$  Mpa. Utgave 1. 2019.
76. Norske Limtreprodusenters Forening . Limtreboka Beregningseksempel. In Forening NL. Limtreboka. 2018.
77. SINTEF Byggforsk. Byggforskblad 520.222 Dimensjonering av stålkonstruksjoner. [Internett].

78. Standard Norge. Rettelsesblad AC - Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner - Del 1-8: Knutepunkter og forbindelser. Utgave 1. 2009.

## Figurliste

Figur 1 Byggsektorens forurensning av klimagassutslipp .....	11
Figur 2 Sirkulære prinsipper  .....	16
Figur 3 Avfallspyramiden .....	17
Figur 4 Kriterier for ombrukte og ombrukbare komponenter.....	18
Figur 5 Bilder tatt på befaring.....	27
Figur 6 Eiendomskart med tomteavgrensning (49). .....	28
Figur 7 Første skisse av studentmøtepunkt.....	29
Figur 8 Referansesystem for alternativ 1 .....	30
Figur 9 Referansesystem for alternativ 2 .....	30
Figur 10 Soneinndeling frittstående tak.....	35
Figur 11 Soneinndeling for flattak.....	36
Figur 12 Soneinndeling vegg .....	36
Figur 13 Fyllmasser i grunn.....	45
Figur 14 Aksonometrisk fremstilling.....	53
Figur 15 Aksonometrisk fremstilling.....	53
Figur 16 Minsteavstander for forbindelser .....	60
Figur 17 Aksonometrisk salgstegning .....	66
Figur 18 Taktterasse .....	68
Figur 19 Forsterkning mot trykk vinkelrett på fiberretningen .....	73

## Vedlegg

<b>Vedlegg</b>	<b>Beskrivelse</b>	<b>Antall sider</b>
Vedlegg A	Artikkel	1
Vedlegg B	Plakat	1
Vedlegg C	Lastberegninger	16
Vedlegg D	Beregningsrapport alternativ 1	45
Vedlegg E	Beregningsrapport alternativ 2	65
Vedlegg F	Tegninger av endelig løsning	31

# Vedlegg A

Artikkel

# ET MØTEPUNKT FOR STUDENTENE I GRØNNE OMGIVELSER – FOR EN GRØNNERE FREMTID

**I en bransje hvor økonomi og tidspress står sentralt, blir ofte klimavennlige løsninger satt i andre rekke. I forbindelse med utbygging av et utendørs samlingspunkt for studenter på Nardo, har det imidlertid blitt lagt stor vekt på klimavennlige løsninger og materialreduksjon.**

Det ses et stadig større behov for flere

og bedre studentboliger i Trondheim. Studentsamskipnaden Sit er i den anledning i gang med å skape bærekraftige studentboliger i Nardovegen 12 og 14. I prosjektet settes det søkelys på ressurseffektive løsninger, som gir et lavt klimafotavtrykk. I tilknytning til studentboligene, ønsker Sit i tillegg å inkludere et møtepunkt som er tilgjengelig for alle studenter.

## **Studentmøtepunkt**

I den forbindelse planlegges et eget «studentmøtepunkt», som legger til rette for at studentboligenes beboere og andre studenter kan samles for å koble av, sosialisere og lese i grønne omgivelser.

Slike arealer har tidligere ikke blitt prioritert, og Sit ser frem til å komme med et nytt og fleksibelt lavterskeltilbud for studentene. Målet er at møtepunktet skal utgjøre et attraktivt samlingspunkt, i umiddelbar nærhet til studentboligene.

## **Variert bruksområde**

Studentmøtepunktet er et åpent bygg, utformet med både takterrasse, amfitrapp, og et eget lite hus, samt øvrige overbygde og åpne arealer på bakkeplan.

Særlig i perioden vi er i nå, har det blitt sett et behov for et slikt møtepunkt, der studentene får mulighet til å sosialisere utendørs. Dette vil forhåpentligvis bli et godt benyttet tilbud i lang tid fremover.



## **Materialreduksjon og ombruk**

Prosjektet på Nardo skal sin helhet følge retningslinjer satt i FutureBuilt's kriterier for sirkulære bygg. Dette innebærer en mer miljøbesparende måte å bygge på. Det legges i første rekke til rette for materialreduksjon. I dag står det to bygninger på tomten. Her ses det i første omgang på muligheter for bevaring eller rehabilitering av eksisterende bygg, da dette vanligvis medfører lavere miljøbelastning enn rivning og nybygg. Dette da det vil redusere behovet for andre materialer i nye bygninger. Videre er det også sentralt å vurdere nye bruksområder av overflødige materialer. Dersom materialer og komponenter benyttes i opprinnelig form, omtales dette som ombruk.

Studentmøtepunktet legger til rette for ombruk av komponenter fra eksisterende bygg, og har også som mål at nye komponenter som tilføres bygget, skal kunne brukes om igjen i flere generasjoner bygg.

# Vedlegg B

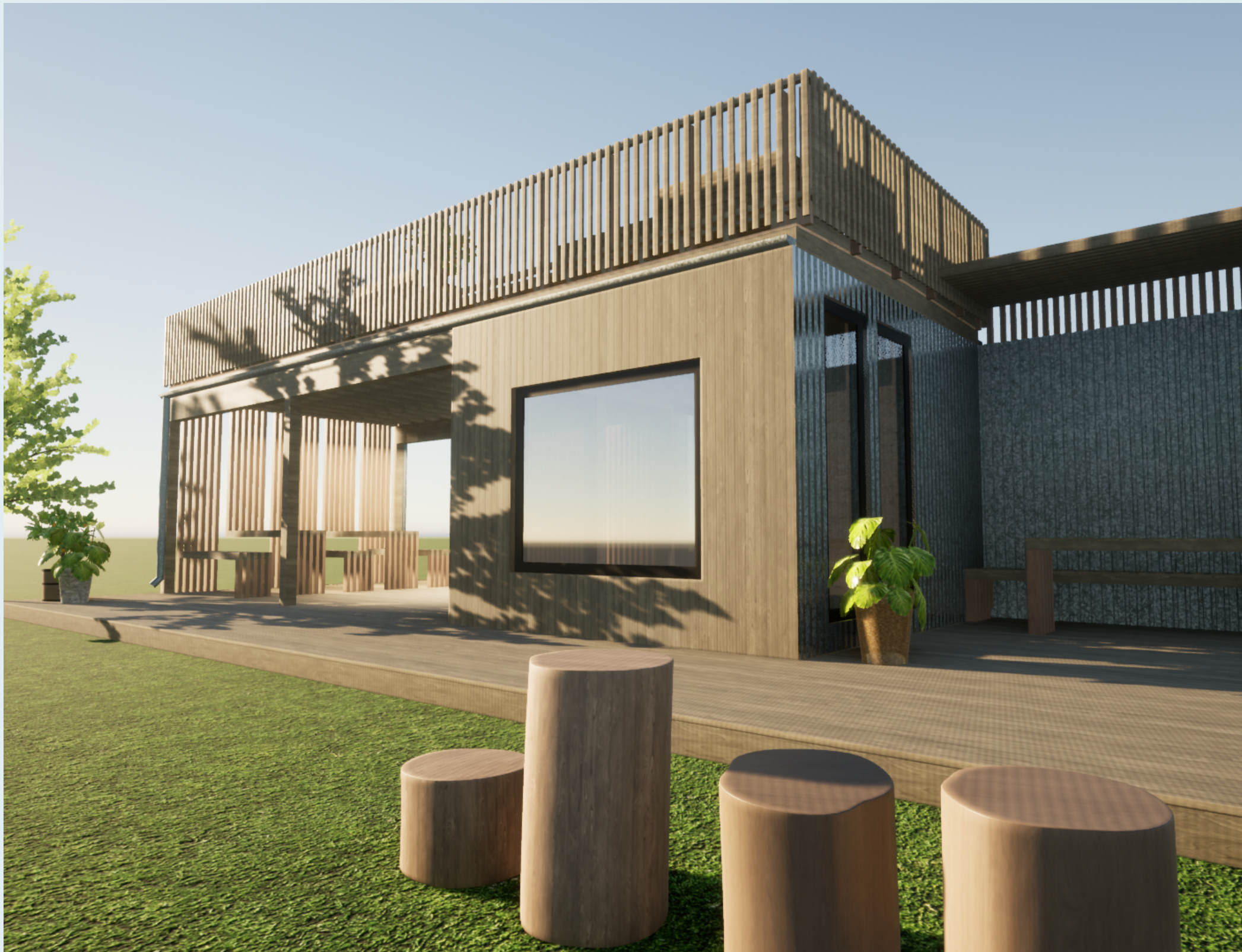
Plakat



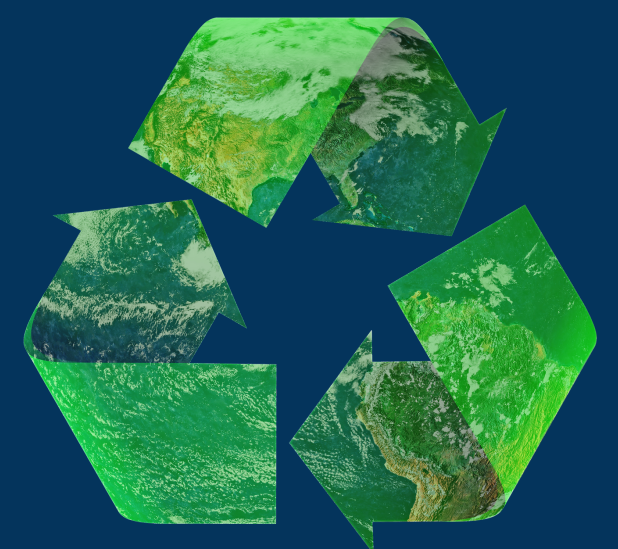
# Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

## Construction of a Student Meeting Point in an Environmental Perspective

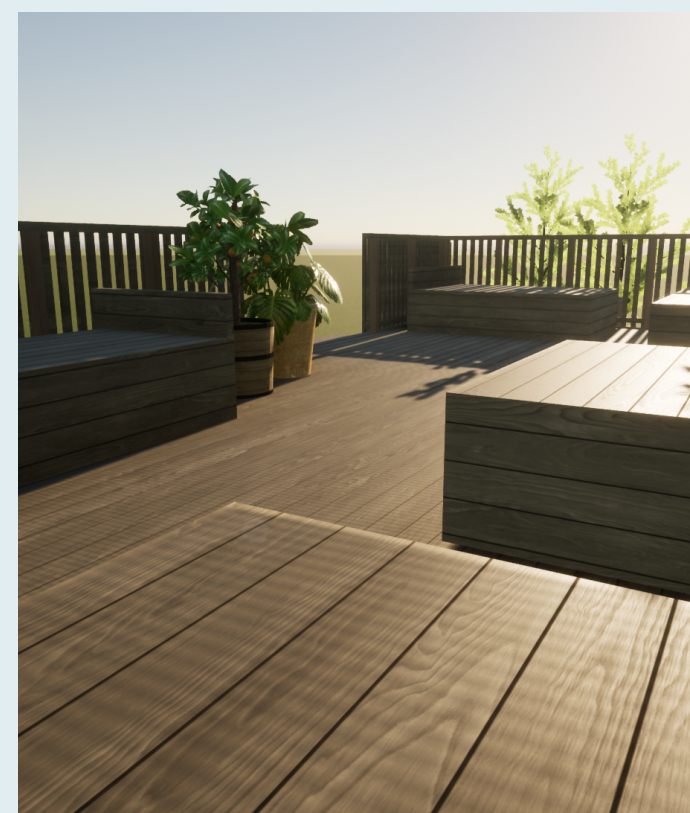
Av Andrea O. Vik Lauvstad, Madeleine Eriksen og Maja K. Dahl



- Studentmøtepunkt
- Konstruktive løsninger
- Utforming
- Dimensjonering
- Gjenbruk
- Materialvalg
- FutureButil Sirkulærbygg



Et prosjekt med ambisjon om å bidra til en mer klimavennlig tilnærming i byggebransjen.



Studentmøtepunktet i Nardoveien. Et prosjekt med fokus på ombruk, materialreduksjon og bærekraftige løsninger.

En ombrukbar, endringsdyktig og funksjonell konstruksjon.

Med FutureBuilts kriterier som ambisjonsnivå, har prosjekteringen resultert i en konstruksjon med lavt klimafotavtrykk

# Vedlegg C

Kontroll av statisk system

Lastberegninger

## Kontroll av statisk system for alternativ 2

For å kontrollere om det statiske systemet som er satt opp i Focus stemmer, gjøres det en enkel kontrollberegning for å se om opplagerkrefter stemmer overens for håndberegninger, 2D og 3D. Det tas høyde for en feilmargin på 5%.

$$l_{spenn} := 3.4 \text{ m} \quad l_{bredde} := 2 \text{ m} \quad \gamma_G := 1.35 \quad \gamma_Q := 1.5$$

Karakteristiske og dimensjonerte laster:

$$g_k := 0.49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad g_d := g_k \cdot l_{bredde} \cdot \gamma_G = 1.323 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_k := 3.36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad s_d := s_k \cdot l_{bredde} \cdot \gamma_Q = 10.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad p_d := p_k \cdot l_{bredde} \cdot \gamma_Q = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_d := g_d + s_d + p_d = 20.403 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Sammenligner modell i 2D mot håndregning

Beregning av oppleggskrefter ved bruk av tabell 3.5 (55):

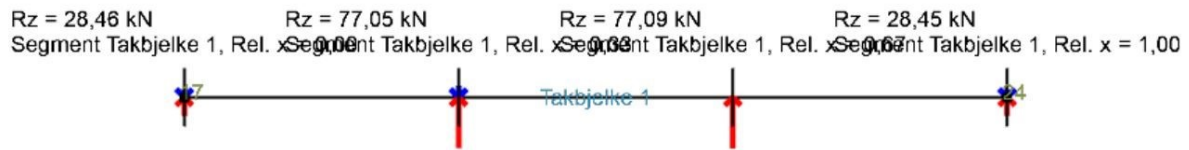
$$R_{1a} := q_d \cdot l_{spenn} \cdot 0.40 = 27.748 \text{ kN}$$

$$R_{1b} := q_d \cdot l_{spenn} \cdot 1.10 = 76.307 \text{ kN}$$

$$R_{1c} := q_d \cdot l_{spenn} \cdot 1.10 = 76.307 \text{ kN}$$

$$R_{1d} := q_d \cdot l_{spenn} \cdot 0.40 = 27.748 \text{ kN}$$

## Oppleggskrefter fra Focus for takbjelke 1:



$$R_{za} := 26.46 \text{ kN}$$

$$R_{zb} := 77.05 \text{ kN}$$

$$R_{zc} := 77.09 \text{ kN}$$

$$R_{zd} := 28.45 \text{ kN}$$

Sammenligner. Dette gir en feilmargin [prosent]:

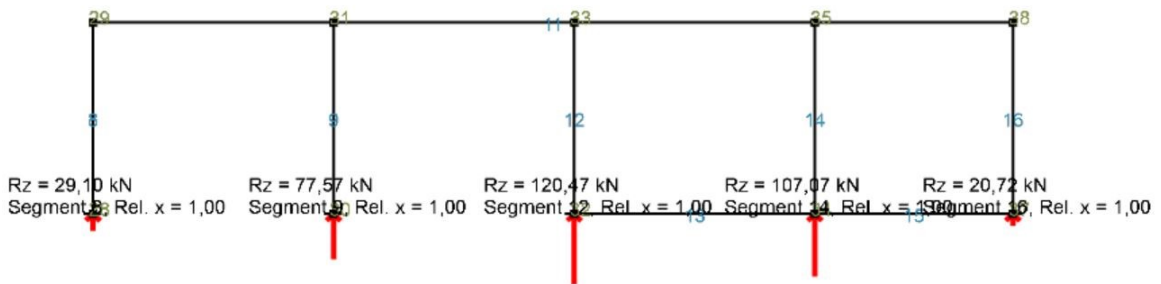
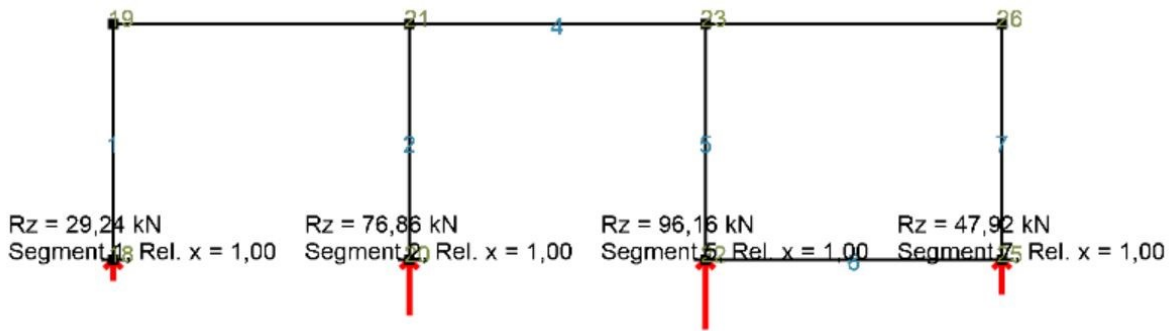
$$100 - \frac{R_{Ia}}{R_{za}} \cdot 100 = -4.868$$

$$100 - \frac{R_{Ib}}{R_{zb}} \cdot 100 = 0.964$$

$$100 - \frac{R_{Ic}}{R_{zc}} \cdot 100 = 1.015$$

$$100 - \frac{R_{Id}}{R_{zd}} \cdot 100 = 2.467$$

Sammenligner modell i 2D mot 3D for å kontrollere at systemene samsvarer.



$$R_{1a.2D} := 29.24 \text{ kN}$$

$$R_{2a.2D} := 29.10 \text{ kN}$$

$$R_{1b.2D} := 78.86 \text{ kN}$$

$$R_{2b.2D} := 77.57 \text{ kN}$$

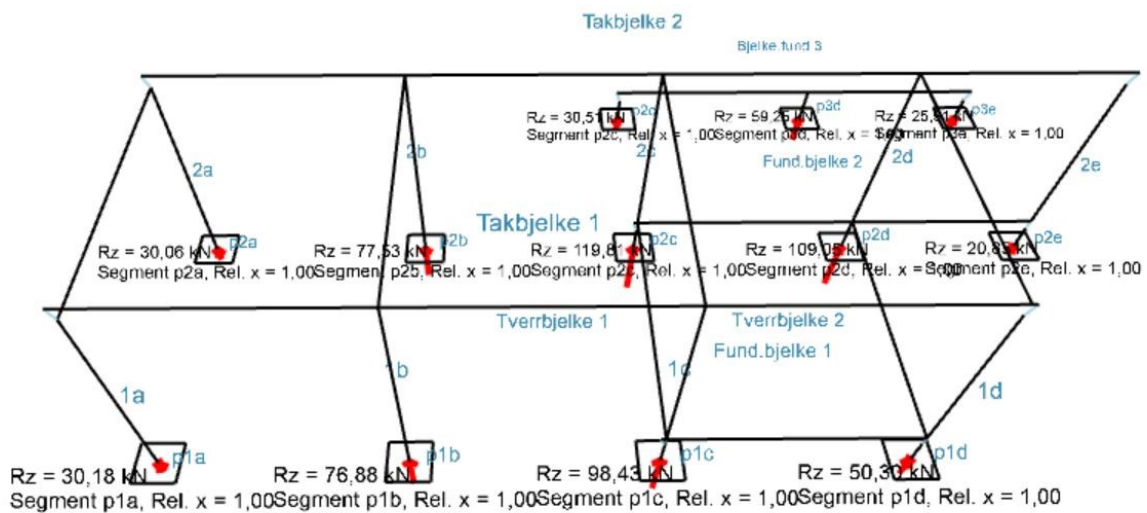
$$R_{1c.2D} := 96.16 \text{ kN}$$

$$R_{2c.2D} := 120.47 \text{ kN}$$

$$R_{1d.2D} := 47.92 \text{ kN}$$

$$R_{2d.2D} := 107.07 \text{ kN}$$

$$R_{2e.2D} := 20.72 \text{ kN}$$



$$R_{1a.3D} := 30.18 \text{ kN}$$

$$R_{2a.3D} := 30.06 \text{ kN}$$

$$R_{1b.3D} := 76.88 \text{ kN}$$

$$R_{2b.3D} := 77.53 \text{ kN}$$

$$R_{1c.3D} := 98.43 \text{ kN}$$

$$R_{2c.3D} := 119.81 \text{ kN}$$

$$R_{1d.3D} := 50.30 \text{ kN}$$

$$R_{2d.3D} := 109.05 \text{ kN}$$

$$R_{2e.3D} := 20.85 \text{ kN}$$

Dette gir en feilmargin [prosent]:

$$100 - \frac{R_{1a.3D}}{R_{1a.2D}} \cdot 100 = -3.215$$

$$100 - \frac{R_{2a.3D}}{R_{2a.2D}} \cdot 100 = -3.299$$

$$100 - \frac{R_{1b.3D}}{R_{1b.2D}} \cdot 100 = 2.511$$

$$100 - \frac{R_{2b.3D}}{R_{2b.2D}} \cdot 100 = 0.052$$

$$100 - \frac{R_{1c.3D}}{R_{1c.2D}} \cdot 100 = -2.361$$

$$100 - \frac{R_{2c.3D}}{R_{2c.2D}} \cdot 100 = 0.548$$

$$100 - \frac{R_{1d.3D}}{R_{1d.2D}} \cdot 100 = -4.967$$

$$100 - \frac{R_{2d.3D}}{R_{2d.2D}} \cdot 100 = -1.849$$

$$100 - \frac{R_{2e.3D}}{R_{2e.2D}} \cdot 100 = -0.627$$

## SNØLAST

I henhold til NS-EN 1991-1-3 (52) dersom ikke annet oppgis.

$$s_{k0} := 3.5 \frac{kN}{m^2}$$

Tabell NA.4.1

$$C_e := 1.2$$

Tabell 5.1

$$C_t := 1.0$$

NA.5.2(8)

$$\mu := 0.8$$

Tabell 5.2

$$s_k := s_{k0} \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu = 3.36 \frac{kN}{m^2}$$

(5.2)

## NYTTELAST

I henhold til NS-EN 1991-1-1 (20) dersom ikke annet oppgis.

$$p_k := 3 \frac{kN}{m^2}$$

Tabell NA.6.2

## VINDLAST

I henhold til NS-EN 1991-1-4 (53) dersom ikke annet oppgis.

Basisvindhastighet

$$V_{b0} := 26 \frac{m}{s}$$

Tabell N.A 4  
(901.1)

$$c_{season} := 1.0$$

$$c_{dir} := 1.0$$

$$V_b := c_{season} \cdot c_{dir} \cdot V_{b0} = 26 \frac{m}{s}$$

(4.1)

Stedvindhastighet - variasjon på grunn av høyde

$$z_0 := 0.3 \text{ m} \quad z_{min} := 8 \text{ m} \quad K_r := 0.22$$

Tabell NA.4.1

$$c_r := K_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) = 0.72$$

(4.4)

$$c_0 := 1.0$$

$$V_m := c_r \cdot c_0 \cdot V_b = 18.78 \frac{m}{s}$$

(4.3)

Vindturbulens

$$K_I := 1.0$$

$$\sigma_v := K_r \cdot V_b \cdot K_I = 5.72 \frac{m}{s} \quad (4.6)$$

$$I_v := \frac{\sigma_v}{V_m} = 0.3 \quad (4.7)$$

Vindkasthastighetstrykk

$$\rho := 1.25 \frac{kg}{m^3} \quad K_p := 3.5$$

$$q_p := (1 + 2 \cdot K_p \cdot I_v) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot (V_m)^2 = 690.45 \frac{N}{m^2} \quad (NA.4.8)$$

## Vindpåvirkninger

Vindkrefter

$$c_s := 1 \quad c_d := 1 \quad c_f := -1.3$$

$$A_{ref} := 10.2 \, m \cdot 4 \, m = 40.8 \, m^2$$

$$F_w := c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = -36.62 \, kN \quad (5.3)$$

## Vindtrykk på frittstående tak

$$c_{pA} := -1.5$$

$$c_{pB} := -1.8$$

$$c_{pC} := -2.2$$

$$W_{eA} := q_p \cdot c_{pA} = -1.04 \frac{kN}{m^2} \quad (5.1)$$

$$W_{eB} := q_p \cdot c_{pB} = -1.24 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{eC} := q_p \cdot c_{pC} = -1.52 \frac{kN}{m^2}$$



## Flate tak

Utvendig vindtrykk på flatt tak over rom

$$c_{F.pe.10} := -1.8$$

$$c_{G.pe.10} := -1.2$$

$$c_{H.pe.10} := -0.7$$

$$c_{Ipos.pe.10} := 0.2$$

$$c_{Ineg.pe.10} := -0.2$$

Tabell 7.2

$$W_{eF} := q_p \cdot c_{F.pe.10} = -1.24 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{eG} := q_p \cdot c_{G.pe.10} = -0.83 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{eH} := q_p \cdot c_{H.pe.10} = -0.48 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{eIpos} := q_p \cdot c_{Ipos.pe.10} = 0.14 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{eIneg} := q_p \cdot c_{Ineg.pe.10} = -0.14 \frac{kN}{m^2}$$

Innvendig vindtrykk på flatt tak over rom

$$c_{F.pi.10} := -1.8 \cdot 0.75 = -1.35$$

$$c_{G.pi.10} := -1.2 \cdot 0.75 = -0.9$$

$$c_{H.pi.10} := -0.7 \cdot 0.75 = -0.53$$

$$c_{Ipos.pi.10} := 0.2 \cdot 0.75 = 0.15$$

$$c_{Ineg.pi.10} := -0.2 \cdot 0.75 = -0.15$$

$$W_{iF} := q_p \cdot c_{F.pi.10} = -0.93 \frac{kN}{m^2}$$

(5.2)

$$W_{iG} := q_p \cdot c_{G.pi.10} = -0.62 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{iH} := q_p \cdot c_{H.pi.10} = -0.36 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{iIpos} := q_p \cdot c_{Ipos.pi.10} = 0.1 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{ilneg} := q_p \cdot c_{Ineg,pi.10} = -0.1 \frac{kN}{m^2}$$

Samlet vindtrykk på flatt tak

$$W_f := W_{eF} - W_{iF} = -0.31 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_g := W_{eG} + W_{iG} = -1.45 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_h := W_{eH} + W_{iH} = -0.85 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{ipos} := W_{elpos} + W_{ilpos} = 0.24 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{ineg} := W_{elneg} + W_{ilneg} = -0.24 \frac{kN}{m^2}$$

**Vindtrykk på tak omregnet til punktlaster på takbjelker for alternativ 2:**

$$e_1 := 3860 \text{ mm}$$

$$e_2 := 2550 \text{ mm}$$

**Vindtrykk for soner og plassering**

$$W_F := W_f \cdot \frac{e_1}{4} = -0.3 \frac{kN}{m}$$

$$W_G := W_g \cdot \frac{e_1}{4} = -1.4 \frac{kN}{m}$$

$$W_H := W_h \cdot \frac{e_1}{2} = -1.63 \frac{kN}{m}$$

$$W_{IN} := W_{ineg} \cdot \frac{e_1}{2} = -0.47 \frac{kN}{m}$$

$$P_f := \frac{e_2}{10} = 0.26 \text{ m} \quad P_g := \frac{e_2}{10} = 0.26 \text{ m}$$

$$P_h := \frac{e_2}{2} - \frac{e_2}{10} = 1.02 \text{ m} \quad P_i := \frac{e_2}{2} = 1.28 \text{ m}$$

## Vindtrykk på vertikale vegger

$$c_{pe.10A} := -1.2 \quad c_{pe.10B} := -0.8 \quad c_{pe.10C} := -0.5 \quad \text{Tabell 7.1}$$

$$c_{pe.10D} := 0.8 \quad c_{pe.10E} := -0.3$$

$$c_{pi.10A} := 0.75 \cdot c_{pe.10A} = -0.9 \quad c_{pi.10B} := 0.75 \cdot c_{pe.10B} = -0.6 \quad 7.1$$

$$c_{pi.10C} := 0.75 \cdot c_{pe.10C} = -0.38 \quad c_{pi.10D} := 0.75 \cdot c_{pe.10D} = 0.6$$

$$c_{pi.10E} := 0.75 \cdot c_{pe.10E} = -0.23$$

$$W_{e.veggA} := q_p \cdot c_{pe.10A} = -0.83 \frac{kN}{m^2} \quad (5.1)$$

$$W_{e.veggB} := q_p \cdot c_{pe.10B} = -0.55 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{e.veggC} := q_p \cdot c_{pe.10C} = -0.35 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{e.veggD} := q_p \cdot c_{pe.10D} = 0.55 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{e.veggE} := q_p \cdot c_{pe.10E} = -0.21 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{i.veggA} := q_p \cdot c_{pi.10A} = -0.62 \frac{kN}{m^2} \quad (5.2)$$

$$W_{i.veggB} := q_p \cdot c_{pi.10B} = -0.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{i.veggC} := q_p \cdot c_{pi.10C} = -0.26 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{i.veggD} := q_p \cdot c_{pi.10D} = 0.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{i.veggE} := q_p \cdot c_{pi.10E} = -0.16 \frac{kN}{m^2}$$

Nettotrykk, verste kombinasjon av strekk og trykk:

$$W_{veggA} := W_{e.veggA} + W_{i.veggA} = -1.45 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{veggB} := W_{e.veggB} + W_{i.veggB} = -0.97 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{veggC} := W_{e.veggC} + W_{i.veggC} = -0.6 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{veggD} := W_{e.veggD} + W_{i.veggD} = 0.97 \frac{kN}{m^2}$$

$$W_{veggE} := W_{e.veggE} + W_{i.veggE} = -0.36 \frac{kN}{m^2}$$

Dimensjonerende last fra vegg fordelt på tilhørende søyler:

$$e := 4 \text{ m} \quad d := 3.4 \text{ m}$$

$$\text{Last på søyle 1c og 2c fra D:} \quad q_{yD} := W_{veggD} \cdot \frac{e}{2} = 1.93 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Last på søyle 1c og 2c fra A:} \quad q_{zA} := W_{veggA} \cdot \frac{e}{5} = -1.16 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Last på søyle 1c og 2c fra B:} \quad q_{zB} := W_{veggB} \cdot \left( \frac{d}{2} - \frac{e}{5} \right) = -0.87 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Last på søyle 1d og 2d fra B:} \quad q_{zB} := W_{veggA} \cdot \frac{d}{2} = -2.46 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Last på søyle 1d og 2d fra E:} \quad q_{yE} := W_{veggE} \cdot \frac{e}{2} = -0.72 \frac{kN}{m}$$

## Egenlaster og materialmengder for alternativ 1

Komponentnummer Beskrivelse av komponent	Totalvolum materiale [m <sup>3</sup> ]	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]	Egenlast [kN]	Areal [m <sup>2</sup> ]	Egenlast [kN/m <sup>2</sup> ]	Egenlast [kN/m]
<b>100</b> Terrassedekke, fast inventar i tak-konstruksjon, 28 mm x 95 mm, c/c100	1,2	6,0	7,20	40,8	0,17	
<b>101</b> Tilfarere, utlekting, spilekledning, rekkverk	0,9	4,0	3,60	40,8	0,09	
<b>102</b> Asfalttakbelegg, t = 4,2 mm			2,25	45	0,05	
<b>103</b> Fallisolasjon, EPS	1,04	0,3	0,31	40,8	0,01	
<b>104</b> Hulldekke HD265			155,00	40,8	3,80	
<b>105</b> Vinkelstål, rustfritt. Antar t=12mm, B=400 mm	0,05	78,5	3,93	40,8	0,09	
<b>106</b> Takbjelker, GL32c, 140 mm x 360 mm	1,29	4,0	5,71	40,8	0,14	
<b>107</b> Tverrbjelker, GL32c, 90 mm x 90 mm	0,15	4,0	0,60	40,8	0,01	
<b>108</b> Rustfritt stål til opplegg og forbindelser Volum er anslag.	0,008	78,5	0,62	40,8	0,016	
<b>109</b> Bærende søyler, GL32c. H = 2,7 m 8 stk. 140 mm x 135 mm 2 stk. 140 mm x 180 mm	0,54	4,0	2,16	40,8	0,05	
<b>110</b> Vegg 1 i gjenbrukshus, L=4m <b>110-1</b> Antar C24 148x48 mm stendere <b>110-2</b> 2-lags vindu: 720x2360 og 1600x2000 <b>110-3</b> Kledning av trespiler	Tre: 0,17 Kledning:0,21	4,2 4,2	0,71 0,98 1,34 3,03	Glass: 4,9	0,2 0,15	0,22 0,35 0,34 0,91
<b>111</b> Vegg 2 i gjenbrukshus, L=4m <b>111-1</b> Antar C24 148x48 mm stendere <b>111-2</b> 1 stk. 2-lags vindu: 720x2360 mm <b>110-1</b> Kledning i korrugert stål, t=1 mm	Tre: 0,17	4,2	0,71 0,34 1,49 2,54	Glass: 1,7 Kledning:9,9	0,2 0,15	0,22 0,09 0,37 0,68
<b>112</b> Vegg 3 i gjenbrukshus, L=2,55m <b>112-1</b> Antar C24 148x48 mm stendere <b>112-2</b> 1 stk. 2-lags vindu: 1600x2000 mm <b>112-3</b> Kledning i korrugert stål, t=1 mm	Tre: 0,11	4,2	0,46 0,64 0,63 1,67	Glass: 3,2 Kledning:4,2	0,2 0,15	0,14 0,25 0,25 0,64
<b>113</b> Terrassebord gjenbrukshus, antar C24 28 mm x 95 mm, c/c100 40 stk terrassebord med L=2,55m	0,27	4,2	1,13	10,2	0,16	
<b>114</b> Terrassebjelker i gjenbrukshus, GL32c 36 mm x 300 mm, c/c 600 4 stk. terrassebjelker med L=4m	0,17	4,0	0,68	10,2	0,08	
<b>115</b> Øvrig kledning, korrugert stål, t=1 mm			1,19	7,9	0,15	
<b>116</b> Terrassebord dekke i trapp, C24 28 mm x 95 mm	1,1	4,2	4,62	19,2	0,24	
<b>117</b> Avstiving underkant trapp	0,5	4,2	1,98	19,2	0,10	
<b>118</b> Stenderverk trapp, C24	1,87	4,2	7,87	19,2	0,41	
<b>119</b> Sperrer i trapp, GL32c 48x280 mm, c/c 600. L=3,96	0,63	4,0	2,52	19,2	0,13	
<b>120</b> Fundamentbjelker, GL32c 140 mm x 315 mm	1,04	4,0				
<b>121</b> Søylefundament gr. 1: 11 stk. armert B25 Søyledimensjon 200x200x263 mm <sup>3</sup> Såledimensjon 1000x1000x185 mm <sup>3</sup>	2,15	25				
<b>122</b> Søylefundament gr. 2: 3 stk. armert B25 Søyledimensjon 200x200x298 mm <sup>3</sup> Såledimensjon 1070x1070x200 mm <sup>3</sup>	0,72	25				
<b>123</b> Markisolasjon, EPS, t = 60 mm	8	0,3				
<b>124</b> Terrassebord, dekke på mark, malmfuru	2,4	6,0	10,08	104		
<b>125</b> Terrassebjelker, dekke på mark, C24	8,3	4,2	8,3	104		
<b>126</b> Tilfarere, dekke på mark, antar C24	3,1	4,2	13,02	104		

## Egenlaster og materialmengder for alternativ 2

Komponentnummer Beskrivelse av komponent	Totalvolum materiale [m <sup>3</sup> ]	Tyngdetetthet [kN/m <sup>3</sup> ]	Egenlast [kN]	Fordelt på areal [m <sup>2</sup> ]	Egenlast [kN/m <sup>2</sup> ]	Egenlast [kN/m]
200 Terrassedekke, fast inventar i tak-konstruksjon, 28 mm x 95 mm, c/c100	1,2	6,0	7,2	40,8	0,17	
201 Tilfarere c/c 600. Antar C24	0,08	4,2	0,34	40,8	0,01	
202 Rekkverk, utlektning, spileledning. Antar C24	0,68	4,2	2,86	40,8	0,07	
203 Asfalttakbelegg, t = 4,2 mm			2,25	45	0,05	
204 Undertak, OSB, antar t = 18 mm			2,05	40,8	0,05	
205 Bjelkelag, C24, 48 mm x 223 mm, c/c400	1,16	4,2	4,87	40,8	0,14	
206 Takbjelker, GL32c, 140 mm x 360 mm	1,03	4,0	4,12	40,8	1,0	
207 Tverrbjelker, GL32c, 90 mm x 90 mm	0,12	4,0	0,48	40,8	0,01	
208 Rustfritt stål til opplegg og forbindelser Volum er anslag.	0,007	78,5	0,24	40,8	0,014	
209 Bærende søyler, GL32c. H=2,7 m 6 stk. 140 mm x 135 mm 2 stk. 140 mm x 180 mm	0,44	4,0	1,93	40,8	0,05	
210 Vegg 1 i gjenbrukshus, L=4m	Tre: 0,17	4,2	0,71			0,22
210-1 Antar C24 148x48 mm stendere			0,98	Glass: 4,9	0,2	0,25
210-2 2-lags vindu: 720x2360 og 1600x2000	Kledning: 0,32	4,2	1,34			0,44
210-3 Kledning av trespiler			3,03			0,91
211 Vegg 2 i gjenbrukshus, L=4m	Tre: 0,17	4,2	0,71			0,22
211-1 Antar C24 148x48 mm stendere			0,34	Glass: 1,7	0,2	0,09
211-2 1 stk. 2-lags vindu: 720x2360 mm			1,49	Kledning: 9,9	0,15	0,37
211-3 Kledning i korrugert stål, t=1 mm			2,54			0,68
212 Vegg 3 i gjenbrukshus, L=3,4m	Tre: 0,14	6,0	0,59			0,18
212-1 Antar C24 148x48 mm stendere			0,64	Glass: 3,2	0,2	0,19
212-2 1 stk. 2-lags vindu: 1600x2000 mm			1,01	Kledning: 6,7	0,15	0,30
212-3 Kledning i korrugert stål, t=1 mm			2,24			0,67
213 Terrassebord gjenbrukshus, malmfuru 28 mm x 95 mm, cc/100	0,36	6,0	2,16	13,6	0,16	
214 Bjelkelag i gjenbrukshus, GL32c 36 mm x 300 mm, cc 600	0,22	4,0	0,88	13,6	0,07	
215 Kledning, korrugert stål, t=1 mm			1,19	7,9	0,15	
216 Terrassebord dekke i trapp, malmfuru 28 mm x 95 mm	1,1	6,0	4,62	19,2	0,24	
217 Avstiving underkant trapp. Antar C24	0,5	4,2	1,98	19,2	0,10	
218 Stenderverk trapp, C24	1,87	4,2	7,87	19,2	0,41	
219 Sperrer i trapp, GL32c 48x280 mm, c/c 600. L=3,96	0,63	4,0	2,52	19,2	0,13	
220 Fundamentbjelker, GL32c 140 mm x 315 mm	1,04	4,0				
221 Søyelfundament gruppe 1: 3 stk. armert B25 Søyledimensjon 200x200x273 mm <sup>3</sup> Såledimensjon 1265x1265x175 mm <sup>3</sup>	0,87	25				
222 Søyelfundament gruppe 2: 7 stk. armert B25 Søyledimensjon 200x200x298 mm <sup>3</sup> Såledimensjon 965x965x150mm <sup>3</sup>	1,06	25				
223 Søyelfundament gruppe 2.2: 2 stk armert B25 Søyledimensjon 200x200x970 mm <sup>3</sup> Såledimensjon 965x965x150 mm <sup>3</sup>	0,36	25				
224 Markisolasjon, EPS, t = 60 mm	7,8	0,3				
225 Terrassebord, dekke på mark, malmfuru	2,4	6,0	14,4	104		
226 Terrassebjelker, dekke på mark, C24	8,3	4,2	8,3	104		
227 Tilfarere, dekke på mark, antar C24	3,1	4,2	13,02	104		

## NAVNGIVING AV EGENLASTER

### Karakteristiske egenlaster for alternativ 1

*Nummerering i henhold til tabell for egenlaster og materialmengder for alternativ 1.*

Kar. egenlast på takbjelker:	$g_{k11}' := 4.21 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 100-106)
Kar. egenlast på søyler:	$g_{k12}' := 4.36 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 100-108)
Kar. egenlast på fund.bjelker fra bærekonstruksjon:	$g_{k13}' := 4.41 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 100-109)
fra vegg 1:	$g_{k14}' := 0.91 \frac{kN}{m}$	(Komponent 110)
fra vegg 2:	$g_{k15}' := 0.68 \frac{kN}{m}$	(Komponent 111)
fra vegg 3:	$g_{k16}' := 0.64 \frac{kN}{m}$	(Komponent 112)
fra dekke i hus:	$g_{k17}' := 0.24 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 113-114)
fra amfitrapp:	$g_{k18}' := 0.60 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 116-118)

### Karakteristisk egenlast på takbjelker

Kar. egenlast fra dekke fordeler seg likt mellom de to takbjelkene 1af og 2af.

Flatelast fra dekke:  $g_{k11}' = 4.21 \frac{kN}{m^2}$  Lastbredde:  $L := 2 \text{ m}$

Last på hver av takbjelkene:  $g_{k11} := g_{k11}' \cdot L = 8.42 \frac{kN}{m}$

### Karakteristisk egenlast på fund.bjelker:

#### - fra vegg 1

Kar. egenlast fra vegg 1 i gjenbrukshuset virker som linjelast på tverrbjelke fra 1d til 2d, og fordeles som punktlaster ned i søylefundament 1d og 2d. Gir også moment.

$$\begin{aligned}\text{Linjelast fra vegg 1: } g_{k14'} &= 0.91 \frac{kN}{m} & L_{v1} &:= 4 \text{ m} \\ g_{k14} &:= g_{k14'} \cdot \frac{L_{v1}}{2} = 1.82 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### - fra vegg 2

Kar. egenlast fra vegg 2 i gjenbrukshuset virker som punktlaster på fund.bjelker i pkt. 1e og 2e

$$\begin{aligned}\text{Linjelast fra vegg 2: } g_{k15'} &= 0.68 \frac{kN}{m} & L_{v2} &:= 4 \text{ m} \\ g_{k15} &:= g_{k15'} \cdot \frac{L_{v2}}{2} = 1.36 \text{ kN}\end{aligned}$$

#### - fra vegg 3

Kar. egenlast fra vegg 3 i gjenbrukshuset virker som linjelast på fund.bjelke fra 2d til 2e.

$$\text{Linjelast fra vegg 3: } g_{k16'} = 0.64 \frac{kN}{m}$$

#### - fra dekke i gjenbrukshus

Kar. egenlast fra dekke i førsteetasje fordeler seg som linjelast på hver av fundamentbjelkene, fra 1d til 1e og fra 2d til 2e. Lastbredde 2m.

$$\begin{aligned}\text{Flatelast fra dekket: } g_{k17'} &= 0.24 \frac{kN}{m^2} & \text{Lastbredde: } L &:= 2 \text{ m} \\ g_{k17} &:= g_{k17'} \cdot L = 0.48 \frac{kN}{m}\end{aligned}$$

#### - fra amfitrapp

Kar. egenlast fra amfitrappen fordeles som en linjelast, likt mellom fundamentbjelke 3df og stenderene fra 2d til 2f

$$\begin{aligned}\text{Last fra amfitrapp: } g_{k18'} &= 0.6 \frac{kN}{m^2} & B_{trapp} &:= 3.2 \text{ m} \\ g_{k18} &:= g_{k18'} \cdot \frac{B_{trapp}}{2} = 0.96 \frac{kN}{m}\end{aligned}$$



## Karakteristiske egenlaster for alternativ 2

Nummerering i henhold til tabell for egenlaster og materialmengder for alternativ 2.

Kar. egenlast på takbjelker:	$g_{k21'} := 0.490 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 200-205)
Kar. egenlast på søyler:	$g_{k22'} := 0.590 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 200-207)
Kar. egenlast på fund.bjelker fra bærekonstruksjon:	$g_{k23'} := 0.654 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 200-209)
fra vegg 1:	$g_{k24'} := 0.91 \frac{kN}{m}$	(Komponent 210)
fra vegg 2:	$g_{k25'} := 0.68 \frac{kN}{m}$	(Komponent 211)
fra vegg 3:	$g_{k26'} := 0.67 \frac{kN}{m}$	(Komponent 212)
fra dekke i hus:	$g_{k27'} := 0.23 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 213-214)
fra amfitrapp:	$g_{k28'} := 0.61 \frac{kN}{m^2}$	(Komponent 216-219)

### Karakteristisk egenlast på takbjelker

Kar. egenlast fra dekke fordeler seg likt mellom de to takbjelkene 1ae og 2ae.

$$\text{Flatelast fra dekke: } g_{k21'} = 0.49 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Lastbredde: } L := 2 \text{ m}$$

$$\text{Last på hver av takbjelkene: } g_{k21} := g_{k21'} \cdot L = 0.98 \frac{kN}{m}$$

### Karakteristisk egenlast på fundamentbjelker

#### - fra vegg 1

Kar. egenlast fra vegg 1 i gjenbrukshuset virker som linjelast på tverrbjelke fra 1c til 2c, og fordeles som punktlaster ned i søylefundament 1d og 2d. Gir også moment.

$$\text{Linjelast fra vegg 1: } g_{k24'} = 0.91 \frac{kN}{m} \quad L_{v1} := 4 \text{ m}$$

$$g_{k24} := g_{k24'} \cdot \frac{L_{v1}}{2} = 1.82 \text{ kN}$$

- fra vegg 2

Kar. egenlast fra vegg 2 i gjenbrukshuset virker som punktlaster på fund.bjelker i pkt. 1d og 2d

$$\text{Linjelast fra vegg 2: } g_{k25'} = 0.68 \frac{kN}{m} \quad L_{v2} := 4 \text{ m}$$

$$g_{k25} := g_{k25'} \cdot \frac{L_{v2}}{2} = 1.36 \text{ kN}$$

- fra vegg 3

Kar. egenlast fra vegg 3 i gjenbrukshuset virker som linjelast på fund.bjelke fra 1c til 1d.

$$\text{Linjelast fra vegg 3: } g_{k26'} = 0.67 \frac{kN}{m}$$

- fra dekke i gjenbrukshus

Kar. egenlast fra dekke i førsteetasje fordeler seg som linjelast på hver av fundamentbjelkene, fra 1d til 1e og fra 2d til 2e. Lastbredde 2m.

$$\text{Flatelast fra dekket: } g_{k27'} = 0.23 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Lastbredde: } L := 2 \text{ m}$$

$$g_{k27} := g_{k27'} \cdot L = 0.46 \frac{kN}{m}$$

- fra amfitrapp

Kar. egenlast fra amfitrappen fordeles som en linjelast, likt mellom fundamentbjelke 3ce og i stenderene fra 2c til 2e

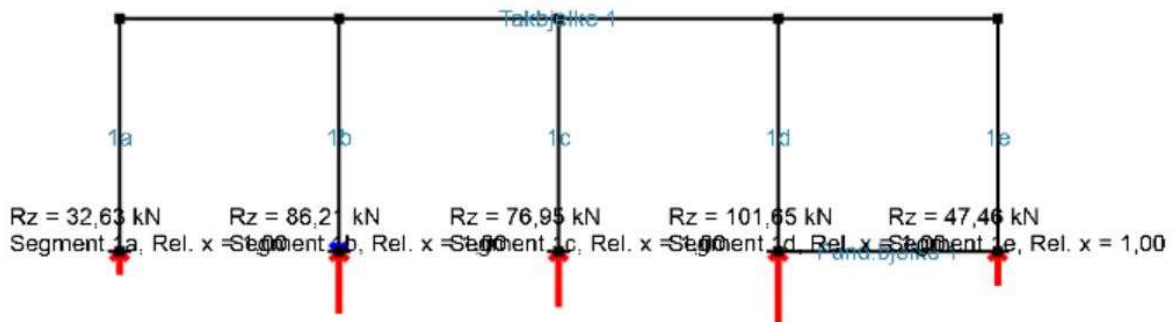
$$\text{Last fra amfitrapp: } g_{k28'} = 0.61 \frac{kN}{m^2} \quad B_{trapp} := 3.2 \text{ m}$$

$$g_{k28} := g_{k28'} \cdot \frac{B_{trapp}}{2} = 0.98 \frac{kN}{m}$$

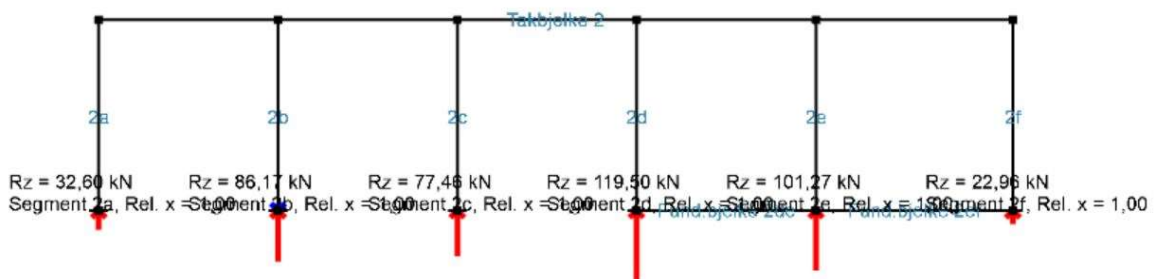
# Vedlegg D

Beregningsrapport: Alternativ 1

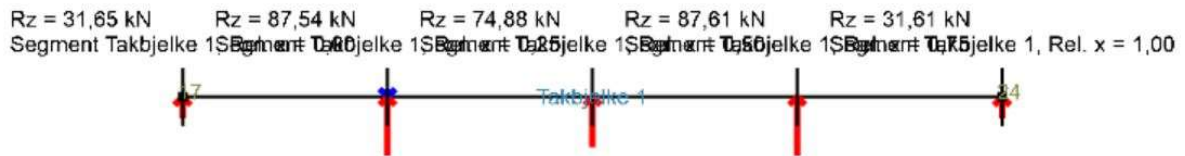
# Focus konstruksjon for alternativ 1



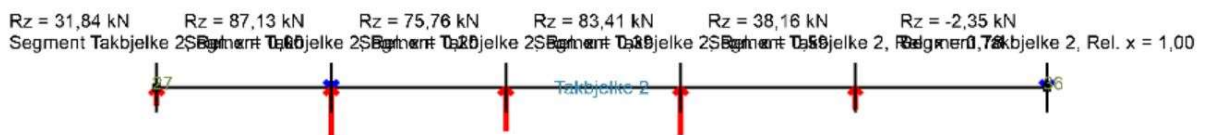
Figur 1 Opplagerkrefter i 2D



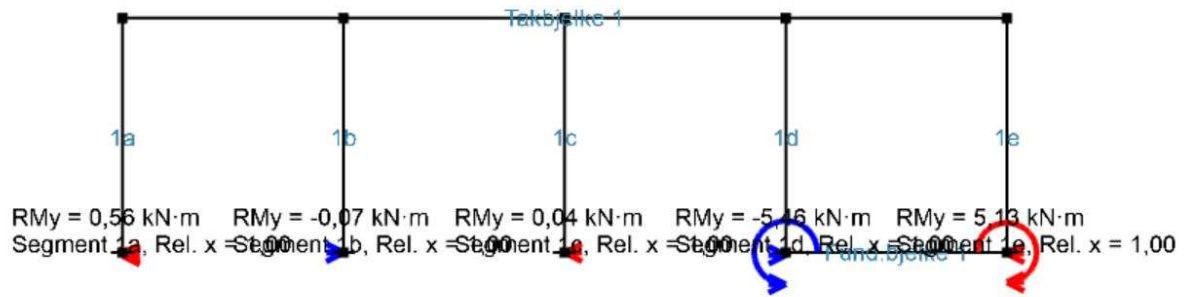
Figur 2 Opplagerkrefter i 2D



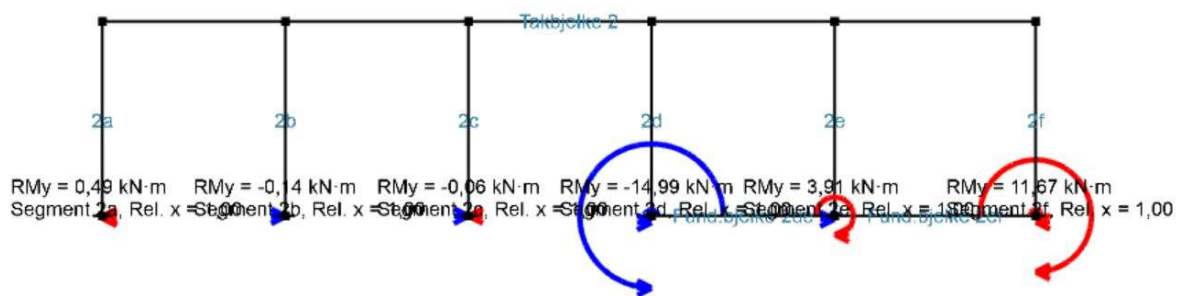
Figur 3 Opplagerkrefter for takbjelker i 2D



Figur 4 Opplagerkrefter for takbjelker i 2D

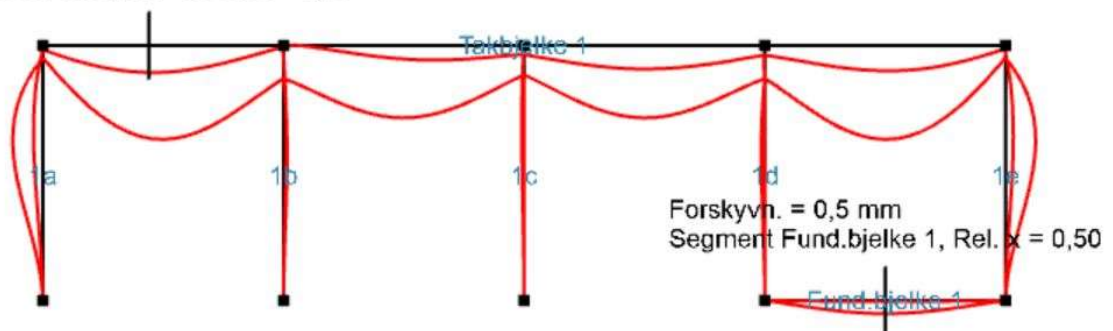


Figur 5 Moment i fundamenter i 2D



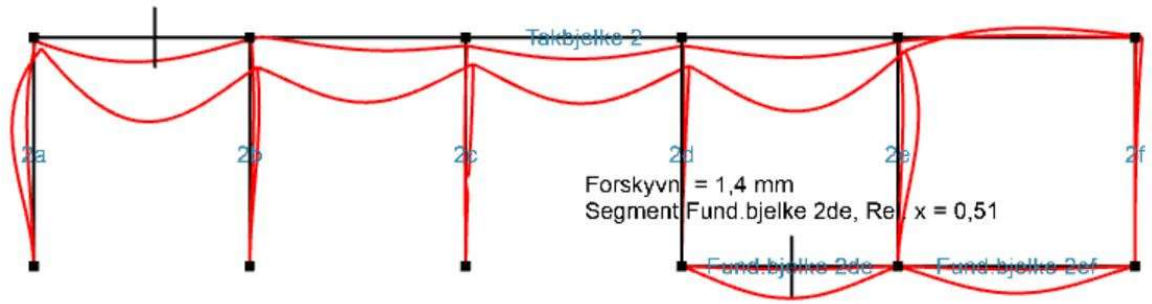
Figur 6 Moment for fundamenter i 2D

Forskyvn. = 3,7 mm  
 Segment Takkbjelke 1, Rel. x = 0,11

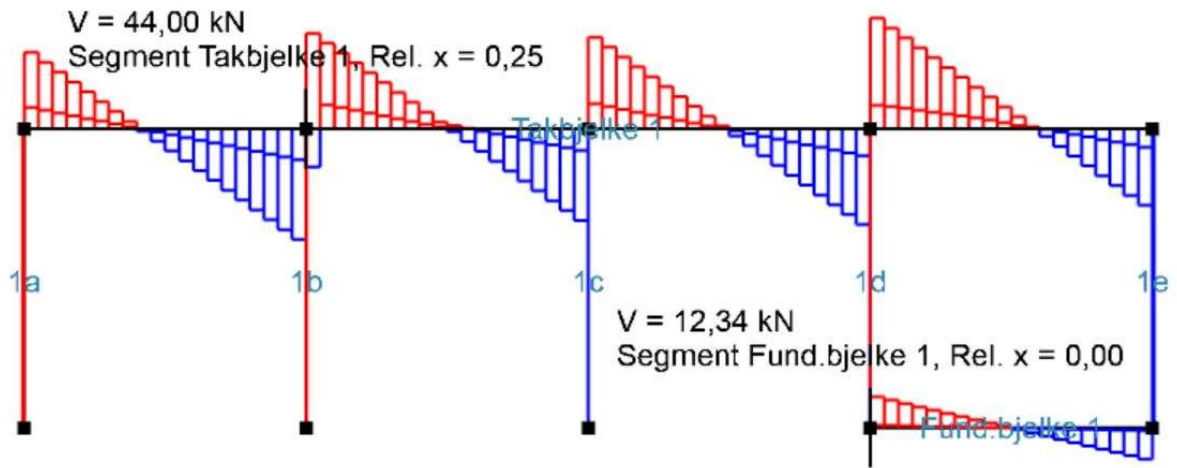


Figur 7 Forskyvning i 2D

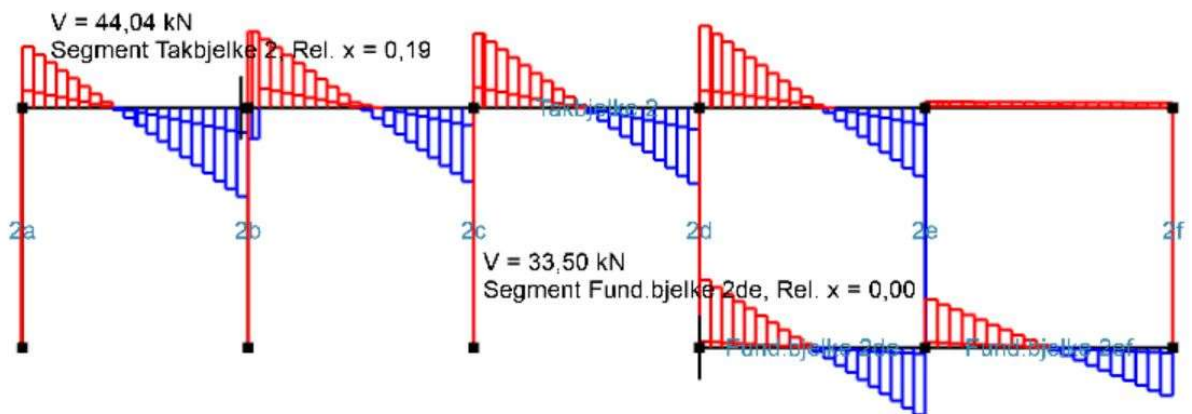
Forskyvn. = 3,7 mm  
 Segment Takbjelke 2, Rel. x = 0,11



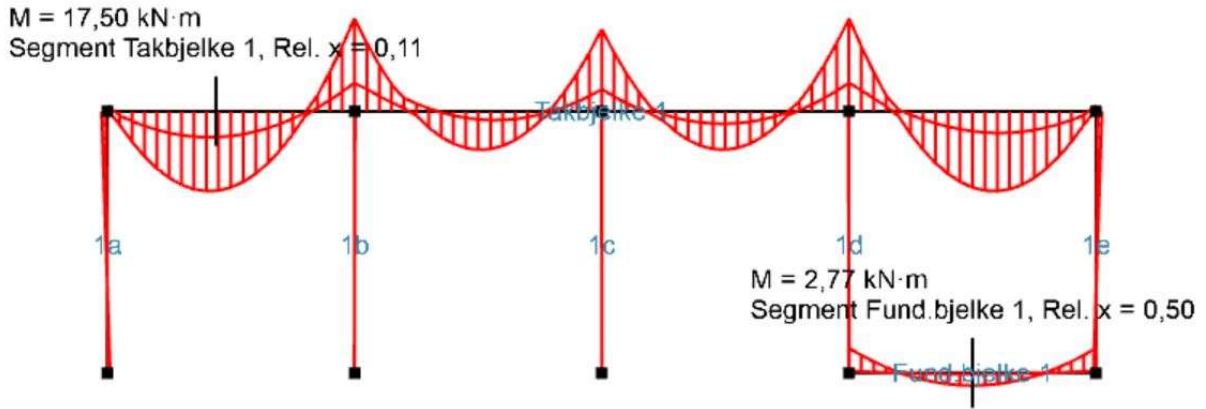
Figur 8 Forskyvning i 2D



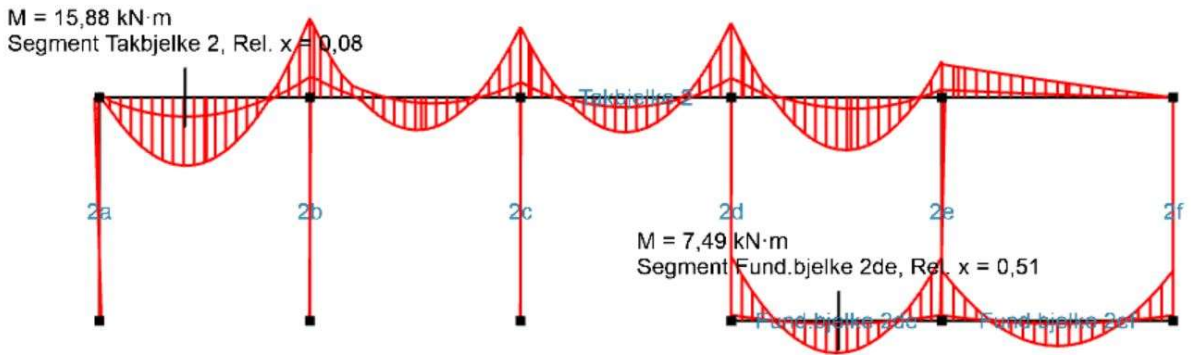
Figur 9 Skjærtdiagram i 2D



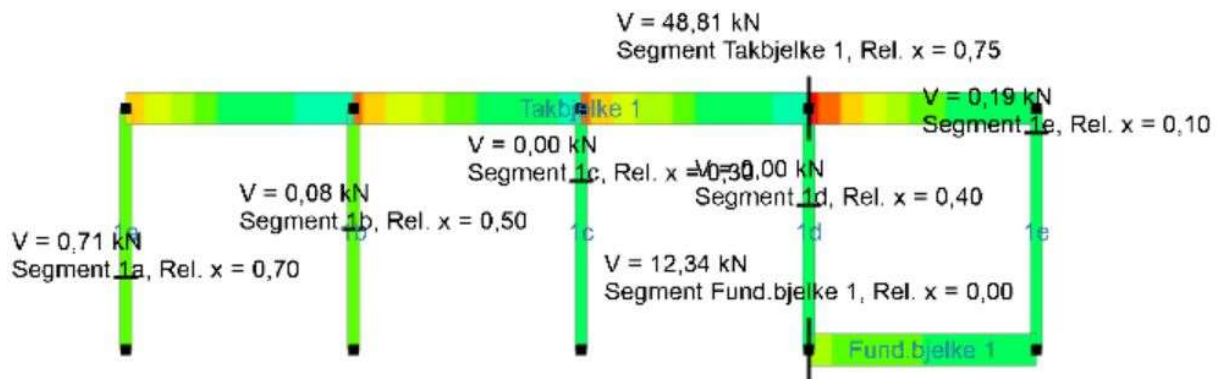
Figur 10 Skjærtdiagram i 2D



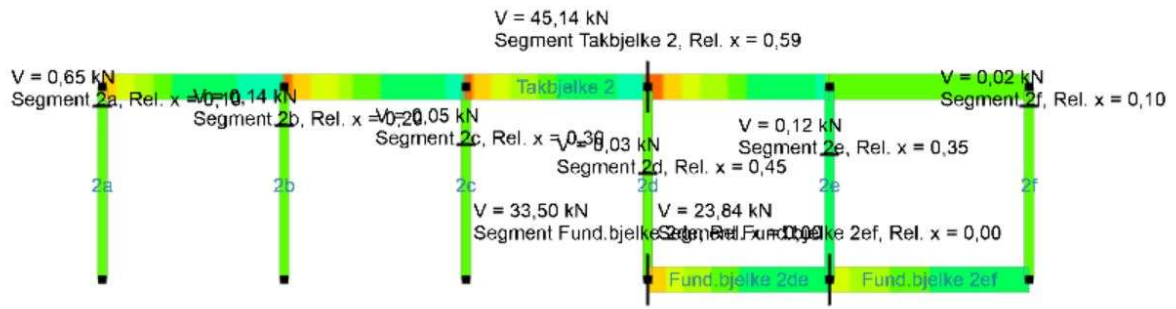
Figur 11 Momentdiagram i 2D



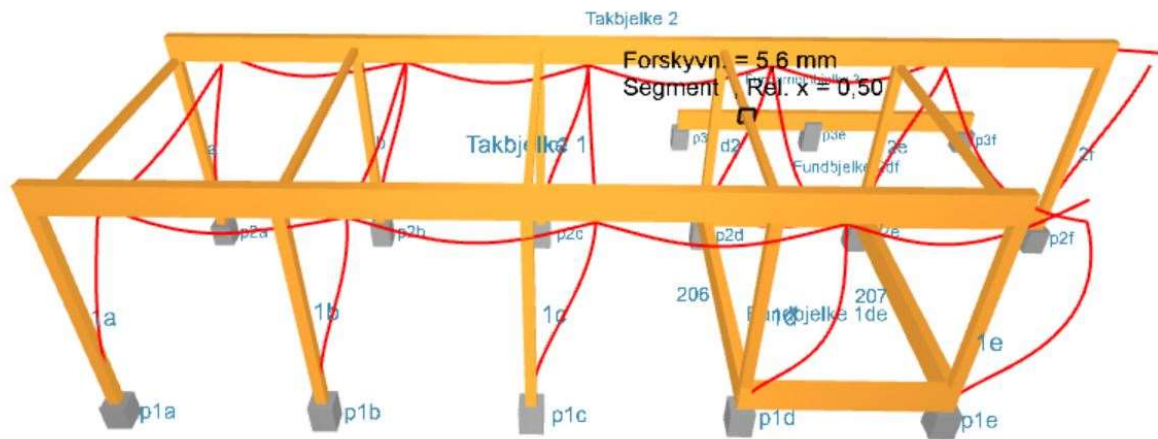
Figur 12 Momentdiagram i 2D



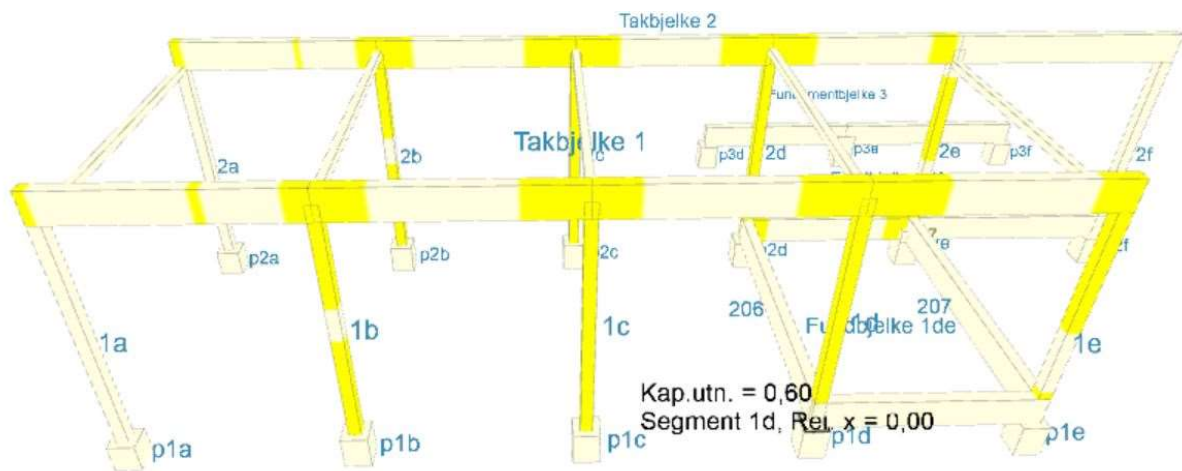
Figur 13 Segmentkart skjær i 2D



Figur 14 Segmentkart skjært i 2D

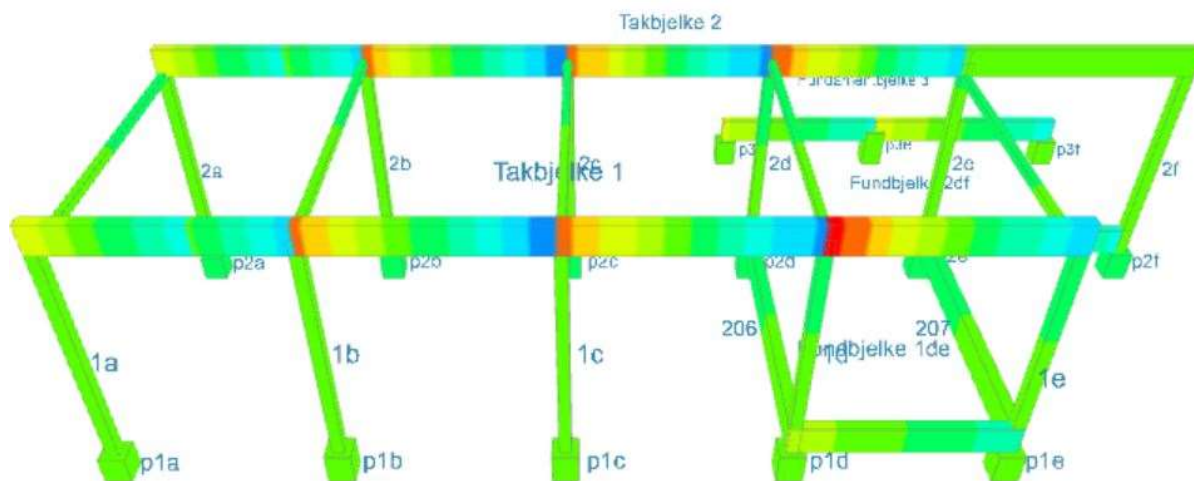


Figur 15 Forskyvning i 3D



Figur 16 Kapasitetsutnyttelse i 3D





Figur 17 Segmentkart skjær i 3D

## Takbjelke

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

GL32C

Klimaklasse 3

Pålitelighetsklasse 2

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 360 \text{ mm}$$

$$l_{spenn} := 2550 \text{ mm}$$

$$b_{last} := 2000 \text{ mm}$$

$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Table 4

iht. (56)

Tabell 3.1

$$k_{mod} := 0.7$$

$$k_{def} := 2.0$$

Tabell 3.2

$$k_h := \min\left(1.1, \left(\frac{600 \text{ mm}}{h}\right)^{0.1}\right) = 1.05$$

(3.2)

$$\gamma_M := 1.15$$

Tabell NA.2.23

$$k_m := 0.7$$

(6.1.6(2))

$$R_{ed} := 0.74$$

pkt. 224

iht. (58)

### Laster

$$g_{k11} := 8.42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{k11} := 6.72 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k11} := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_d := g_{k11} \cdot 1.35 = 11.37 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_d := s_{k11} \cdot 1.5 = 10.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_d := q_{k11} \cdot 1.5 = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,y} := g_d + s_d + q_d = 30.45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,z} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Kombinasjonsfaktorer for  $\psi$  for bygninger (NS-EN 1990 Tabell NA.A1.1)

$$\psi_{2.1} := 0.2$$

$$\psi_{0.2} := 0.7$$

$$\psi_{2.2} := 0.6$$

## Kontrollerer spennvidde for bjelken

$$\text{Kapasitet for spenn på 2,5 m: } Q_{2.5} := 39.9 \frac{N}{mm}$$

Tabell 21 d  
iht. (58)

$$\text{Kapasitet for spenn på 3 m: } Q_3 := 33.2 \frac{N}{mm}$$

$$\text{Kapasitet for spenn på 2,55m: } Q_{2.55} := Q_{2.5} - \frac{Q_{2.5} - Q_3}{500} \cdot 50 = 39.23 \frac{N}{mm} \quad 4$$

$$\text{Kapasitet justert for klimaklasse 3: } K_{ap} := R_{ed} \cdot Q_{2.55} = 29.03 \frac{kN}{m}$$

Kapasitetsutnyttelse [%]:

$$\frac{q_{tot.y}}{K_{ap}} \cdot 100 = 104.88$$

IKKE  
OK

## Karakteriske fastheter og stivheter

Table 4  
iht. (56)

$$f_{vyk} := 3.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{vyd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vyk}}{\gamma_M} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mk} := 32 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.5 \frac{N}{mm^2}$$

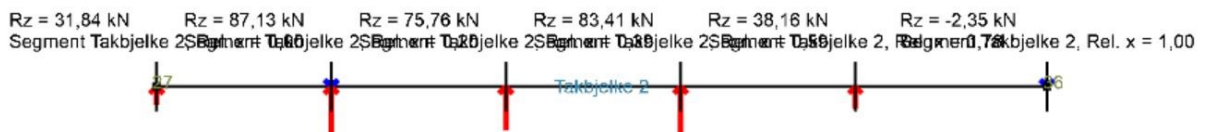
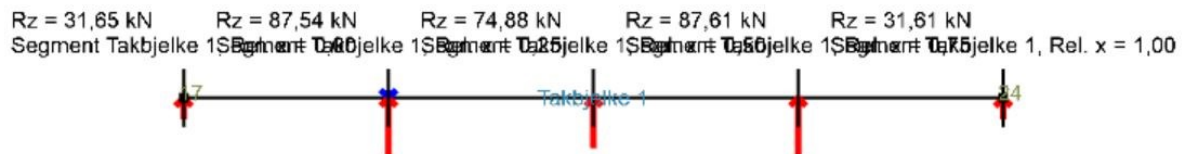
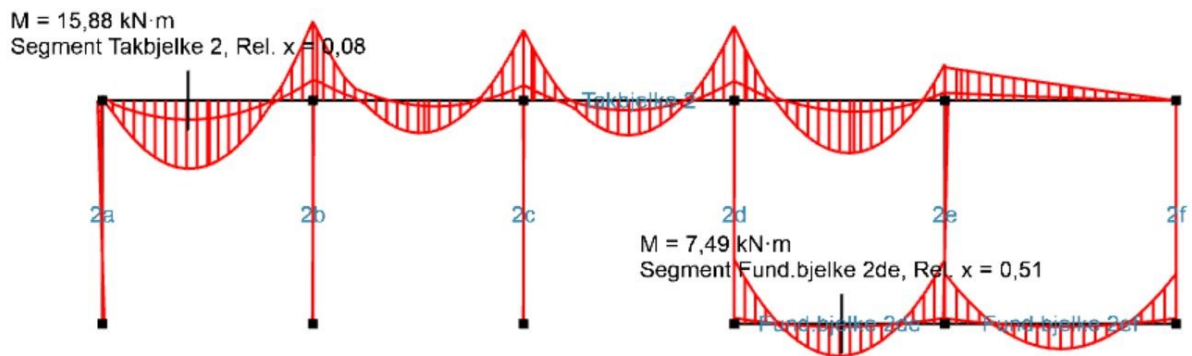
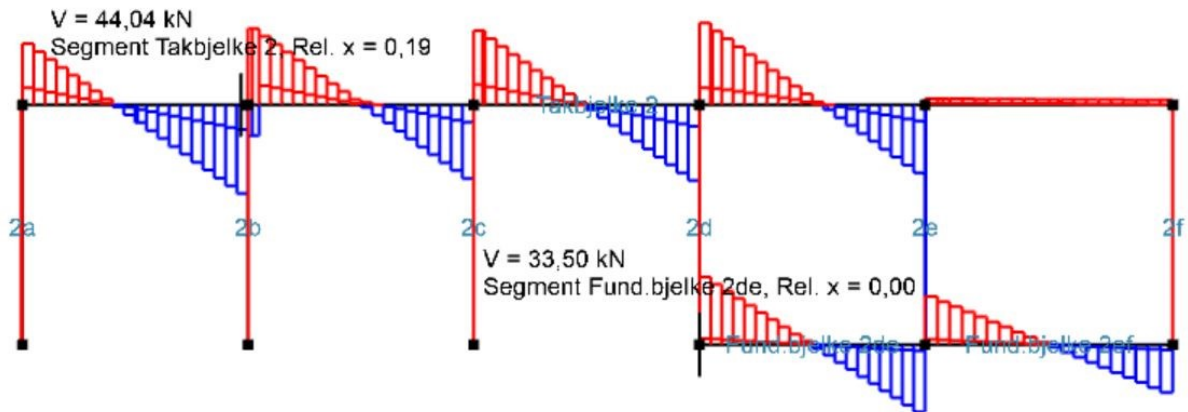
$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0gmean} := 13500 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{gmean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

## Moment og skjærkraft



$$V_{Ed} := 44.0 \text{ kN}$$

$$R_z := 87.6 \text{ kN}$$

$$M_{yed} := 15.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{zed} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = (8.23 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = (5.44 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$z := \frac{h}{2} = 180 \text{ mm}$$

Trykk vinkelrett på fiberretningen

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \quad (6.3)$$

$$f_{c90d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c90k}}{\gamma_M} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{efl} := 135 \text{ mm} + 2 \cdot 30 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := 140 \text{ mm} \cdot l_{efl} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$k_{c90} := 1$$

6.1.5 (pkt 2)

$$F_{c90d} := R_z = 87.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_{c90d}}{A_{ef}} = 3.21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.4)$$

$$k_{c90} \cdot f_{c90d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IKKE OK

$$f'_{c90k} := 5.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tabell 3  
iht. (60)

$$f'_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f'_{c90k}}{\gamma_M} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f'_{c90d} \cdot k_{c90} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{\sigma_{c90d}}{f'_{c90d} \cdot k_{c90}} \cdot 100 = 92.48$$

## Bøyning

For at bøyning skal være ok må følgende være oppfylt:

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.12)$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yed}}{I_y} \cdot z = 5.26 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zed}}{I_z} \cdot z = 0 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.26$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.18 \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{0.256}{1} \cdot 100 = 25.6$$

$$\frac{0.18}{1} \cdot 100 = 18$$

## Skjær

Følgende formel må være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad (6.13)$$

$$k_{cr} := 0.67 \quad 6.1.7 \text{ (pkt 2)}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = 1.95 \frac{N}{mm^2} \quad (6.60)$$

$$f_{vyd} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\tau_d}{f_{vyd}} \cdot 100 = 91.74$$

## Nedbøyningskontroll

Tar utgangspunkt i limtreboka kap. 6

Antar først at snølast er dominerende variabel last.

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.4 \quad (6-18) \text{ iht. (35)}$$

Øyeblikksnedbøyning

Egenlast bøyespenning  $W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.63 \text{ mm}$

Egenlast skjærspenning  $W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.25 \text{ mm}$

Snølast bøyespenning  $W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.5 \text{ mm}$

Snølast skjærspenning  $W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.2 \text{ mm}$

Nyttelast bøyespenning  $W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.45 \text{ mm}$

Nyttelast skjærspenning  $W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.18 \text{ mm}$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 1.89 \text{ mm} \quad (6-10) \text{ iht. (35)}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.75 \text{ mm} \quad (6-11)$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 0.7 \text{ mm} \quad \text{iht. (35)}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.28 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 0.85 \text{ mm} \quad (6-12) \text{ iht. (35)}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.34 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 4.82 \text{ mm} \quad (7.2) \text{ iht. (35)}$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin.krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 8.5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 56.74$$

**Antar så at nyttelast er dominernde variabel last**

Øyeblikksnedbøyning

Egenlast bøyespenning 
$$W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.63 \text{ mm}$$

Egenlast skjærspenning 
$$W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.25 \text{ mm}$$

Snølast bøyespenning 
$$W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.45 \text{ mm}$$

Snølast skjærspenning 
$$W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.18 \text{ mm}$$

Nyttelast bøyespenning 
$$W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k11} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.5 \text{ mm}$$

Nyttelast skjærspenning 
$$W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.2 \text{ mm}$$



Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 1.89 \text{ mm} \quad (6-10) \text{ iht. (35)}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.75 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 0.63 \text{ mm} \quad (6-11) \text{ iht. (35)}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.25 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 0.96 \text{ mm} \quad (6-12) \text{ iht. (35)}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.38 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 4.86 \text{ mm}$$

Ligning 7.2

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin,krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 8.5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin,krav}} \cdot 100 = 57.19$$

### Torsjonsstabilitet

Følgende formel må være oppfylt:

$$\sigma_{myd} \leq k_{crit} \cdot f_{myd} \quad (6.33)$$

$$l_{ef} := 0.9 l_{spenn} + 2 \cdot h = (3.02 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad \text{Tabell 6.1}$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 157.75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.45 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.0 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{myd} = 5.26 \frac{N}{mm^2}$$

$$k_{crit} \cdot f_{myd} = 20.5 \frac{N}{mm^2}$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \cdot 100 = 25.65$$

## Fundamentbjelke

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

GL32C Klimaklasse 3 Pålitelighetsklasse 2

$$b := 140 \text{ mm} \quad h := 315 \text{ mm} \quad l_{spenn} := 2550 \text{ mm} \quad b_{last} := 2000 \text{ mm}$$

$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Table 4

iht. (56)

Tabell 3.1

$$k_{mod} := 0.7$$

$$k_{def} := 2.0$$

Tabell 3.2

$$k_h := \min \left( 1.1, \left( \frac{600 \text{ mm}}{h} \right)^{0.1} \right) = 1.07$$

(3.2)

$$\gamma_M := 1.15$$

Tabell NA.2.23

$$k_m := 0.7$$

(6.1.6(2))

$$R_{ed} := 0.74$$

Tabell 21d

iht. (58)

### Laster - karakteristiske og dimensjonerende

$$g_{k18} := 0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k17} := 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{k18} := 5.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k18} := 4.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k17} := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_d := (g_{k18} + g_{k17}) \cdot 1.35 = 1.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_d := s_{k18} \cdot 1.5 = 8.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_d := (q_{k18} + q_{k17}) \cdot 1.5 = 16.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,y} := g_d + s_d + q_d = 26.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,z} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Kontrollerer spennvidde for bjelken

$$\text{Kapasitet for spenn p\aa 3 m: } Q_3 := 32.7 \frac{N}{mm}$$

$$\text{Kapasitet for spenn p\aa 2.5 m: } Q_{2.5} := 39.3 \frac{N}{mm}$$

$$\text{Interpolerer: } Q_{2.55} := Q_3 + \frac{Q_{2.5} - Q_3}{500} \cdot 450 = 38.64 \frac{N}{mm}$$

Kapasitet justert for klimaklasse 3:

$$K_{ap} := R_{ed} \cdot Q_{2.55} = 28.59 \frac{kN}{m}$$

Tabell 21 d  
iht. (58)

OK

Kapasitetsutnyttelse [%]:

$$\frac{q_{tot,y}}{K_{ap}} \cdot 100 = 91.68$$

### Karakteriske fastheter og stivheter

Table 4  
iht. (56)

$$f_{vyk} := 3.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{vyd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vyk}}{\gamma_M} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mk} := 32 \frac{N}{mm^2} \quad f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.77 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.77 \frac{N}{mm^2}$$

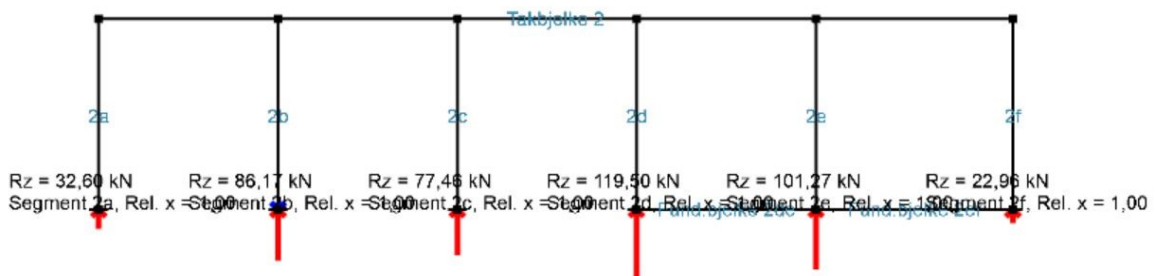
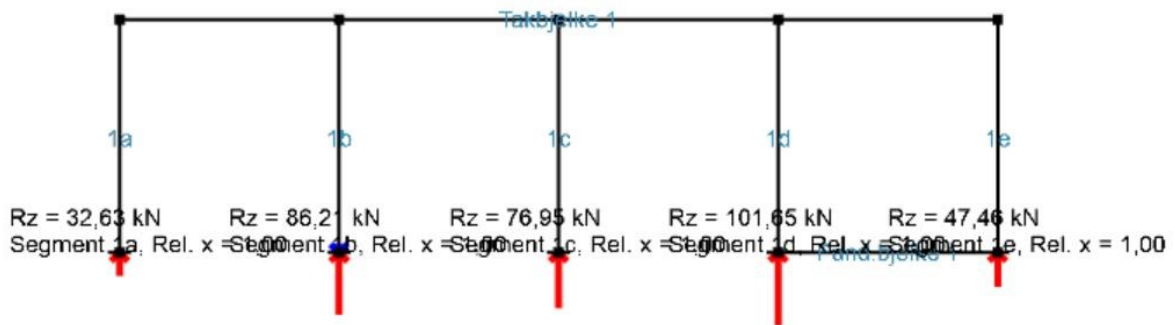
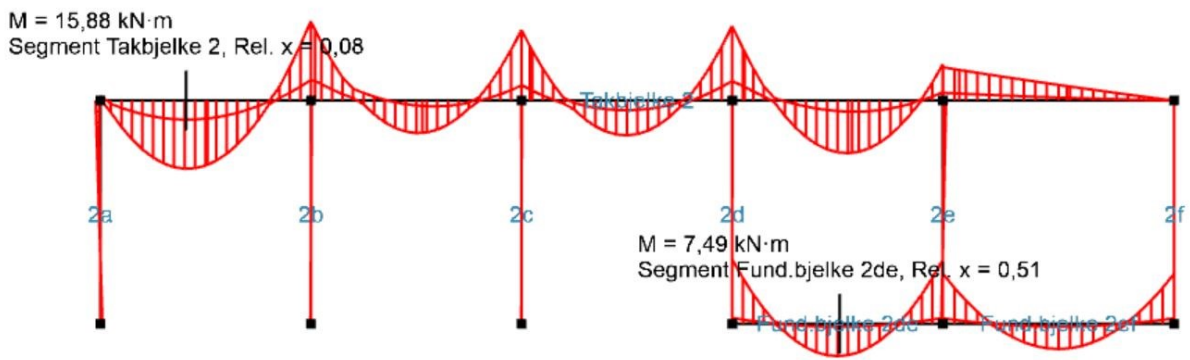
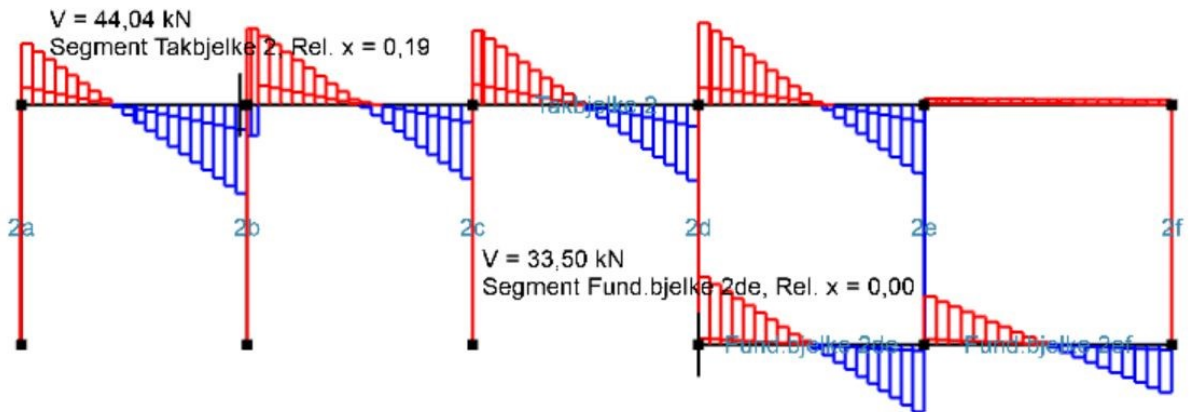
$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0gmean} := 13500 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{gmean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

## Moment og skjærkraft



$$V_{Ed} := 33.5 \text{ kN}$$

$$R_z := 119.5 \text{ kN}$$

$$M_{yed} := 7.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{zed} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = (7.2 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = (3.65 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$z := \frac{h}{2} = 157.5 \text{ mm}$$

Verdier for  $\psi$  for bygninger:

$$\psi_{2.1} := 0.2 \quad \psi_{0.2} := 0.7 \quad \psi_{2.2} := 0.6$$

**Tabell NA.A1.1)**  
**iht. (20)**

**Trykk vinkelrett på fiberretningen (6.1.5)**

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \quad (6.3)$$

$$f_{c90d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c90k}}{\gamma_M} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{efl} := 135 \text{ mm} + 2 \cdot 30 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := 140 \text{ mm} \cdot l_{efl} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$k_{c90} := 1$$

**6.1.5 (pkt 2)**

$$F_{c90d} := R_z = 119.5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_{c90d}}{A_{ef}} = 4.38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.4)$$

**IKKE OK**

$$k_{c90} \cdot f_{c90d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f'_{c90k} := 5.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Tabell 3**  
**iht. (60)**

$$f'_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f'_{c90k}}{\gamma_M} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f'_{c90d} \cdot k_{c90} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**IKKE OK**

Alternativ løsning må oppfylle to betingelser:

$$R_z \leq f_{c90d} \cdot b \cdot l_{ef2} \qquad R_z \leq k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd})$$

Betingelse 1:

$$l_{ef2} := l_{ef1} + 2 \cdot 220 \text{ mm} = 635 \text{ mm}$$

$$b \cdot l_{ef2} \cdot f_{c90d} = 135.28 \text{ kN}$$

$$R_z = 119.5 \text{ kN}$$

**OK**

For å oppfylle betingelse 2, må det regnes på skruekapasitet. Tar utangspunkt i skrue med diameter på 8 mm og lengde 220 mm, valgt for å oppfylle betingelse 1.

$$d_1 := 7 \text{ mm} \qquad n := 6$$

$$f_{uk} := 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad t := 6 \text{ mm}$$

$$l_{skrue} := 220 \text{ mm} \qquad l_{gjeng} := 210 \text{ mm}$$

$$l_{ef} := l_{gjeng} - d_1 = 203 \text{ mm}$$

$$k_d := \min\left(1, \frac{d_1}{8 \text{ mm}}\right) = 0.88 \qquad (8.40)$$

$$k_{mod} := 0.7$$

$$n_{ef} := n^{0.9} = 5.02 \qquad (8.34)$$

$$\gamma_{M2} := 1.25 \qquad \gamma_M := 1.3$$

$$f_u := 490 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Tabel 2.1} \\ \text{iht. (78)} \\ \text{Tabell 3.1} \\ \text{iht. (70)}$$

$$f_{yk} := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad f_{yd} := f_{yk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 191.15 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ub} := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \qquad \text{Tabell 3.1} \\ \text{iht. (78)}$$

Aksialkapasitet som bidrar til taueffekt antas 100% for skruer:

$$f_{ax.k} := 0.52 \cdot \left( \frac{d_1}{mm} \right)^{-0.5} \cdot \left( \frac{l_{ef}}{mm} \right)^{-0.1} \cdot \left( \frac{\rho_k}{\frac{kg}{m^3}} \right)^{0.8} \cdot \frac{N}{mm^2} = 15.05 \frac{N}{mm^2} \quad (8.39)$$

I bjelke,  
vinkelrett på  
fiberretning:

$$F_{ax.90.Rk} := \frac{n_{ef} \cdot f_{ax.k} \cdot d_1 \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(90)^2 + \sin(90)^2} = 90.22 \text{ kN} \quad (8.38)$$

$$F_{ax.90.Rd} := F_{ax.90.Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 48.58 \text{ kN}$$

$$e_1 := 1.2 \cdot d_1 = 8.4 \text{ mm}$$

$$e_2 := 1.2 \cdot d_1 = 8.4 \text{ mm}$$

Tabell 3.3  
iht. (78)

$$p_1 := 2.2 \cdot d_1 = 15.4 \text{ mm}$$

$$p_2 := 2.4 \cdot d_1 = 16.8 \text{ mm}$$

$$\alpha_b := \min \left( \frac{e_1}{2 \cdot d_1}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1 \right) = 0.6$$

Tabell 3.4

$$k_1 := \min \left( 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_1}, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_1} - 1.7, 2.5 \right) = 1.66$$

Tabell 3.4

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_1 \cdot t}{\gamma_{M2}} = 16.4 \text{ kN}$$

Tabell 3.4

$$k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} = 41.54 \text{ kN}$$

$$k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd}) = 139.93 \text{ kN}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent] for betingelse 1 og 2:

$$\frac{R_z}{b \cdot l_{ef2} \cdot f_{c90d}} \cdot 100 = 88.33$$

$$\frac{R_z}{k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd})} \cdot 100 = 85.4$$

Sjekker for om dette er nødvendig for alle forbindelsene. Dette gjøres ved å finne maksimal trykkraft på bjelken som er OK for alternativ fra treteknisk rapport.



$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c90} \cdot f_{c90d}} \leq 1$$

$$F_{c90d.maks} := k_{c90} \cdot f_{c90d} \cdot A_{ef} = 94.72 \text{ kN}$$

Alle overganger mellom søyle og bjelke der trykkraft er større enn 94.7 kN trenger forsterkning ved hjelp av stålplater og skruer. Dette gjelder i overgang mellom bjelke og søyle 1d, 2d og 2e.

Finner stålplatens tykkelse:

$$F_{c90d} := \frac{F_{b.Rd}}{n} = 2.73 \text{ kN}$$

$$t := \max \left( 5.0 \text{ mm}, 1.45 \cdot \sqrt{\frac{F_{c90d}}{f_{yd}}} \right) = 5.48 \text{ mm}$$

### 6.1.6 Bøyning

For at bøyning skal være ok må følgende være oppfylt:

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.12)$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yed}}{I_y} \cdot z = 3.24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zed}}{I_z} \cdot z = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.16$$

**OK**

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.11$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot 100 = 15.59$$

$$\frac{1}{k_m} \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot 100 = 10.92$$

### Skjær (6.1.7)

Følgende formel må være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{vyd} \quad (6.13)$$

$$k_{cr} := 0.67 \quad 6.1.7 \text{ (pkt 2)}$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = 1.7 \frac{N}{mm^2} \quad (6.60)$$

$$f_{vyd} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\tau_d}{f_{vyd}} \cdot 100 = 79.83$$

### Nedbøyningskontroll

Tar utgangspunkt i limtreboka kap. 6

Sjekker først med snølast som dominerende variabel last:

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.3 \quad (6-18) \text{ iht. (35)}$$

Øyeblikksnedbøyning

$$\text{Egenlast bøyespenning} \quad W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k18} + g_{k17}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.16 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$$

Egenlast skjærspenning  $W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.05 \text{ mm}$

Snølast bøyespenning  $W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k18} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.6 \text{ mm}$

Snølast skjærspenning  $W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.18 \text{ mm}$

Nyttelast bøyespenning  $W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{k18} + q_{k17}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 1.21 \text{ mm}$

Nyttelast skjærspenning  $W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.37 \text{ mm}$

Netto nedbøyning:

$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.48 \text{ mm}$  (6-10)  
iht. (35)

$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.15 \text{ mm}$

$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 0.84 \text{ mm}$  (6-11)  
iht. (35)

$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.26 \text{ mm}$

$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 2.29 \text{ mm}$  (6-12)  
iht. (35)

$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.7 \text{ mm}$

$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 4.72 \text{ mm}$  (7.2)

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$W_{net,fin,krav} := \frac{l_{spenn}}{250} = 10.2 \text{ mm}$  OK

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 46.29$$

**Sjekker så med nyttelast som dominerende variabel last:**

Øyeblikksnedbøyning

Egenlast bøyesspenning 
$$W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k17} + g_{k18}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.16 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$$

Egenlast skjærspenning 
$$W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.05 \text{ mm}$$

Snølast bøyesspenning 
$$W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{k18} + g_{k17}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.59 \text{ mm}$$

Snølast skjærspenning 
$$W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.18 \text{ mm}$$

Nyttelast bøyesspenning 
$$W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k18} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.6 \text{ mm}$$

Nyttelast skjærspenning 
$$W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.18 \text{ mm}$$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.48 \text{ mm} \quad \text{(6-10)}$$

**iht. (35)**

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.15 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 0.82 \text{ mm} \quad \text{(6-11)}$$

**iht. (35)**

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.25 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 1.14 \text{ mm} \quad (6-12)$$

ih. (35)

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.35 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 3.2 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin.krav} := \frac{l_{spenn}}{250} = 10.2 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 31.33$$

### Torsjonsstabilitet (6.3.3)

$$\sigma_{myd} \leq k_{crit} \cdot f_{myd} \quad (6.33)$$

$$\lambda_{rel.m} < 0.75 \quad (6.34)$$

$$l_{ef} := 0.9 l_{spenn} + 2 \cdot h = (2.93 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad \text{Tabell 6.1}$$

$$\sigma_{m.crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 185.84 \frac{N}{mm^2} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel.m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m.crit}}} = 0.41 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.0 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{myd} = 3.24 \frac{N}{mm^2} \quad k_{crit} \cdot f_{myd} = 20.77 \frac{N}{mm^2} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \cdot 100 = 15.59$$

## Søyleberegninger

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

På grunn av varierende trykkraft i kombinasjon med varierende last som virker om y- og z-akse blir det foretatt kontroller for tre ulike søylegrupper.

### Forutsetninger og antakelser

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 135 \text{ mm}$$

$$L_{kyz} := 2700 \text{ mm}$$

$$A := h \cdot b = (1.89 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\gamma_m := 1.15$$

Tabell NA.2.3

$$k_{mod} := 0.7$$

Tabell 3.1

$$k_m := 0.7$$

(6.1.6(2))

$$\beta_c := 0.1$$

(6.29)

$$k_h := \min\left(1.1, \left(\frac{600 \text{ mm}}{h}\right)^{0.1}\right) = 1.1$$

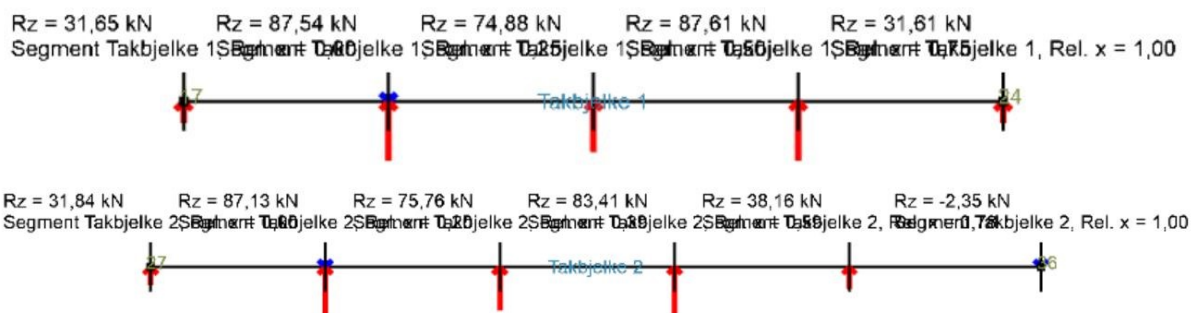
(3.2)

$$R_{ed} := 0.81$$

pkt.235  
iht. (57)

$$F_{kk3} := 1.23$$

pkt. 244  
Iht. (57)



Dim. trykkraft:

$$N_{1b.Ed} := 87.5 \text{ kN}$$

$$N_{1d.Ed} := 87.6 \text{ kN}$$

$$N_{2e.Ed} := 38.2 \text{ kN}$$

Last om y-akse:

$$q_{d.y} := 2.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{e.y} := 2.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Last om z-akse:

$$q_{d.z} := 1.93 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{e.z} := 0.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Dim. moment for søyler belastet med bøyning om z- og x-akse, fra vedlegg

$$M_{d.yd} := \frac{q_{d.y} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 1.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{e.yd} := \frac{q_{e.y} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 2.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d.zd} := \frac{q_{d.z} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 1.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{e.zd} := \frac{q_{e.z} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 0.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Fastheter og stivheter

I henhold til NS 14080 (49)

$$f_{c0k} := 24.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = 14.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{mk} := 32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} \cdot k_h = 21.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} \cdot k_h = 21.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Arealregghetsmoment og slankheter

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 38.97 \text{ mm}$$

$$i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 40.41 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{kyz}}{i_y} = 69.28$$

$$\lambda_z := \frac{L_{kyz}}{i_z} = 66.81$$



**Kontrollerer søyle 2b da denne er utsatt for størst trykkkraft**  
 Vil være gjledende for gruppe 1: søyle 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 2f

Spenninger:

$$\sigma_{myd} := \frac{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{c0d} := \frac{N_{1b.Ed}}{A} = 4.63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen**

Kapasitet i z-retning  
 fra tabell::

$$Q_z := 245 \text{ kN}$$

**Tabell 21 b**  
**Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning  
 fra tabell:

$$Q_x := 257 \text{ kN}$$

Kapasitet justert for  
 klimaklasse 3:

$$K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 198.45 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 208.17 \text{ m} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{N_{1b.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 44.09$$

$$\frac{N_{1b.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 42.03$$

**Stabilitetskontroll**

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.03 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.99 \quad (6.22)$$

Ettersom disse er større enn 0.3 må følgende betingelser oppfylles:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.07 \quad (6.27)$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.03 \quad (6.28)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = 0.39 \quad (6.25)$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0.41 \quad (6.26)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.79$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.76 \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{0.79}{1} \cdot 100 = 79$$

$$\frac{0.76}{1} \cdot 100 = 76$$

**Kontroll for trykk i fiberretningen**

$$\sigma_{c0d} < f_{c0d}$$

$$\sigma_{c0d} = 4.63 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} = 14.91 \frac{N}{mm^2}$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \cdot 100 = 31.04$$

**Kontrollerer søyle 1d som er utsatt for nest størst trykkraft og bøyning i y- og z-retning.**

Vil være gjeldende for søylegruppe 2: søyle 1d og 2d

Spenninger for søyle 1d:

$$\sigma_{1c.c0d} := \frac{N_{1d.Ed}}{A} = 4.63 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{d.myd} := \frac{M_{d.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 4.35 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{d.mzd} := \frac{M_{d.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = 3.99 \frac{N}{mm^2}$$

**Stabilitetskontroll:**

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 1.13 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 1.09 \quad (6.24)$$

**IKKE OK**

Oppfyller ikke krav om stabilitet. Endrer dimensjon på denne og tar ny kontroller:

$$b_{1d} := 140 \text{ mm} \quad h_{1d} := 180 \text{ mm}$$

**Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen**

Kapasitet i z-retning  
fra tabell:

$$Q_z := 414 \text{ kN}$$

**Tabell 21 b  
Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning  
fra tabell:

$$Q_x := 342 \text{ kN}$$

Kapasitet justert for  
 klimaklasse 3:

$$K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 335.34 \text{ kN}$$

$$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 277.02 \text{ kN}$$

**OK**

Kapasitetskontroll [prosent]

$$\frac{N_{1d.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 26.12$$

$$\frac{N_{1d.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 31.62$$

$$\sigma_{1d.c0d} := \frac{N_{1d.Ed}}{A} = 4.63 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{1d.myd} := \frac{M_{d.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{1d} \cdot h_{1d}^2} = 2.45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{1d.mzd} := \frac{M_{d.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{1d}^2 \cdot h_{1d}} = 2.99 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$i_{y1d} := \frac{h_{1d}}{\sqrt{12}} = 51.96 \text{ mm}$$

$$i_{z1d} := \frac{b_{1d}}{\sqrt{12}} = 40.41 \text{ mm}$$

$$\lambda_{y1d} := \frac{L_{kyz}}{i_{y1d}} = 51.96$$

$$\lambda_{z1d} := \frac{L_{kyz}}{i_{z1d}} = 66.81$$

$$\lambda_{rel.y1d} := \frac{\lambda_{y1d}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.77 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel.z1d} := \frac{\lambda_{z1d}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.99 \quad (6.22)$$

Ettersom disse er større enn 0.3 må følgende betingelser oppfylles:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

$$k_{y1d} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y1d} - 0.3) + \lambda_{rel,y1d}^2) = 0.82 \quad (6.27)$$

$$k_{z1d} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z1d} - 0.3) + \lambda_{rel,z1d}^2) = 1.03 \quad (6.28)$$

$$k_{cy1d} := \frac{1}{k_{y1d} + \sqrt{k_{y1d}^2 + \lambda_{rel,y1d}^2}} = 0.51 \quad (6.25)$$

$$k_{cz1d} := \frac{1}{k_{z1d} + \sqrt{k_{z1d}^2 + \lambda_{rel,z1d}^2}} = 0.41 \quad (6.26)$$

$$\frac{\sigma_{1d.c0d}}{k_{cy1d} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{1d.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{1d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.82 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{1d.c0d}}{k_{cz1d} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{1d.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{1d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.98 \quad (6.24)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.82}{1} \cdot 100 = 82$$

$$\frac{0.98}{1} \cdot 100 = 98$$

**Kontroll av søyle utsatt for trykk og bøyning**

$$\left( \frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cy1d} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{1d.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{1d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.58 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cz1d} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{1d.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{1d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.8 \quad (6.20)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.58}{1} \cdot 100 = 58$$

$$\frac{0.8}{1} \cdot 100 = 80$$

**Kontrollerer søyle 2d som er utsatt for trykkraft og bøyespenning:**

Vil være gjeldende for søylegruppe 3: søyle 1d og 2d

$$\sigma_{2e.c0d} := \frac{N_{2e.Ed}}{A} = 2.02 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{e.myd} := \frac{M_{e.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 5.29 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{e.mzd} := \frac{M_{e.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = 1.57 \frac{N}{mm^2}$$

**Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen**

Kapasitet i z-retning  
fra tabell:

$$Q_z := 245 \text{ kN}$$

**Tabell 21b  
Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning  
fra tabell:

$$Q_x := 257 \text{ kN}$$

Kapasitet justert for  
klimaklasse 3:

$$K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 198.45 \text{ kN}$$

$$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 208.17 \text{ kN}$$

**OK**

Kapasitetskontroll [prosent]

$$\frac{N_{2e.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 19.25$$

$$\frac{N_{2e.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 18.35$$

## Stabilitetskontroll

$$\frac{\sigma_{2e.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{e.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{e.mzd}}{f_{mzd}} = 0.64 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{2e.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{e.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{e.mzd}}{f_{mzd}} = 0.58 \quad (6.24)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.64}{1} \cdot 100 = 64$$

$$\frac{0.58}{1} \cdot 100 = 58$$

## Kontroll for trykk og bøyning

$$\left( \frac{\sigma_{2e.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{e.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{e.mzd}}{f_{mzd}} = 0.42 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{2e.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{e.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{e.mzd}}{f_{mzd}} = 0.36 \quad (6.20)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.42}{1} \cdot 100 = 42$$

$$\frac{0.36}{1} \cdot 100 = 36$$

## Dimensjonering av søylefundament

i henhold til NS-EN 1992-1-1 (21) dersom ikke annet oppgis.

Søylefundamentenes såle ligger 300 mm under terreng.

Såle støpes mot 60 mm EPS, over et 100mm avrettingslag.

Grunnens bæreevne tillater dim. grunntrykk i bruddgrense:

$$\sigma_{gd} := 180 \frac{kN}{m^2}$$
$$q_{Ed} := 180$$

### Overdekning

I fundamenter støpt mot avrettingslag bør nominell overdekning minst være 40 mm. Eksponeringsklasse XC2. Forventet fasthetsklasse B25.

NA.4.4.1.3(4)  
Tabell 4.1  
Tabell E.1N

100 års dim. brukstid:  $c_{min.dur} := 35 \text{ mm}$

Velger  $\phi 10$ :  $c_{min.b} := 10 \text{ mm}$

$$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur}, 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} := 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur.\gamma}, \Delta c_{dur.st} \text{ og } \Delta c_{dur.st} := 0 \text{ mm}$$

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 \text{ mm}$$

Tabell NA.4.4N

(4.2)

4.4.1.3 (1)

Anbefalte verdier

(4.1)

### Betong B25

$$\gamma_c := 1.5$$

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

$$f_{ctm} := 2.6 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ck} := 25 \frac{N}{mm^2} \quad f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.17 \frac{N}{mm^2}$$

Tabell 2.1N

Tabell 3.1

(3.15)

### Armering B500NC

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \frac{N}{mm^2}$$

Tabell 2.1N

Underkantarmering såle: Velger  $\phi 10$ .

Armeringsmengde fastslås for hvert enkelt tilfelle.

Lengdearmering i søyle: Velger minimumsarmering  $\phi 10$  i hvert hjørne av søylen for alle fundamenter.

Skjærarmering i søyle: Velger  $\phi 8$ . Senteravstand av tverrarmeringen langs søylen skal ikke overskride:

$$s_{cl.max} := \min(20 \cdot 10 \text{ mm}, 200 \text{ mm}, 400 \text{ mm})$$

$$s_{cl.max} = 200 \text{ mm}$$

9.5.3 (3)

Senteravstanden bør i tillegg reduseres med en faktor 0,6 i begge søyleender, innenfor en avstand lik største tverrsnittsdimensjon av søylene.

Setter for enkelhetsskyld s120 for alle fundamenter.

9.5.3 (4)



GRUPPE 1: 11 stk. søyelfundament (1a, 1b, 1c, 1e, 2a, 2b, 2c, 2f, 3d, 3e, 3f)

Dimensjonerende aksialkraft på søyelfundamentene:  $N_{Ed} := 90 \text{ kN}$

Fundamentene utsettes for moment i alle retninger.

Velger symmetrisk fundament. Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := 12 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Effektiv fundamentbredde:  $b_0 \geq \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}}$ , hvor  $\sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}} = 0.71 \text{ m}$   
 $b_0 := 710 \text{ mm}$        $b := 1000 \text{ mm}$

Ekvivalent eksentrisk vertikallast:  $e_{maks} := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 133.33 \text{ mm}$

Nødvendig fundamentbredde:  $b_{f11} := b_0 + 2 e_{maks} = 976.67 \text{ mm}$

Setter  $b_{f11} := 980 \text{ mm}$        $h_{f11} := 165 \text{ mm}$

$b_{s11} := 200 \text{ mm}$        $h_{s11} := 448 \text{ mm} - h_{f11} = 283 \text{ mm}$

$a := \frac{b_{f11} - b_{s11}}{2} = 390 \text{ mm}$

$d := h_{f11} - c_{nom} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 115 \text{ mm}$       **NA.9.8.2.1(1)**

Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := \frac{q_{Ed} \cdot a^2}{2} \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 13.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentkapasitet:  $M_{Rd} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 51.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{Rd} > M_{Ed}$       **OK**

Nødv. armeringstverrsnitt:  $z_0 := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \cdot d$        $z_{maks} := 0.95 \cdot d$

$z := \min(z_0, z_{maks}) = 109.25 \text{ mm}$

$A_{sh'} := \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 288.19 \text{ mm}^2$

$A_{s.min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 155.48 \text{ mm}^2$

$A_{s.min} \geq 0.0013 \cdot b \cdot d = 149.5 \text{ mm}^2$       **OK**

$A_{sh} := \max(A_{sh'}, A_{s.min}) = 288.19 \text{ mm}^2$

Antall stenger:  $r := \frac{10 \text{ mm}}{2} = 5 \text{ mm}$

$n := \frac{A_{sh}}{\pi \cdot r^2} = 3.67$        $N := 4$       pr. meter

$$s_{uk} \leq \frac{b}{N} = 250 \text{ mm} \quad \text{pr. meter}$$

Opptr. armeringstverrsnitt:  $\phi 10s250$  gir:  $A_{sh} := N \cdot \pi \cdot r^2 = 314.16 \text{ mm}^2/m$

Dimensjonerende skjær:  $V_{Ed} := q_{Ed} \cdot a \cdot \frac{kN}{m} = 70.2 \text{ kN}$

Skjærstrekk:  $V_{Ed,2} := q_{Ed} \cdot (a - d) \cdot \frac{kN}{m} = 49.5 \text{ kN}$  **6.2.1 (8)**

$$\rho_{L'} := \frac{A_{sh}}{b_{f11} \cdot d} \quad \rho_L := \min(\rho_{L'}, 0.02) = 0$$

$$c_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad \text{NA.6.4.4(1)}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}} \quad k := \min(2, k) = 2$$

$$V_{Rd,c} := \left( c_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \cdot b_{f11} \cdot d \quad \text{(6.2.a)}$$

$$v_{min} := \left( 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \cdot b_{f11} \cdot d \quad \text{(6.3N)}$$

$$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c}, v_{min}) = 55.78 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} > V_{Ed,2}$$

Skjærtrykk: Dimensjonerende skjærkraft i kritisk snitt er søylebredden:

$$V_{Ed,1} := q_{Ed} \cdot \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{b_{f11} + b_{s11}}{2} \cdot a = 41.42 \text{ kN} \quad \text{(4.3.11) ihht. (69)}$$

$$v_1 := 0.6 \quad \theta := 45^\circ \quad \text{gir}(\tan(\theta) + \cot(\theta)) = 2$$

$$V_{Rd,max} := b_{f11} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\tan(\theta) + \cot(\theta)} \quad \text{(6.9)}$$

$$V_{Rd,max} = 455.03 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed,1} \quad \text{OK}$$

### Gjennomlokkingskontroll

Snitt 1 Avst. fra søylelivet:  $a_{2d} := 2 \cdot h_{f11} = 330 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s11} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u_1 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{2d} = 2873.45 \text{ mm}$

Areal:  $A_{2d} := c^2 + 4 \cdot a_{2d}^2 + \pi \cdot a_{2d}^2 = 817719.44 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_1 := \int_0^{u_1} |e_{maks}| dl = 0.38 \text{ m}^2 \quad \text{(6.41)}$

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f11}^2} = 93.71 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{2d} \cdot N = 76.63 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V = 13.37 \text{ kN}$  (6.48)

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u1}{W_1} = 5.61$  Tabell 6.1 (6.39)

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u1 \cdot d} = 0.23 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  (6.51)

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$\rho_L = 0$   
 $V_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{2d}} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  (6.47)

$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c}, v_{min}) = 0.49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd,c}}{v_{Ed}} = 2.18 > 1,0$  OK

Snitt 2 Avst. fra søylelivet:  $a_{1.5d} := 1.5 h_{f11} = 247.5 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s11} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u2 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{1.5d} = 2355.09 \text{ mm}$

Areal:  $A_{1.5d} := c^2 + 4 \cdot a_{1.5d}^2 + \pi \cdot a_{1.5d}^2 = 477467.18 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_2 := \int_0^{u2} |e_{maks}| dl = 0.31 \text{ m}^2$  (6.41)

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f11}^2} = 93.71 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{1.5d} \cdot N = 44.74 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V = 45.26 \text{ kN}$  (6.48)

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u2}{W_1} = 2.12$  Tabell 6.1 (6.39)

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u2 \cdot d} = 0.35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  (6.51)

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$\rho_L = 0$

$$V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{1.5d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.4 > 1,0$  **OK**

Snitt 3 Avst. fra søylelivet:  $a_d := h_{f11} = 165 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s11} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u3 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_d = 1836.73 \text{ mm}$

Areal:  $A_d := c^2 + 4 \cdot a_d^2 + \pi \cdot a_d^2 = 234429.86 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_3 := \int_0^{u3} |e_{maks}| dl = 0.24 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f11}^2} = 93.71 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_d \cdot N = 21.97 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 68.03 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$  **Tabell 6.1**  
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u3}{W_3} = 1.91$  **(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u3 \cdot d} = 0.61 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$$\rho_L = 0$$

$$V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_d} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.64 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.04 > 1,0$  **OK**

GRUPPE 2: 3 stk. søylefundament (1d, 2d, 2e)

Dimensjonerende aksialkraft på søylefundamentene:  $N_{Ed} := 120 \text{ kN}$

Fundamentene utsettes for moment i alle retninger.

Velger symmetrisk fundament. Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := 15 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Effektiv fundamentbredde:  $b_0 \geq \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}}$ , hvor  $\sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}} = 0.82 \text{ m}$

$$b_0 := 820 \text{ mm}$$

Ekvivalent eksentrisk vertikallast:  $e_{maks} := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 125 \text{ mm}$

Nødvendig fundamentbredde:  $b_{f12} := b_0 + 2 e_{maks} = 1070.00 \text{ mm}$

$$\text{Setter } b_{f12} := 1070 \text{ mm} \quad h_{f12} := 200 \text{ mm} \\ b_{s12} := 200 \text{ mm} \quad h_{s12} := 448 \text{ mm} - h_{f12} = 248 \text{ mm}$$

$$a := \frac{b_{f12} - b_{s12}}{2} = 435 \text{ mm}$$

$$d := h_{f12} - c_{nom} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 150 \text{ mm} \quad \text{NA.9.8.2.1(1)}$$

Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := \frac{q_{Ed} \cdot a^2}{2} \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 17.03 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Momentkapasitet:  $M_{Rd} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 87.66 \text{ kN}\cdot\text{m}$

$$M_{Rd} > M_{Ed} \quad \text{OK}$$

Nødv. armeringstverrsnitt:  $z_0 := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \cdot d \quad z_{maks} := 0.95 d$

$$z := \min(z_0, z_{maks}) = 142.5 \text{ mm}$$

$$A_{sh'} := \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 274.87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 202.8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0.0013 \cdot b \cdot d = 195 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$A_{sh} := \max(A_{sh'}, A_{s,min}) = 274.87 \text{ mm}^2$$

Antall stenger:  $n := \frac{A_{sh}}{\pi \cdot r^2} = 3.5 \quad N := 4 \quad \text{pr. meter}$

$$s_{uk} \leq \frac{b}{N} = 250 \text{ mm} \quad \text{pr. meter}$$

Opptr. armeringstverrsnitt:  $\phi 10s250 \quad \text{gir: } A_{sh} := N \cdot \pi \cdot r^2 = 314.16 \text{ mm}^2/\text{m}$

Dimensjonerende skjær:  $V_{Ed} := q_{Ed} \cdot a \cdot \frac{kN}{m} = 78.3 \text{ kN}$

Skjærstrekk:  $V_{Ed.2} := q_{Ed} \cdot (a - d) \cdot \frac{kN}{m} = 51.3 \text{ kN}$  6.2.1 (8)

$$\rho_{L'} := \frac{A_{sh}}{b_{f12} \cdot d} \quad \rho_L := \min(\rho_{L'}, 0.02) = 0$$

$$c_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$
 NA.6.4.4(1)

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}} \quad k := \min(2, k) = 2$$

$$V_{Rd.c} := \left( c_{Rd.c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_L \cdot 25 \right)^{\left( \frac{1}{3} \right)} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f12} \cdot d$$
 (6.2.a)

$$v_{min} := \left( 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f12} \cdot d$$
 (6.3N)

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 79.44 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.c} > V_{Ed.2} \quad \text{Skjærarmering ikke nødvendig.}$$

Skjærtrykk: Dimensjonerende skjærkraft i kritisk snitt er søylebredden:

$$V_{Ed.1} := q_{Ed} \cdot \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{b_{f12} + b_{s12}}{2} \cdot a = 49.72 \text{ kN}$$
 (4.3.11) ihht. (69)

$$v_1 := 0.6 \quad \theta := 45^\circ \quad \text{gir}(\tan(\theta) + \cot(\theta)) = 2$$

$$V_{Rd.max} := b_{f12} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\tan(\theta) + \cot(\theta)}$$
 (6.9)

$$V_{Rd.max} = 648.02 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.max} \geq V_{Ed.1}$$
 OK

### Gjennomlokkingskontroll

Snitt 1 Avst. fra søylelivet:  $a_{2d} := 2 \cdot h_{f12} = 400 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s12} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u_l := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{2d} = 3313.27 \text{ mm}$

Areal:  $A_{2d} := c^2 + 4 \cdot a_{2d}^2 + \pi \cdot a_{2d}^2 = 1182654.82 \text{ mm}^2$

$$\text{Skjærspenning i snitt: } W_1 := \int_0^{u_l} |e_{maks}| dl = 0.41 \text{ m}^2$$
 (6.41)

$$\text{Aksialkraft fra søyle: } N := \frac{N_{Ed}}{b_{f12}^2} = 104.81 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Netto oppoverrettet kraft: } \Delta V := A_{2d} \cdot N = 123.96 \text{ kN}$$

$$\text{Red. skjærkraft i snitt: } V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = -3.96 \text{ kN}$$
 (6.48)

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u1}{W_1} = -19.66$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u1 \cdot d} = 0.16 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$$\rho_L = 0$$

$$V_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{2d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd,c}}{v_{Ed}} = 3.16 > 1,0$  **OK**

**Snitt 2** Avst. fra søylelivet:  $a_{1.5d} := 1.5 h_{f12} = 300 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s12} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u2 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{1.5d} = 2684.96 \text{ mm}$

Areal:  $A_{1.5d} := c^2 + 4 \cdot a_{1.5d}^2 + \pi \cdot a_{1.5d}^2 = 682743.34 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_2 := \int_0^{u2} |e_{maks}| dl = 0.34 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f12}^2} = 104.81 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{1.5d} \cdot N = 71.56 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V = 48.44 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u2}{W_2} = 2.69$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u2 \cdot d} = 0.32 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$   
 $\rho_L = 0$

$$V_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{1.5d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.53 > 1,0$  **OK**

**Snitt 3** Avst. fra søylelivet:  $a_d := h_{f12} = 200 \text{ mm}$   
 Søyledimensjon:  $c := b_{s12} = 200 \text{ mm}$   
 Omkrets:  $u3 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_d = 2056.64 \text{ mm}$   
 Areal:  $A_d := c^2 + 4 \cdot a_d^2 + \pi \cdot a_d^2 = 325663.71 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_3 := \int_0^{u3} |e_{maks}| dl = 0.26 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f12}^2} = 104.81 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_d \cdot N = 34.13 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 85.87 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u3}{W_3} = 1.95$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u3 \cdot d} = 0.54 \frac{N}{mm^2}$  **(6.51)**

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$\rho_L = 0$   
 $V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_d} \frac{N}{mm^2}$  **(6.47)**

$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$

$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.61 \frac{N}{mm^2}$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.12 > 1,0$  **OK**

**Opptredende betongvolum**

Betongmengde gruppe 1:  $V_{11} := 11 \cdot (b_{f11}^2 \cdot h_{f11} + b_{s11}^2 \cdot h_{s11}) = 1.87 \text{ m}^3$

Betongmengde gruppe 2:  $V_{12} := 3 \cdot (b_{f12}^2 \cdot h_{f12} + b_{s12}^2 \cdot h_{s12}) = 0.72 \text{ m}^3$

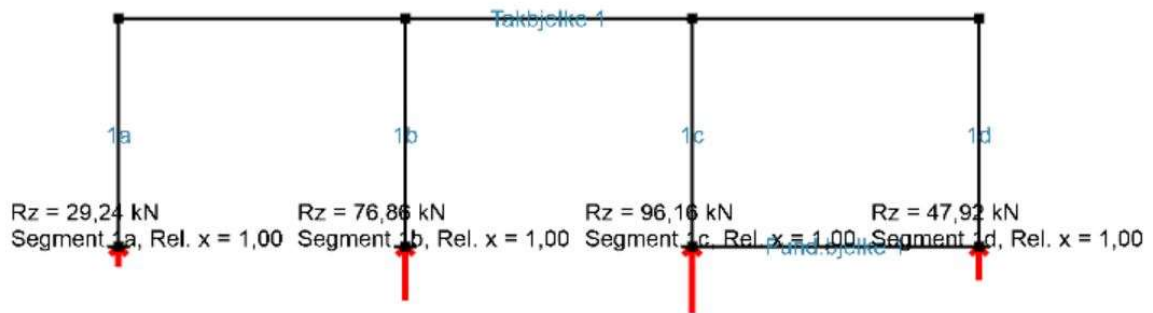
Total betongmengde:  $V_{tot1} := V_{11} + V_{12} = 2.58 \text{ m}^3$



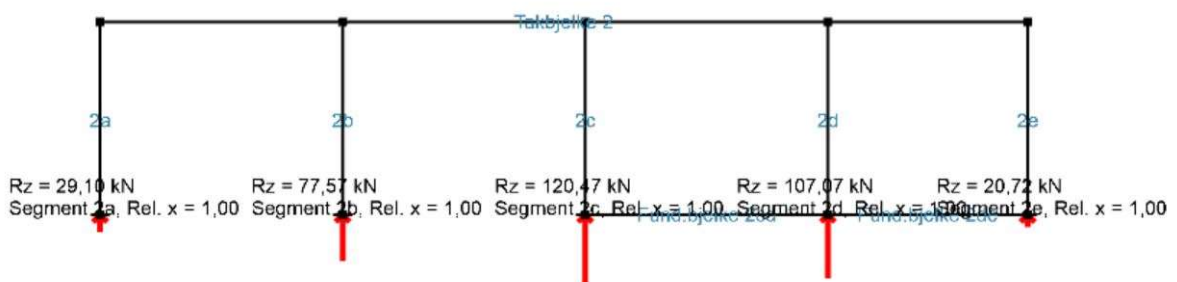
# Vedlegg E

Beregningsrapport: Alternativ 2

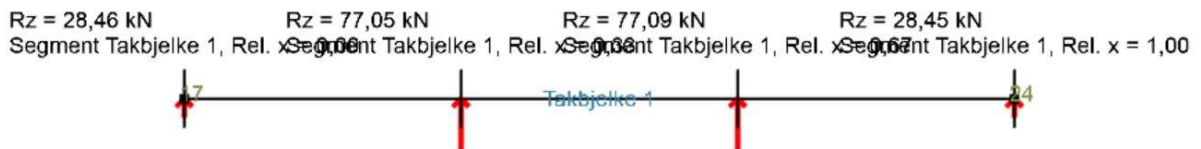
## Focus Konstruksjon for alternativ 2



Figur 1 Opplagerkrefter i 2D



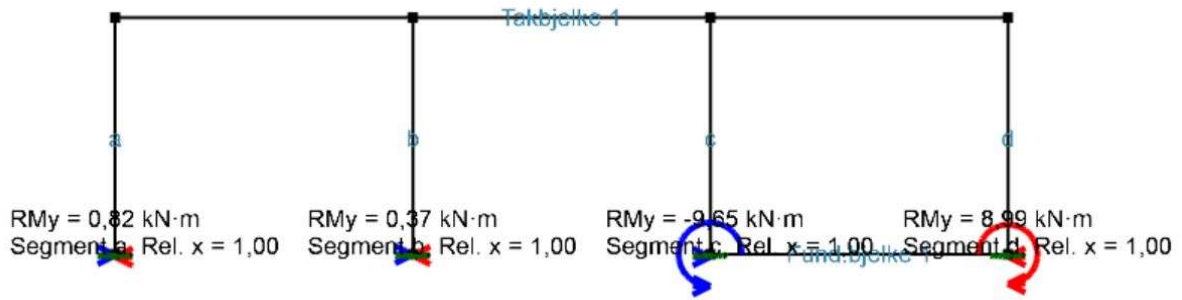
Figur 2 Opplagerkrefter i 2D



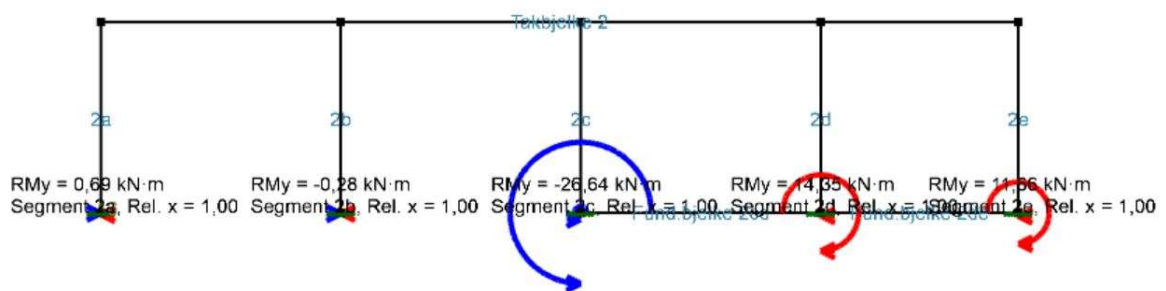
Figur 3 Opplagerkrefter for takbjelker i 2D



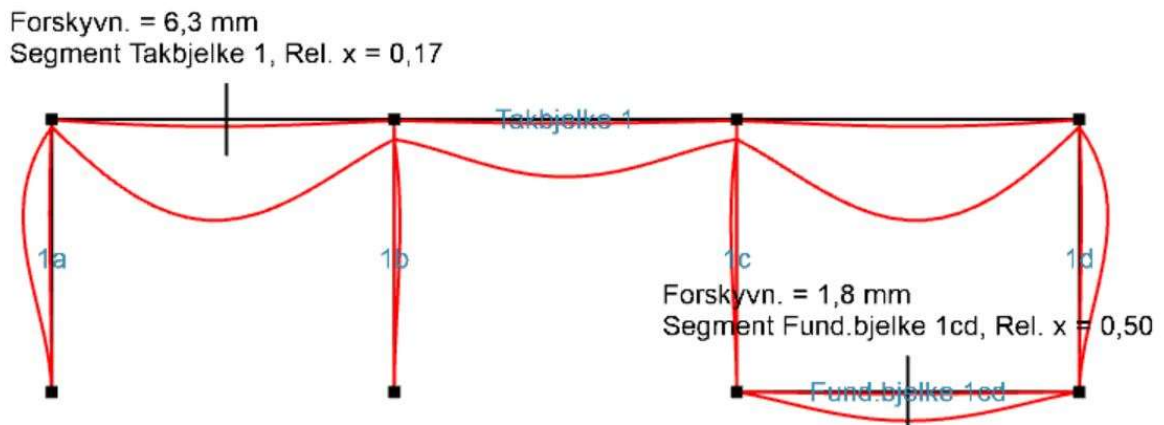
Figur 4 Opplagerkrefter for takbjelker i 2D



Figur 5 Moment i fundamenter i 2D

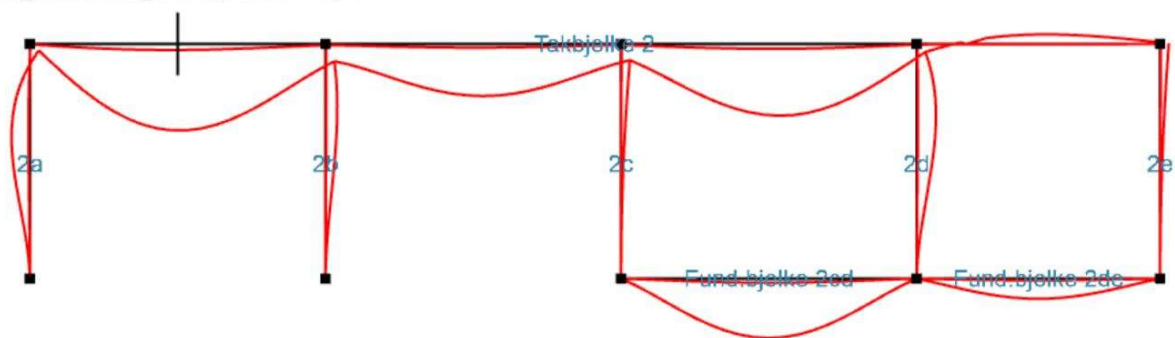


Figur 6 Moment i fundamenter i 2D

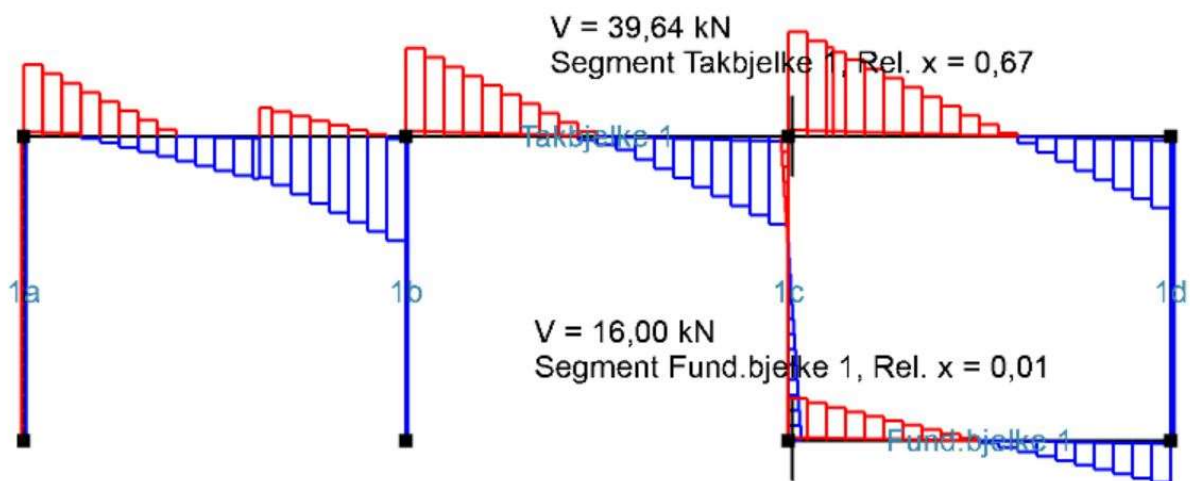


Figur 7 Forskyvning i 2D

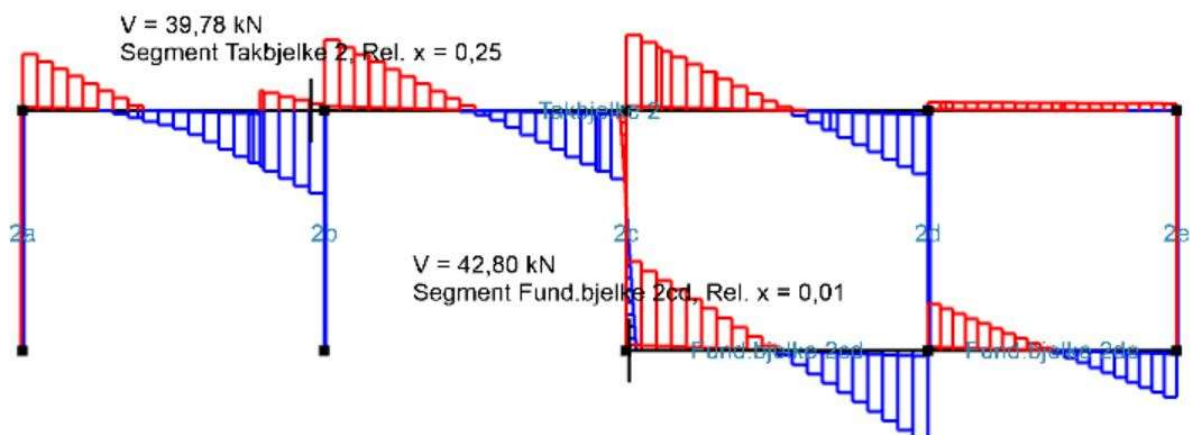
Forskyvn. = 6,3 mm  
 Segment Takbjelke 2, Rel. x = 0,13



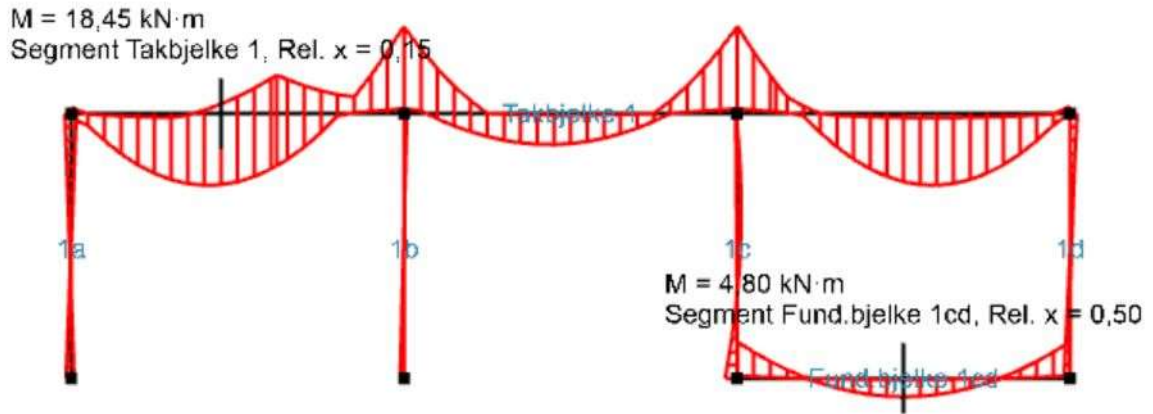
Figur 8 Foskyvning i 2D



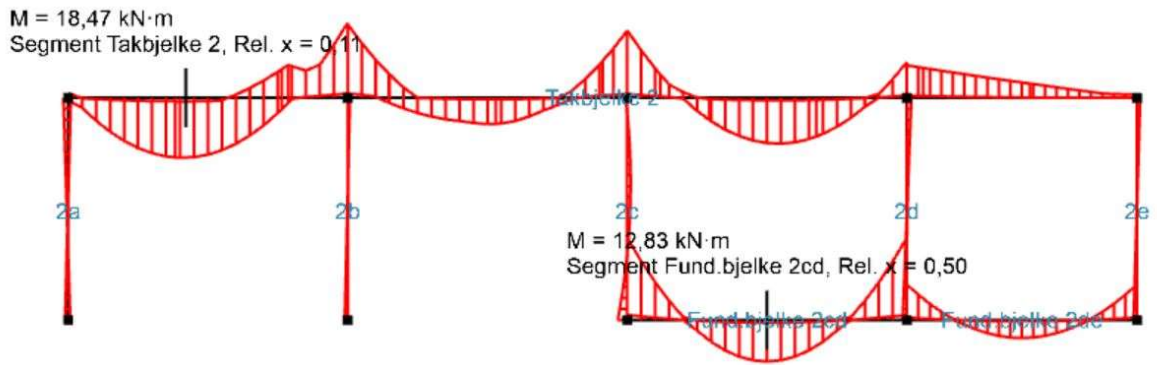
Figur 9 Skjærtdiagram i 2D



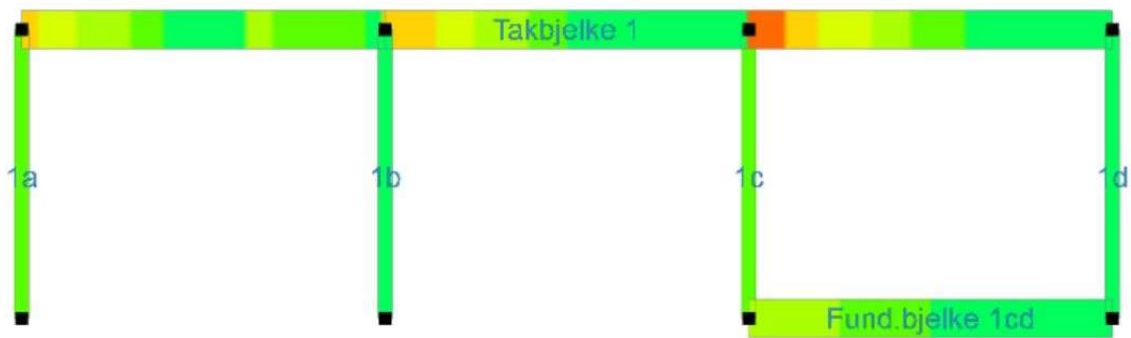
Figur 10 Skjærtdiagram i 2D



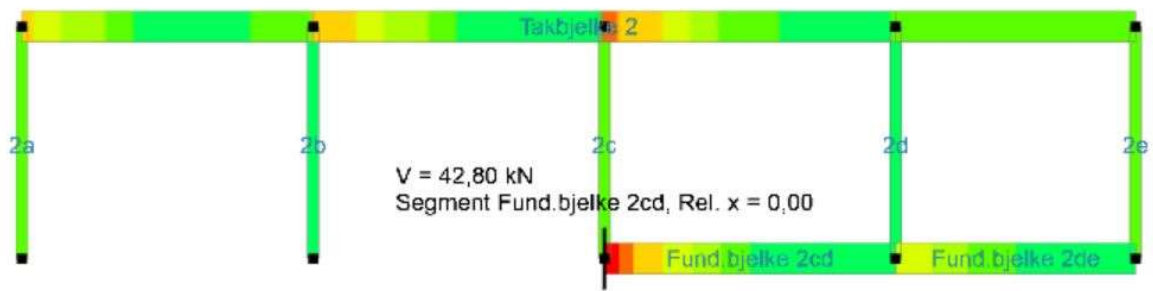
Figur 11 Momentdiagram i 2D



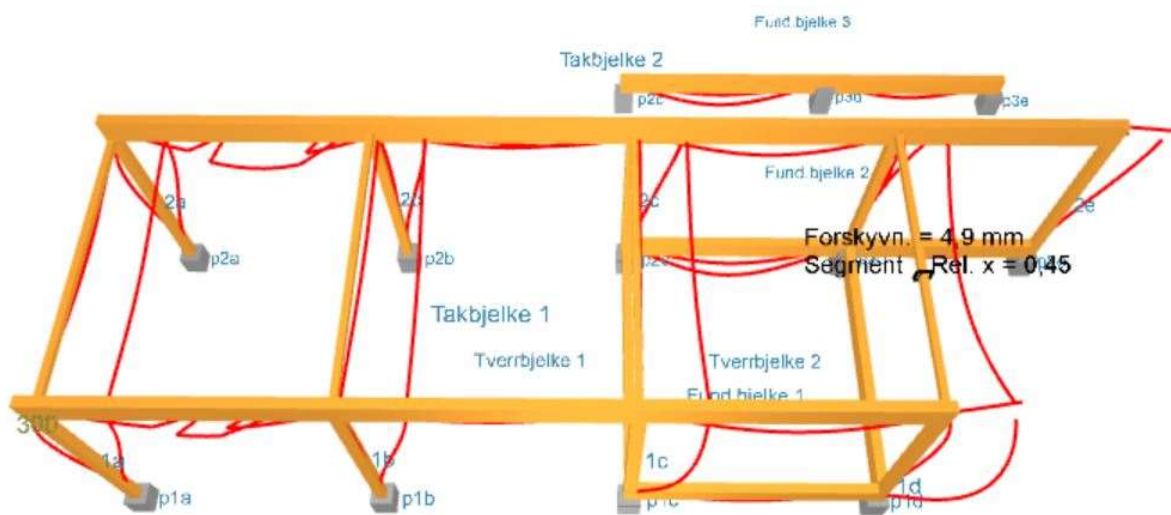
Figur 12 Momentdiagram i 2D



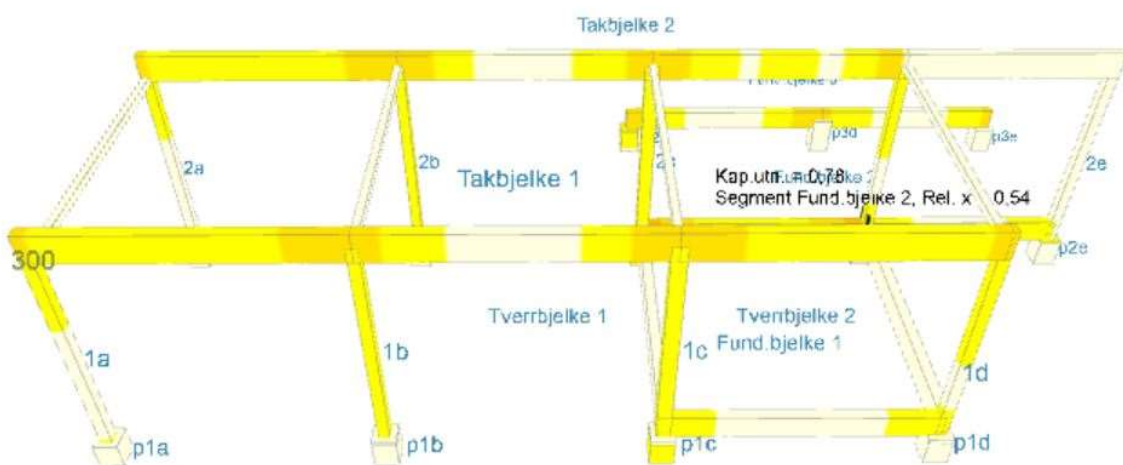
Figur 13 Segmentkart for skjær i 2D



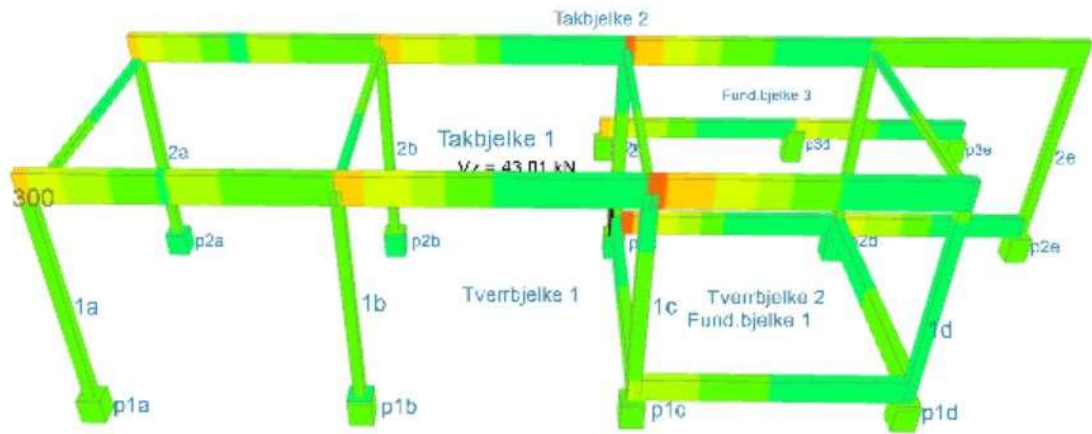
Figur 14 Segmentkart for skjær i 2D



Figur 15 Forskyvning i 3D



Figur 16 Kapasitetsutnyttelse i 3D



Figur 17 Segmentkart skjært i 3D

## Takbjelke

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

GL32C Klimaklasse 3

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 315 \text{ mm}$$

$$l_{spenn} := 3355 \text{ mm}$$

$$b_{last} := 2000 \text{ mm}$$

$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Table 4  
iht. (56)  
Tabell 3.1

$$k_{mod} := 0.7$$

$$k_{def} := 2.0$$

Tabell 3.2

$$k_h := \min \left( 1.1, \left( \frac{600 \text{ mm}}{h} \right)^{0.1} \right) = 1.07$$

(3.2)

$$\gamma_M := 1.15$$

Tabell NA.2.23

$$k_m := 0.7$$

(pkt. 6.1.6  
(2))

$$R_{ed} := 0.74$$

pkt. 224  
iht. (58)

### Laster

$$g_{k21} := 0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{k21} := 6.72 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k21} := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_d := g_{k21} \cdot 1.35 = 1.32 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_d := s_{k21} \cdot 1.5 = 10.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_d := q_{k21} \cdot 1.5 = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,y} := g_d + s_d + q_d = 20.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,z} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Kombinasjonsfaktorer for  $\psi$  for bygninger

$$\psi_{2.1} := 0.2 \quad \psi_{0.2} := 0.7 \quad \psi_{2.2} := 0.6$$

(Tabell  
NA.A1.1)  
iht. (20)

### Kontrollerer spennvidde for bjelken

Kapasitet for spenn på 3.5 m:  $Q_{3.5} := 28 \frac{N}{mm}$

Tabell 21d  
iht. (58)

Kapasitet justert for klimaklasse 3:  $K_{ap} := R_{ed} \cdot Q_{3.5} = 20.72 \frac{kN}{m}$

OK

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{20.403}{20.72} \cdot 100 = 98.47$$

### Karakteriske fastheter og stivheter

Table 4  
iht. (56)

$$f_{vk} := 3.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{vyd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vk}}{\gamma_M} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mk} := 32 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.77 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.77 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

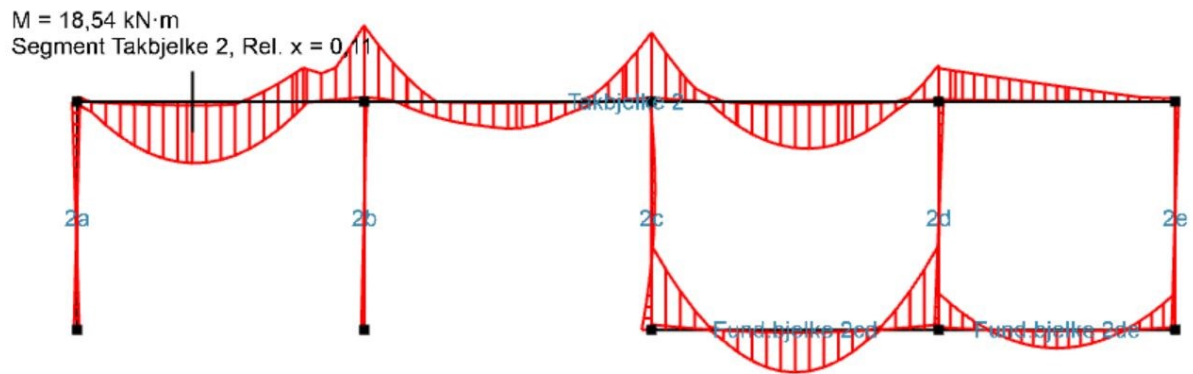
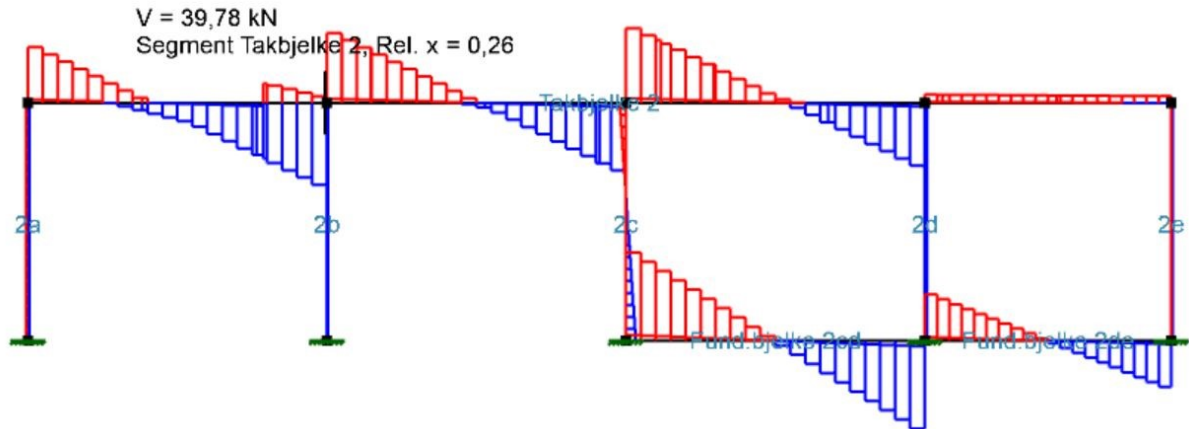
$$f_{c90d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c90k}}{\gamma_M} = 1.52 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0gmean} := 13500 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{gmean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

## Moment og skjærkraft



$$V_{Ed} := 39.78 \text{ kN}$$

$$R_z := 77.87 \text{ kN}$$

$$M_{yed} := 18.54 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{zed} := 0 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = (7.2 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = (3.65 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$z := \frac{h}{2} = 157.5 \text{ mm}$$

### Trykk vinkelrett på fiberretningen (6.1.5)

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \quad (6.3)$$

$$l_{efl} := 135 \text{ mm} + 2 \cdot 30 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := 140 \text{ mm} \cdot l_{efl} = (2.73 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$k_{c90} := 1$$

pkt. 2

$$F_{c90d} := R_z = 77.87 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_{c90d}}{A_{ef}} = 2.85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.4)$$

$$k_{c90} \cdot f_{c90d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

IKKE OK

$$f'_{c90k} := 5.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tabell 3  
iht. (60)

$$f'_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f'_{c90k}}{\gamma_M} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f'_{c90d} \cdot k_{c90} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

OK

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c90} \cdot f'_{c90d}} \cdot 100 = 82.21$$

### Bøyning

For at bøyning skal være ok må følgende være oppfylt:

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.12)$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yed}}{I_y} \cdot z = 8.01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zed}}{I_z} \cdot z = 0 \frac{N}{mm^2}$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.39$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.27$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{0.385}{1} \cdot 100 = 38.5$$

$$\frac{0.27}{1} \cdot 100 = 27$$

### Skjær

Følgende formel må være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad (6.13)$$

$$k_{cr} := 0.67 \quad (\text{pkt 2})$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = 2.02 \frac{N}{mm^2} \quad (6.60)$$

$$f_{vyd} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\tau_d}{f_{vyd}} \cdot 100 = 94.79$$

## Nedbøyningskontroll

Tar utgangspunkt i limtreboka kap. 6.

Antar først at snølast er dominerende variabel last

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.18 \quad (6-18) \quad \text{iht. (35)}$$

Øyeblikksnedbøyning

Egenlast bøyespenning  $W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.33 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$

Egenlast skjærspenning  $W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.06 \text{ mm}$

Snølast bøyespenning  $W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.25 \text{ mm}$

Snølast skjærspenning  $W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.4 \text{ mm}$

Nyttelast bøyespenning  $W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.01 \text{ mm}$

Nyttelast skjærspenning  $W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.35 \text{ mm}$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.99 \text{ mm} \quad (6-10) \quad \text{iht. (35)}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.17 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 3.15 \text{ mm} \quad (6-11) \quad \text{iht. (35)}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.55 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 3.82 \text{ mm} \quad (6-12) \quad \text{iht. (35)}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.67 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 9.36 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin,krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 11.18 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin,krav}} \cdot 100 = 83.67$$

**Antar så at nyttelast er dominerende variabel last**

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.18 \quad (6-18) \text{ iht. (35)}$$

Øyeblikksnedbøyning

$$\text{Egenlast bøyespenning} \quad W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.33 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$$

$$\text{Egenlast skjærspenning} \quad W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.06 \text{ mm}$$

$$\text{Nyttelast bøyespenning} \quad W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.01 \text{ mm}$$

$$\text{Nyttelast skjærspenning} \quad W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.35 \text{ mm}$$

$$\text{Snølast bøyespenning} \quad W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k21} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.25 \text{ mm}$$

$$\text{Snølast skjærspenning} \quad W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.4 \text{ mm}$$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.99 \text{ mm} \quad (6-10) \text{ iht. 35}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.17 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 2.81 \text{ mm} \quad (6-11) \text{ iht. 35}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.49 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 4.28 \text{ mm} \quad (6-12) \text{ iht. 35}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.75 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 9.5 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin,krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 11.18 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin,krav}} \cdot 100 = 84.94$$

### Torsjonsstabilitet (6.3.3)

Følgende formel må være oppfylt:

$$\sigma_{myd} \leq k_{crit} \cdot f_{myd} \quad (6.33)$$

Tabell 6.1

$$l_{ef} := 0.9 l_{spenn} + 2 \cdot h = (3.65 \cdot 10^3) \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 148.94 \frac{N}{mm^2} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.46 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.0 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{myd} = 8.01 \frac{N}{mm^2} \quad k_{crit} \cdot f_{myd} = 20.77 \frac{N}{mm^2} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \cdot 100 = 38.55$$



## Fundamentbjelke

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

GL32C Klimaklasse 3 Pålitelighetsklasse 2

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 360 \text{ mm}$$

$$l_{spenn} := 3355 \text{ mm}$$

$$b_{last} := 2000 \text{ mm}$$

$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$k_{def} := 2.0 \quad k_{mod} := 0.7$$

$$k_h := \min \left( 1.1, \left( \frac{600 \text{ mm}}{h} \right)^{0.1} \right) = 1.05$$

$$\gamma_M := 1.15$$

$$k_m := 0.7$$

$$R_{ed} := 0.74$$

Table 4  
iht. (56)  
Tabell 3.1

Tabell 3.2

(3.2)

Tabell NA.2.23

(6.1.6(2))

Tabell 21d  
iht. (58)

### Laster

$$g_{k28} := 0.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{k27} := 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_{k28} := 5.38 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k28} := 4.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{k27} := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_d := (g_{k28} + g_{k27}) \cdot 1.35 = 1.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$s_d := s_{k28} \cdot 1.5 = 8.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_d := (q_{k28} + q_{k27}) \cdot 1.5 = 16.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{tot,y} := g_d + s_d + q_d = 26.21 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad q_{tot,z} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

### Kontrollerer spennvidde for bjelken

$$\text{Kapasitet for spenn på 3.5 m: } Q_{3.5} := 32.1 \frac{N}{mm}$$

Tabell 21 d  
iht. (58)

$$\text{Kapasitet for spenn på 3 m: } Q_3 := 37.4 \frac{N}{mm}$$

$$\text{Interpolerer for spenn på 3.355m: } Q_{3.355} := Q_{3.5} + \frac{Q_3 - Q_{3.5}}{500} \cdot 355 = 35.86 \frac{N}{mm}$$

$$\text{Kapasitet justert for klimaklasse 3: } K_{ap} := R_{ed} \cdot Q_{3.355} = 26.54 \frac{kN}{m}$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [%]:

$$\frac{q_{tot,y}}{K_{ap}} \cdot 100 = 98.78$$

### Karakteriske fastheter og stivheter

$$f_{vyk} := 3.5 \frac{N}{mm^2} \quad f_{vyd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{vyk}}{\gamma_M} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

Table 4  
iht. (56)

$$f_{mk} := 32 \frac{N}{mm^2} \quad f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 20.5 \frac{N}{mm^2}$$

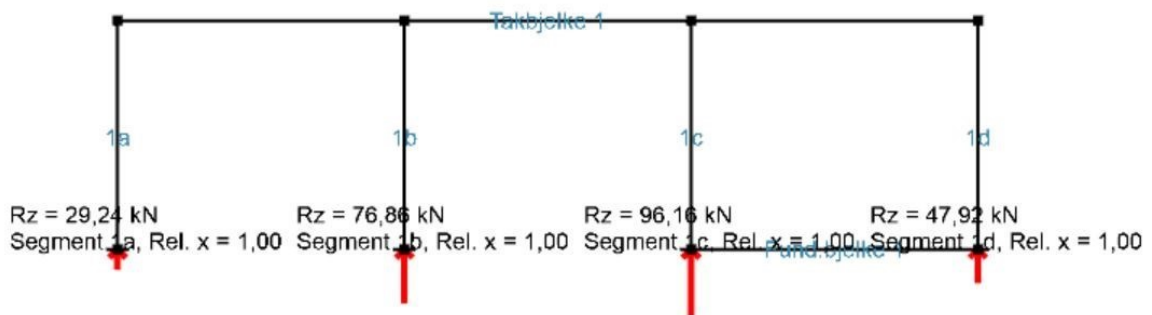
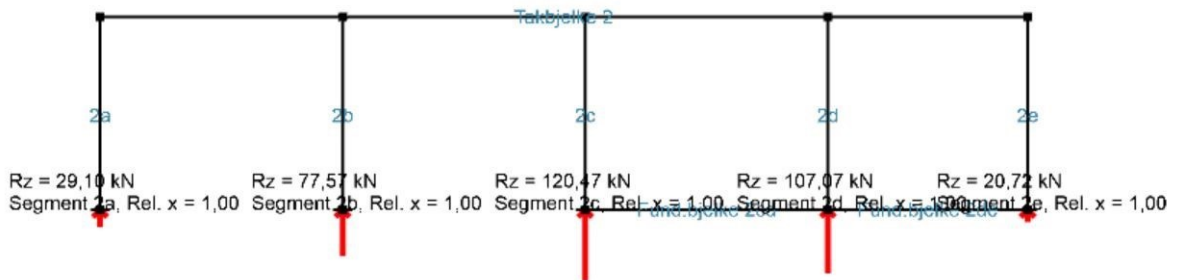
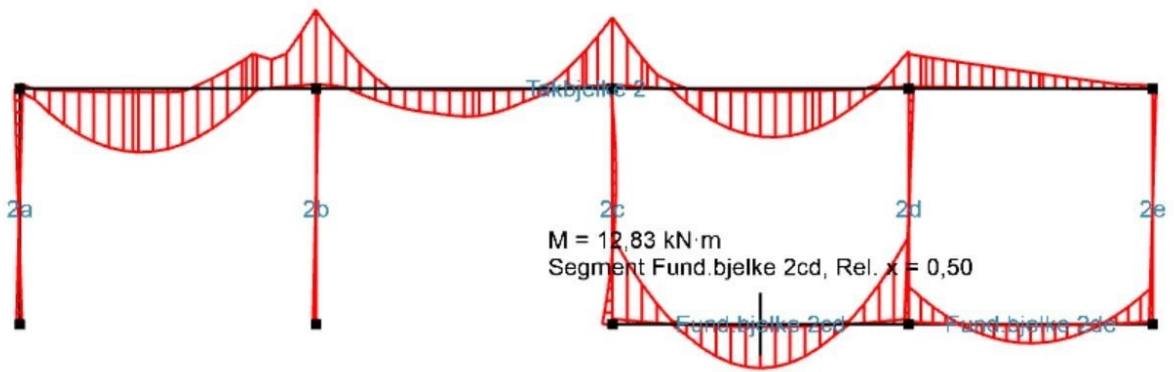
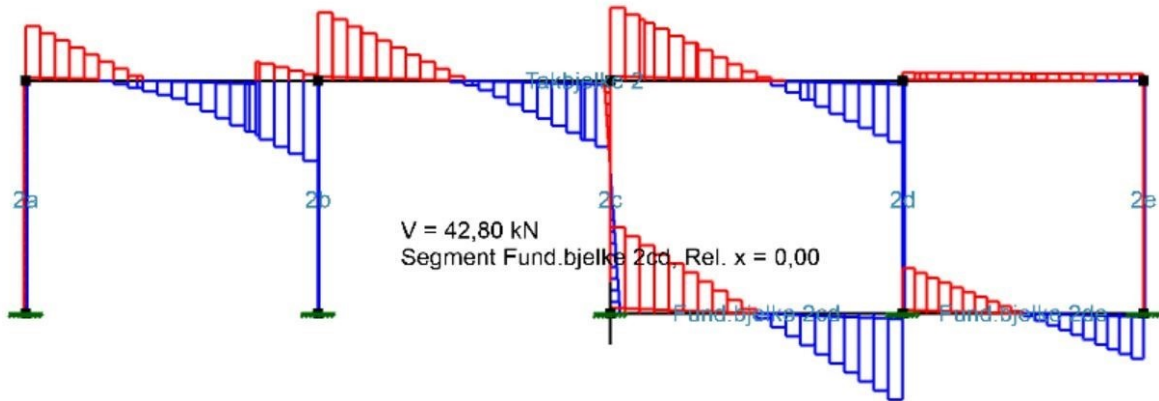
$$f_{c90k} := 2.5 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0gmean} := 13500 \frac{N}{mm^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{gmean} := 650 \frac{N}{mm^2}$$

## Moment og skjærkraft



$$V_{Ed} := 44.71 \text{ kN}$$

$$R_z := 120.47 \text{ kN}$$

$$M_{yed} := 12.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{zed} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$I_z := \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = (8.23 \cdot 10^7) \text{ mm}^4$$

$$I_y := \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = (5.44 \cdot 10^8) \text{ mm}^4$$

$$z := \frac{h}{2} = 180 \text{ mm}$$

Verdier for  $\psi$  for bygninger :

$$\psi_{2.1} := 0.2 \quad \psi_{0.2} := 0.7 \quad \psi_{2.2} := 0.6$$

**Tabell NA.A1.1)**  
**iht. (20)**

**Trykk vinkelrett på fiberretningen (6.1.5)**

$$\sigma_{c90d} \leq k_{c90} \cdot f_{c90d} \quad (6.3)$$

$$f_{c90d} := \frac{k_{mod} \cdot f_{c90k}}{\gamma_M} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$l_{efl} := 135 \text{ mm} + 2 \cdot 30 \text{ mm} = 195 \text{ mm}$$

$$A_{ef} := 140 \text{ mm} \cdot l_{efl} = 0.03 \text{ m}^2$$

$$k_{c90} := 1$$

**6.1.5 (pkt 2)**

$$F_{c90d} := R_z = 120.47 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c90d} := \frac{F_{c90d}}{A_{ef}} = 4.41 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (6.4)$$

$$k_{c90} \cdot f_{c90d} = 1.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**IKKE OK**

$$f_{c90k} := 5.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Tabell 3**  
**iht. (60)**

$$f_{c90d} := k_{mod} \cdot \frac{f_{c90k}}{\gamma_M} = 3.47 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c90d} \cdot k_{c90} = 3.47 \frac{N}{mm^2}$$

IKKE OK

Alternativ løsning må oppfylle to betingelser:

$$R_z \leq f_{c90d} \cdot b \cdot l_{ef2} \quad R_z \leq k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd})$$

Betingelse 1:

$$l_{ef2} := l_{ef1} + 2 \cdot 220 \text{ mm} = 635 \text{ mm}$$

$$b \cdot l_{ef2} \cdot f_{c90d} = 135.28 \text{ kN}$$

$$R_z = 120.47 \text{ kN}$$

OK

For å oppfylle betingelse 2, må det regnes på skruekapasitet. Tar utangspunkt i skrue med diameter på 7. mm og lengde 220 mm, valgt for å oppfylle betingelse 1.

$$d_1 := 7 \text{ mm} \quad n := 6$$

$$f_{uk} := 800 \frac{N}{mm^2} \quad t := 6 \text{ mm}$$

$$l_{skrue} := 220 \text{ mm} \quad l_{gjeng} := 210 \text{ mm}$$

$$l_{ef} := l_{gjeng} - d_1 = 203 \text{ mm}$$

$$k_d := \min\left(1, \frac{d_1}{8 \text{ mm}}\right) = 0.88$$

(8.40)

$$k_{mod} := 0.7$$

$$n_{ef} := n^{0.9} = 5.02$$

(8.34)

$$\gamma_{M2} := 1.25 \quad \gamma_M := 1.3$$

$$f_u := 490 \frac{N}{mm^2}$$

Tabel 2.1  
iht. (78)  
Tabell 3.1  
iht. (70)

$$f_{yk} := 355 \frac{N}{mm^2} \quad f_{yd} := f_{yk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 191.15 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ub} := 600 \frac{N}{mm^2}$$

Tabell 3.1  
iht. (78)

Aksialkapasitet som bidrar til taueffekt antas 100% for skruer:

$$f_{ax.k} := 0.52 \cdot \left(\frac{d_1}{mm}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{l_{ef}}{mm}\right)^{-0.1} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\frac{kg}{m^3}}\right)^{0.8} \cdot \frac{N}{mm^2} = 15.05 \frac{N}{mm^2} \quad (8.39)$$

I bjelke,  
vinkelrett på  
fiberretning:

$$F_{ax.90.Rk} := \frac{n_{ef} \cdot f_{ax.k} \cdot d_1 \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(90)^2 + \sin(90)^2} = 90.22 \text{ kN} \quad (8.38)$$

$$F_{ax.90.Rd} := F_{ax.90.Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 48.58 \text{ kN}$$

$$e_1 := 1.2 \cdot d_1 = 8.4 \text{ mm}$$

$$e_2 := 1.2 \cdot d_1 = 8.4 \text{ mm}$$

**Tabell 3.3  
iht. (78)**

$$p_1 := 2.2 \cdot d_1 = 15.4 \text{ mm}$$

$$p_2 := 2.4 \cdot d_1 = 16.8 \text{ mm}$$

$$\alpha_b := \min\left(\frac{e_1}{2 \cdot d_1}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1\right) = 0.6$$

**Tabell 3.4**

$$k_1 := \min\left(2.8 \cdot \frac{e_2}{d_1}, 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_1} - 1.7, 2.5\right) = 1.66$$

**Tabell 3.4**

$$F_{b.Rd} := \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d_1 \cdot t}{\gamma_{M2}} = 16.4 \text{ kN}$$

**Tabell 3.4**

$$k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd}) = 139.93 \text{ kN}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent] for betingelse 1 og 2:

$$\frac{R_z}{b \cdot l_{ef2} \cdot f_{c90d}} \cdot 100 = 89.05$$

$$\frac{R_z}{k_{c90} \cdot b \cdot l_{ef1} \cdot f_{c90d} + n \cdot \min(F_{ax.90.Rd}, F_{b.Rd})} \cdot 100 = 86.09$$

Sjekker for om dette er nødvendig for alle forbindelsene. Dette gjøres ved å finne maksimal trykkraft på bjelken som er OK for alternativ fra treteknisk rapport.

$$\frac{\sigma_{c90d}}{k_{c90} \cdot f_{c90d}} \leq 1$$

$$F_{c90d.maks} := k_{c90} \cdot f_{c90d} \cdot A_{ef} = 94.72 \text{ kN}$$

Alle overganger mellom søyle og bjelke der trykkraft er større enn 94.7 kN trenger forsterkning ved hjelp av stålplater og skruer. Dette gjelder i overgang mellom bjelke og søyle 1c, 2c, 2d.

Finner stålplatens tykkelse:

$$F_{c.90.d} := \frac{F_{b.Rd}}{n} = 2.73 \text{ kN}$$

$$t := \max \left( 5.0 \text{ mm}, 1.45 \cdot \sqrt{\frac{F_{c.90.d}}{f_{yd}}} \right) = 5.48 \text{ mm}$$

### Bøyning (6.1.6)

For at bøyning skal være ok må følgende være oppfylt:

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} < 1 \quad (6.12)$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yed}}{I_y} \cdot z = 4.24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{M_{zed}}{I_z} \cdot z = 0 \frac{1}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.21$$

**OK**

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} = 0.14$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{0.207}{1} \cdot 100 = 20.7$$

$$\frac{0.145}{1} \cdot 100 = 14.5$$

### Skjær (6.1.7)

Følgende formel må være oppfylt:

$$\tau_d \leq f_{vyd} \quad (6.13)$$

$$k_{cr} := 0.67 \quad (\text{pkt 2})$$

$$\tau_d := \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{k_{cr} \cdot b \cdot h} = 1.99 \frac{N}{mm^2} \quad (6.60)$$

$$f_{vyd} = 2.13 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_d \leq f_{vgd} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\tau_d}{f_{vyd}} \cdot 100 = 93.22$$

### Nedbøyningskontroll

Tar utgangspunkt i limtreboka kap. 6

Sjekker først med snølast som dominerende variabel last:

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.23 \quad (6-18) \text{ iht. (35)}$$

Øyeblikksnedbøyning

$$\text{Egenlast bøyespenning} \quad W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k27} + g_{k28}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.32 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$$

$$\text{Egenlast skjærspenning} \quad W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.07 \text{ mm}$$



Snølast bøyespenning  $W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k28} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 1.21 \text{ mm}$

Snølast skjærspenning  $W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.28 \text{ mm}$

Nyttelast bøyespenning  $W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{k27} + q_{k27}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.69 \text{ mm}$

Nyttelast skjærspenning  $W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.62 \text{ mm}$

Netto nedbøyning:

$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.97 \text{ mm}$  (6-10)  
iht. (35)

$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.22 \text{ mm}$

$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 1.69 \text{ mm}$  (6-10)  
iht. (35)

$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.39 \text{ mm}$

$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 5.12 \text{ mm}$  (6-11)  
iht. (35)

$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 1.18 \text{ mm}$

$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 9.57 \text{ mm}$  (6-12)  
iht. (35)

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$W_{net,fin.krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 11.18 \text{ mm}$  OK

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 85.53$

**Sjekker så med nyttelast som dominerende variabel last:**

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.23 \quad \begin{array}{l} \text{(6-18)} \\ \text{iht. (35)} \end{array}$$

Øyeblikksnedbøyning

Egenlast bøyespenning 
$$W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(g_{k28} + g_{k27}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.32 \text{ mm} \quad \text{iht. (55)}$$

Egenlast skjærspenning 
$$W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.07 \text{ mm}$$

Nyttelast bøyespenning 
$$W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{k28} + q_{k27}) \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 2.42 \text{ mm}$$

Nyttelast skjærspenning 
$$W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.56 \text{ mm}$$

Snølast bøyespenning 
$$W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{k28} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 1.21 \text{ mm}$$

Snølast skjærspenning 
$$W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.28 \text{ mm}$$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 0.97 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{(6-10)} \\ \text{iht. (35)} \end{array}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.22 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 3.39 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{(6-11)} \\ \text{iht. (35)} \end{array}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.78 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 2.29 \text{ mm} \quad \begin{array}{l} \text{(6-12)} \\ \text{iht. (35)} \end{array}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.53 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 8.19 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin,krav} := \frac{l_{spenn}}{300} = 11.18 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin,krav}} \cdot 100 = 73.22$$

### Torsjonsstabilitet (6.3.3)

Følgende formler må være oppfylt:

$$\sigma_{myd} \leq k_{crit} \cdot f_{myd} \quad (6.33)$$

$$\lambda_{rel,m} < 0.75 \quad (6.34)$$

$$l_{ef} := 0.9 l_{spenn} + 2 \cdot h = (3.74 \cdot 10^3) \text{ mm} \quad \text{Tabell 6.1}$$

$$\sigma_{m,crit} := \frac{0.78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0.05} = 127.19 \frac{N}{mm^2} \quad (6.32)$$

$$\lambda_{rel,m} := \sqrt[2]{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}} = 0.5 \quad (6.30)$$

$$k_{crit} := 1.0 \quad (6.34)$$

$$\sigma_{myd} = 4.24 \frac{N}{mm^2} \quad k_{crit} \cdot f_{myd} = 20.5 \frac{N}{mm^2} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \cdot 100 = 20.7$$

## Søyleberegninger

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

På grunn av varierende trykkraft i kombinasjon med varierende last som virker om y- og z- akse blir det foretatt kontroller for tre ulike søylegrupper.

### Forutsetninger og antakelser

$$b := 140 \text{ mm}$$

$$h := 135 \text{ mm}$$

$$L_{kyz} := 2700 \text{ mm}$$

$$A := b \cdot h = (1.89 \cdot 10^4) \text{ mm}^2$$

$$\gamma_m := 1.15$$

Tabell NA.2.3

$$k_{mod} := 0.7$$

Tabell 3.1

$$k_m := 0.7$$

(6.1.6(2))

$$\beta_c := 0.1$$

(6.29)

$$k_h := \min\left(1.1, \left(\frac{600 \text{ mm}}{h}\right)^{0.1}\right) = 1.1$$

(3.2)

$$R_{ed} := 0.81$$

pkt.235  
Iht. (57)

$$F_{kk3} := 1.23$$

pkt. 244  
Iht. (57)

Maksimalle oppleggskrefter som gir trykk:

Rz = 30,19 kN Segment 3, Rel. x = 0,00      Rz = 81,72 kN Segment 3, Rel. x = 0,33      Rz = 81,76 kN Segment 3, Rel. x = 0,67      Rz = 30,17 kN Segment 3, Rel. x = 1,00



Rz = 30,13 kN Segment 10, Rel. x = 0,00      Rz = 82,59 kN Segment 10, Rel. x = 0,26      Rz = 76,96 kN Segment 10, Rel. x = 0,52      Rz = 38,47 kN Segment 10, Rel. x = 0,78      Rz = -0,03 kN Segment 10, Rel. x = 1,00



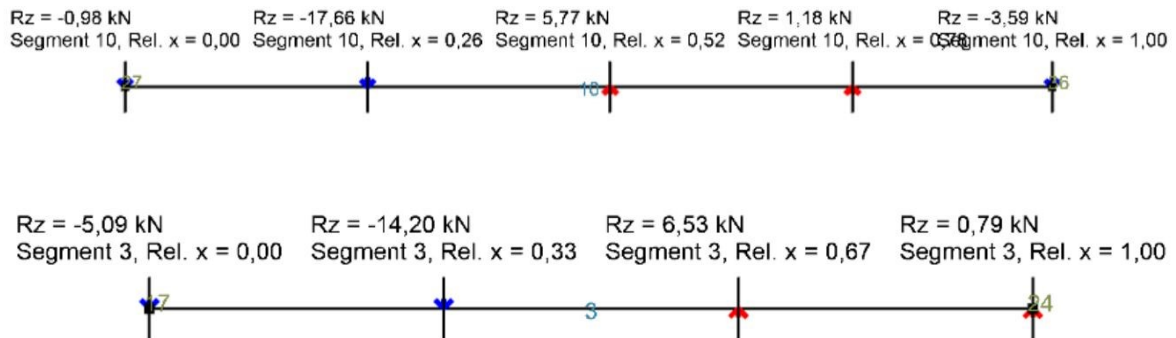
Dim. trykkraft:

$$N_{2b.Ed} := 82.59 \text{ kN}$$

$$N_{1c.Ed} := 81.76 \text{ kN}$$

$$N_{2d.Ed} := 38.47 \text{ kN}$$

Maksimalle oppleggskrefter som gir strekk:



Dim. strekkraft:  $N_{2bs.Ed} := 17.66 \text{ kN}$

Last om y-akse:  $q_{c.y} := 2.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$   $q_{d.y} := 2.47 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Last om z-akse:  $q_{c.z} := 1.93 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$   $q_{d.z} := 0.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Dim. moment for søyler belastet med bøyning om z- og x-akse, fra vedlegg  $M_{c.yd} := \frac{q_{c.y} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 1.85 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{d.yd} := \frac{q_{d.y} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 2.25 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{c.zd} := \frac{q_{c.z} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 1.76 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{d.zd} := \frac{q_{d.z} \cdot L_{kyz}^2}{8} = 0.69 \text{ kN} \cdot \text{m}$

### Fastheter og stivheter

I henhold til NS 14080 (49)

$f_{c0k} := 24.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{c0d} := \frac{f_{c0k}}{\gamma_m} \cdot k_{mod} = 14.91 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{t0k} := 19.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{t0d} := f_{t0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_m} = 11.87 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{mk} := 32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} \cdot k_h = 21.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_m} \cdot k_h = 21.43 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$E_{0.05} := 11200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Arealtreghetsmoment og slankheter

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 38.97 \text{ mm}$$

$$i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 40.41 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{kyz}}{i_y} = 69.28$$

$$\lambda_z := \frac{L_{kyz}}{i_z} = 66.81$$

**Søylegruppe 1: kontrollerer søyle 2b da denne er utsatt for størst trykkkraft og størst strekkraft**

Vil være gjledende for søylegruppe 1: søyle 1a, 1b, 2a, 2b, 2e

Dimensjonerende spenninger for gruppe 1:

$$\sigma_{2b.myd} := \frac{0 \text{ kN}\cdot\text{m}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{2b.mzd} := \frac{0 \text{ kN}\cdot\text{m}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{2b.c0d} := \frac{N_{2b.Ed}}{A} = 4.37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{2b.t0d} := \frac{N_{2bs.Ed}}{A} = 0.93 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

**Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen**

Kapasitet i z-retning

fra tabell:  $Q_z := 245 \text{ kN}$

**Tabell 21 b**

**Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning

fra tabell:  $Q_x := 257 \text{ kN}$

Kapasitet justert for

klimaklasse 3:  $K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 198.45 \text{ kN}$

$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 208.17 \text{ kN}$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{N_{2b.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 41.62$$

$$\frac{N_{2b.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 39.67$$

### Stabilitetskontroll

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.03 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.99 \quad (6.22)$$

Ettersom disse er større enn 0.3 må følgende betingelser oppfylles:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.07 \quad (6.27)$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.03 \quad (6.28)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = 0.39 \quad (6.25)$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0.41 \quad (6.26)$$

$$\frac{\sigma_{2b.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{2b.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{2b.mzd}}{f_{mzd}} = 0.75$$

$$\frac{\sigma_{2b.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{2b.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{2b.mzd}}{f_{mzd}} = 0.72 \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.75}{1} \cdot 100 = 75$$



$$\frac{0.72}{1} \cdot 100 = 72$$

### Kontroll av søyle utsatt for strekk i fiberretningen

$$\sigma_{t0d} < f_{t0d} \quad (6.1)$$

$$\sigma_{2b.t0d} = 0.93 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{t0d} = 11.87 \frac{N}{mm^2} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{\sigma_{2b.t0d}}{f_{t0d}} \cdot 100 = 7.87$$

### Kontroll for trykk i fiberretningen

$$\sigma_{c0d} < f_{c0d} \quad (6.2)$$

$$\sigma_{2b.c0d} = 4.37 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} = 14.91 \frac{N}{mm^2} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{\sigma_{2b.c0d}}{f_{c0d}} \cdot 100 = 29.3$$

### Kontrollerer søyle 1c som er utsatt for nest størst trykkraft og bøyning i y- og z-retning.

Vil være gjeldende for søylegruppe 2: søyle 1c, 2c

Spenninger for søyle 1c:

$$\sigma_{1c.c0d} := \frac{N_{1c.Ed}}{A} = 4.33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{1c.myd} := \frac{M_{c.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 4.35 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{1c.mzd} := \frac{M_{c.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = 3.99 \frac{N}{mm^2}$$

**Stabilitetskontroll:**

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 1.07 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 1.04 \quad (6.24)$$

**IKKE OK**

Oppfyller ikke krav om stabilitet. Endrer dimensjon på denne og tar nye kontroller:

$$b_{1c} := 140 \text{ mm} \quad h_{1c} := 180 \text{ mm}$$

**Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen**

Kapasitet i z-retning  
fra tabell:  $Q_z := 414 \text{ kN}$

**Tabell 21b  
Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning  
fra tabell:  $Q_x := 342 \text{ kN}$

Kapasitet justert for  
klimaklasse 3:  $K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 335.34 \text{ kN}$

$$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 277.02 \text{ kN}$$

**OK**

Kapasitetskontroll [prosent]

$$\frac{N_{1c.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 24.38$$

$$\frac{N_{1c.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 29.51$$

Dimensjonerende spenninger for gruppe 2:

$$\sigma_{1c.c0d} := \frac{N_{1c.Ed}}{A} = 4.33 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{1c.myd} := \frac{M_{c.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{1c} \cdot h_{1c}^2} = 2.45 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{1c.mzd} := \frac{M_{c.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b_{1c}^2 \cdot h_{1c}} = 2.99 \frac{N}{mm^2}$$

$$i_{y1c} := \frac{h_{1c}}{\sqrt{12}} = 51.96 \text{ mm}$$

$$i_{z1c} := \frac{b_{1c}}{\sqrt{12}} = 40.41 \text{ mm}$$

$$\lambda_{y1c} := \frac{L_{kyz}}{i_{y1c}} = 51.96$$

$$\lambda_{z1c} := \frac{L_{kyz}}{i_{z1c}} = 66.81$$

$$\lambda_{rel.y1c} := \frac{\lambda_{y1c}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.77 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel.z1c} := \frac{\lambda_{z1c}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 0.99 \quad (6.22)$$

Ettersom disse er større enn 0.3 må følgende betingelser oppfylles:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

$$k_{y1c} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.y1c} - 0.3) + \lambda_{rel.y1c}^2) = 0.82 \quad (6.27)$$

$$k_{z1c} := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel.z1c} - 0.3) + \lambda_{rel.z1c}^2) = 1.03 \quad (6.28)$$

$$k_{cy1c} := \frac{1}{k_{y1c} + \sqrt{k_{y1c}^2 + \lambda_{rel.y1c}^2}} = 0.51 \quad (6.25)$$

$$k_{cz1c} := \frac{1}{k_{z1c} + \sqrt{k_{z1c}^2 + \lambda_{rel.z1c}^2}} = 0.41 \quad (6.26)$$

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cylc} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 0.78 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cz1c} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 0.93 \quad (6.24)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.78}{1} \cdot 100 = 78$$

$$\frac{0.93}{1} \cdot 100 = 93$$

### Kontroll av søyle utsatt for trykk og bøyning

$$\left( \frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cylc} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 0.53 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{1c.c0d}}{k_{cz1c} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{1c.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{1c.mzd}}{f_{mzd}} = 0.73 \quad (6.20)$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.53}{1} \cdot 100 = 53$$

$$\frac{0.73}{1} \cdot 100 = 73$$

### Kontrollerer søyle 2d som er utsatt for trykkraft og bøyespenning:

Vil være gjeldende for søylegruppe: søyle 1d, 2d

Dimensjonerende spenninger for gruppe 3:

$$\sigma_{2d.c0d} := \frac{N_{2d.Ed}}{A} = 2.04 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{d.myd} := \frac{M_{d.yd}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 5.29 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{d.mzd} := \frac{M_{d.zd}}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = 1.57 \frac{N}{mm^2}$$

## Kontrollerer kapasiteten med hensyn på søyledimensjonen

Kapasitet i z-retning

fra tabell:  $Q_z := 245 \text{ kN}$

**Tabell 21 b**  
**Iht. (57)**

Kapasitet i x-retning

fra tabell:  $Q_x := 257 \text{ kN}$

Kapasitet justert for

klimateklasse 3:  $K_{ap.z} := Q_z \cdot R_{ed} = 198.45 \text{ kN}$

$K_{ap.y} := Q_x \cdot R_{ed} = 208.17 \text{ kN}$

**OK**

Kapasitetskontroll [prosent]

$$\frac{N_{2d.Ed}}{K_{ap.z}} \cdot 100 = 19.39$$

$$\frac{N_{2d.Ed}}{K_{ap.y}} \cdot 100 = 18.48$$

## Stabilitetskontroll

$$\frac{\sigma_{2d.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.65 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{2d.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.58 \quad (6.24)$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.65}{1} \cdot 100 = 65$$

$$\frac{0.58}{1} \cdot 100 = 58$$

## Kontroll for trykk og bøyning

$$\left( \frac{\sigma_{2d.c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.42 \quad (6.19)$$

$$\left( \frac{\sigma_{2d.c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{d.myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{d.mzd}}{f_{mzd}} = 0.36 \quad (6.20)$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.42}{1} \cdot 100 = 42$$

$$\frac{0.36}{1} \cdot 100 = 36$$

## Dimensjonering av søylefundament

i henhold til NS-EN 1992-1-1 (21) dersom ikke annet oppgis.

Søylefundamentenes såle ligger 300 mm under terreng.  
Såle støpes mot 60 mm EPS, over et 100 mm avrettingslag.

Grunnens bæreevne tillater dim. grunntrykk i bruddgrense:

$$\sigma_{gd} := 180 \frac{kN}{m^2}$$
$$q_{Ed} := 180$$

### Overdekning

I fundamenter støpt mot avrettingslag bør nominell overdekning minst være 40 mm.  
Eksponeeringsklasse XC2.  
Forventet fasthetsklasse B25.

NA.4.4.1.3(4)  
Tabell 4.1  
Tabell E.1N

100 års dim. brukstid:  $c_{min.dur} := 35 \text{ mm}$

Velger  $\phi 10$ :  $c_{min.b} := 10 \text{ mm}$

$$c_{min} := \max(c_{min.b}, c_{min.dur}, 10 \text{ mm})$$

$$\Delta c_{dev} := 10 \text{ mm}$$

$$\Delta c_{dur.\gamma}, \Delta c_{dur.st} \text{ og } \Delta c_{dur.st} := 0 \text{ mm}$$

$$c_{nom} := c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 \text{ mm}$$

Tabell NA.4.4N

(4.2)

4.4.1.3 (1)

Anbefalte verdier

(4.1)

### Betong B25

$$\gamma_c := 1.5$$

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

$$f_{ctm} := 2.6 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{ck} := 25 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{cd} := \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 14.17 \frac{N}{mm^2}$$

Tabell 2.1N

Tabell 3.1

(3.15)

### Armering B500NC

$$\gamma_s := 1.15$$

$$f_{yk} := 500 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \frac{N}{mm^2}$$

Tabell 2.1N

Underkantarmering såle: Velger  $\phi 10$ .

Armeringsmengde fastslås for hvert enkelt tilfelle.

Lengdearmering i søyle: Velger minimumsarmering  $\phi 10$  i hvert hjørne av søylen for alle fundamenter.

Skjærarmering i søyle: Velger  $\phi 8$ . Senteravstand av tverrarmeringen langs søylen skal ikke overskride:

$$s_{cl.max} := \min(20 \cdot 10 \text{ mm}, 200 \text{ mm}, 400 \text{ mm})$$

$$s_{cl.max} = 200 \text{ mm}$$

9.5.3 (3)

Senteravstanden bør i tillegg reduseres med en faktor 0,6 i begge søyleender, innenfor en avstand lik største tverrsnittsdimensjon av søylene.

Setter for enkelhetsskyld s120 for alle fundamenter.

9.5.3 (4)

GRUPPE 1: 3 stk. søylefundament (1c, 2c, 2d):

Dimensjonerende aksialkraft på søylefundamentene:  $N_{Ed} := 128 \text{ kN}$

Fundamentene utsettes for moment i alle retninger.

Velger symmetrisk fundament. Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := 27 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Effektiv fundamentbredde:  $b_0 \geq \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}}$ , hvor  $\sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}} = 0.84 \text{ m}$

$$b_0 := 840 \text{ mm} \quad b := 1000 \text{ mm}$$

Ekvivalent eksentrisk vertikallast:  $e_{maks} := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 210.94 \text{ mm}$

Nødvendig fundamentbredde:  $b_{f21} := b_0 + 2 e_{maks} = 1261.88 \text{ mm}$

$$\text{Setter } b_{f21} := 1265 \text{ mm} \quad h_{f21} := 175 \text{ mm} \\ b_{s21} := 200 \text{ mm} \quad h_{s21} := 448 \text{ mm} - h_{f21} = 273 \text{ mm}$$

$$a := \frac{b_{f21} - b_{s21}}{2} = 532.5 \text{ mm}$$

$$d := h_{f21} - c_{nom} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 125 \text{ mm} \quad \text{NA.9.8.2.1(1)}$$

$$r := \frac{10 \text{ mm}}{2} = 5 \text{ mm}$$

Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := \frac{q_{Ed} \cdot a^2}{2} \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 25.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentkapasitet:  $M_{Rd} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 60.87 \text{ kN} \cdot \text{m}$   
 $M_{Rd} > M_{Ed}$

OK

Nødv. armeringstverrsnitt:  $z_0 := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \cdot d \quad z_{maks} := 0.95 d$

$$z := \min(z_0, z_{maks}) = 116.09 \text{ mm}$$

$$A_{sh'} := \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 505.6 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 169 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0.0013 \cdot b \cdot d = 162.5 \text{ mm}^2$$

OK

$$A_{sh} := \max(A_{sh'}, A_{s,min}) = 505.6 \text{ mm}^2$$

Antall stenger:

$$n := \frac{A_{sh}}{\pi \cdot r^2} = 6.44 \quad N := 9 \quad \text{pr. meter}$$

$$s_{uk} \leq \frac{b}{N} = 111.11 \text{ mm}$$



Opptr. armeringstverrsnitt:  $\phi 10s110$  gir:  $A_{sh} := N \cdot \pi \cdot r^2 = 706.86 \text{ mm}^2/m$

Dimensjonerende skjær:  $V_{Ed} := q_{Ed} \cdot a \cdot \frac{kN}{m} = 95.85 \text{ kN}$

Skjærstrekk:  $V_{Ed.2} := q_{Ed} \cdot (a - d) \cdot \frac{kN}{m} = 73.35 \text{ kN}$  **6.2.1 (8)**

$$\rho_{L'} := \frac{A_{sh}}{b_{f21} \cdot d} \quad \rho_L := \min(\rho_{L'}, 0.02) = 0$$

$$c_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad \text{NA.6.4.4(1)}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}} \quad k := \min(2, k) = 2$$

$$V_{Rd.c} := \left( c_{Rd.c} \cdot k \cdot \left( 100 \cdot \rho_L \cdot 25 \right)^{\left( \frac{1}{3} \right)} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f21} \cdot d \quad \text{(6.2.a)}$$

$$v_{min} := \left( 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f21} \cdot d \quad \text{(6.3N)}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 84.85 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.c} > V_{Ed.2} \quad \text{Skjærarmering ikke nødvendig.}$$

Skjærtrykk: Dimensjonerende skjærkraft i kritisk snitt er søylebredden:

$$V_{Ed.1} := q_{Ed} \cdot \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{b_{f21} + b_{s21}}{2} \cdot a = 70.21 \text{ kN} \quad \text{(4.3.11) ihht. (69)}$$

$$v_1 := 0.6 \quad \theta := 45^\circ \quad \text{gir}(\tan(\theta) + \cot(\theta)) = 2$$

$$V_{Rd.max} := b_{f21} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\tan(\theta) + \cot(\theta)} \quad \text{(6.9)}$$

$$V_{Rd.max} = 624.14 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.max} \geq V_{Ed.1} \quad \text{OK}$$

## Gjennomlokkingskontroll

Snitt 1 Avst. fra søylelivet:  $a_{2d} := 2 h_{f21} = 350 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s21} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u_l := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{2d} = 2999.11 \text{ mm}$

Areal:  $A_{2d} := c^2 + 4 \cdot a_{2d}^2 + \pi \cdot a_{2d}^2 = 914845.1 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_1 := \int_0^{u_l} |e_{maks}| dl = 0.63 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f21}^2} = 79.99 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{2d} \cdot N = 73.18 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 54.82 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u1}{W_1} = 2.32$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u1 \cdot d} = 0.34 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$$\rho_L = 0$$

$$V_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{2d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd,c} := \max(V_{Rd,c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd,c}}{v_{Ed}} = 1.46 > 1,0$  **OK**

Snitt 2 Avst. fra søylelivet:  $a_{1.5d} := 1.5 h_{f21} = 262.5 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s21} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u2 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{2d} = 2999.11 \text{ mm}$

Areal:  $A_{1.5d} := c^2 + 4 \cdot a_{1.5d}^2 + \pi \cdot a_{1.5d}^2 = 532100.37 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_2 := \int_0^{u2} |e_{maks}| dl = 0.63 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f21}^2} = 79.99 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{1.5d} \cdot N = 42.56 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed,red} := N_{Ed} - \Delta V = 85.44 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed,red}} \cdot \frac{u2}{W_2} = 1.85$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u2 \cdot d} = 0.42 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$$\rho_L = 0$$

$$V_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{1.5d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.51 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.21 > 1,0$  **OK**

Snitt 3 Avst. fra søylelivet:  $a_d := h_{f2l} = 175 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s2l} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u3 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_d = 1899.56 \text{ mm}$

Areal:  $A_d := c^2 + 4 \cdot a_d^2 + \pi \cdot a_d^2 = 258711.28 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_3 := \int_0^{u3} |e_{maks}| dl = 0.4 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f2l}^2} = 79.99 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_d \cdot N = 20.69 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 107.31 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u3}{W_3} = 1.68$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u3 \cdot d} = 0.76 \frac{N}{mm^2}$  **(6.51)**

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$\rho_L = 0$   
 $V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_d} \frac{N}{mm^2}$  **(6.47)**

$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$

$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.77 \frac{N}{mm^2}$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.01 > 1,0$  **OK**

GRUPPE 2: 9 stk. søylefundament (1a, 1b, 1d, 1e, 2a, 2b, 3c, 3d, 3e)

Dimensjonerende aksialkraft på søylefundamentene:  $N_{Ed} := 82 \text{ kN}$

Fundamentene utsettes for moment i alle retninger.

Velger symmetrisk fundament. Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := 12 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Effektiv fundamentbredde:  $b_0 \geq \sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}}$ , hvor  $\sqrt{\frac{N_{Ed}}{\sigma_{gd}}} = 0.67 \text{ m}$

$$b_0 := 670 \text{ mm}$$

Ekvivalent eksentrisk vertikallast:  $e_{maks} := \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = 146.34 \text{ mm}$

Nødvendig fundamentbredde:  $b_{f22} := b_0 + 2 e_{maks} = 962.68 \text{ mm}$

$$\text{Setter } b_{f22} := 965 \text{ mm} \quad h_{f22} := 150 \text{ mm} \\ b_{s22} := 200 \text{ mm} \quad h_{s22} := 448 \text{ mm} - h_{f22} = 298 \text{ mm}$$

$$a := \frac{b_{f22} - b_{s22}}{2} = 382.5 \text{ mm}$$

$$d := h_{f22} - c_{nom} - \frac{10 \text{ mm}}{2} = 100 \text{ mm} \quad \text{NA.9.8.2.1(1)}$$

Dimensjonerende moment:  $M_{Ed} := \frac{q_{Ed} \cdot a^2}{2} \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 13.17 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Momentkapasitet:  $M_{Rd} := 0.275 \cdot f_{cd} \cdot b \cdot d^2 = 38.96 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$M_{Rd} > M_{Ed} \quad \text{OK}$$

Nødv. armeringstverrsnitt:  $z_0 := \left(1 - 0.17 \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right) \cdot d \quad z_{maks} := 0.95 d$

$$z := \min(z_0, z_{maks}) = 94.25 \text{ mm}$$

$$A_{sh'} := \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = 321.32 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 135.2 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} \geq 0.0013 \cdot b \cdot d = 130 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

$$A_{sh} := \max(A_{sh'}, A_{s,min}) = 321.32 \text{ mm}^2$$

Antall stenger:  $n := \frac{A_{sh}}{\pi \cdot r^2} = 4.09 \quad N := 6 \quad \text{pr. meter}$

$$s_{uk} \leq \frac{b}{N} = 166.67 \text{ mm}$$

Opptr. armeringstverrsnitt:  $\phi 10s160 \quad \text{gir: } A_{sh} := N \cdot \pi \cdot r^2 = 471.24 \text{ mm}^2/\text{m}$

Dimensjonerende skjær:  $V_{Ed} := q_{Ed} \cdot a \cdot \frac{kN}{m} = 68.85 \text{ kN}$

Skjærstrekk:  $V_{Ed.2} := q_{Ed} \cdot (a - d) \cdot \frac{kN}{m} = 50.85 \text{ kN}$  **6.2.1 (8)**

$$\rho_{L'} := \frac{A_{sh}}{b_{f22} \cdot d} \quad \rho_L := \min(\rho_{L'}, 0.02) = 0$$

$$c_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12 \quad \text{NA.6.4.4(1)}$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}} \quad k := \min(2, k) = 2$$

$$V_{Rd.c} := \left( c_{Rd.c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f22} \cdot d \quad \text{(6.2.a)}$$

$$v_{min} := \left( 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2} \right) \cdot b_{f22} \cdot d \quad \text{(6.3N)}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 53.33 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.c} > V_{Ed.2}$$

Skjærtrykk: Dimensjonerende skjærkraft i kritisk snitt er søylebredden:

$$V_{Ed.1} := q_{Ed} \cdot \frac{kN}{m^2} \cdot \frac{b_{f22} + b_{s22}}{2} \cdot a = 40.11 \text{ kN} \quad \text{(4.3.11) ihht. (69)}$$

$$v_1 := 0.6 \quad \theta := 45^\circ \quad \text{gir}(\tan(\theta) + \cot(\theta)) = 2$$

$$V_{Rd.max} := b_{f22} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{\tan(\theta) + \cot(\theta)} \quad \text{(6.9)}$$

$$V_{Rd.max} = 386.56 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.max} \geq V_{Ed.1} \quad \text{OK}$$

### Gjennomlokkingskontroll

Snitt 1 Avst. fra søylelivet:  $a_{2d} := 2 \cdot h_{f22} = 300 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s22} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u_l := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{2d} = 2684.96 \text{ mm}$

Areal:  $A_{2d} := c^2 + 4 \cdot a_{2d}^2 + \pi \cdot a_{2d}^2 = 682743.34 \text{ mm}^2$

$$\text{Skjærspenning i snitt: } W_1 := \int_0^{u_l} |e_{maks}| dl = 0.39 \text{ m}^2 \quad \text{(6.41)}$$

$$\text{Aksialkraft fra søyle: } N := \frac{N_{Ed}}{b_{f22}^2} = 88.06 \frac{kN}{m^2}$$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{2d} \cdot N = 60.12 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 21.88 \text{ kN}$  (6.48)

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u1}{W_1} = 3.47$  Tabell 6.1 (6.39)

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u1 \cdot d} = 0.28 \frac{N}{mm^2}$  (6.51)

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$\rho_L = 0$   
 $V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{2d}} \frac{N}{mm^2}$  (6.47)

$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$

$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.75 > 1,0$  OK

Snitt 2 Avst. fra søylelivet:  $a_{1.5d} := 1.5 h_{f22} = 225 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s22} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u2 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_{1.5d} = 2213.72 \text{ mm}$

Areal:  $A_{1.5d} := c^2 + 4 \cdot a_{1.5d}^2 + \pi \cdot a_{1.5d}^2 = 401543.13 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_2 := \int_0^{u2} |e_{maks}| dl = 0.32 \text{ m}^2$  (6.41)

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f22}^2} = 88.06 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_{1.5d} \cdot N = 35.36 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 46.64 \text{ kN}$  (6.48)

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u2}{W_2} = 2.16$  Tabell 6.1 (6.39)

$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u2 \cdot d} = 0.45 \frac{N}{mm^2}$  (6.51)

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$

$$\rho_L = 0$$

$$V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_{1.5d}} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.49 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.09 > 1,0$  **OK**

Snitt 3 Avst. fra søylelivet:  $a_d := h_{f22} = 150 \text{ mm}$

Søyledimensjon:  $c := b_{s22} = 200 \text{ mm}$

Omkrets:  $u3 := 4 \cdot c + 2 \cdot \pi \cdot a_d = 1742.48 \text{ mm}$

Areal:  $A_d := c^2 + 4 \cdot a_d^2 + \pi \cdot a_d^2 = 200685.83 \text{ mm}^2$

Skjærspenning i snitt:  $W_3 := \int_0^{u3} |e_{maks}| dl = 0.25 \text{ m}^2$  **(6.41)**

Aksialkraft fra søyle:  $N := \frac{N_{Ed}}{b_{f22}^2} = 88.06 \frac{kN}{m^2}$

Netto oppoverrettet kraft:  $\Delta V := A_d \cdot N = 17.67 \text{ kN}$

Red. skjærkraft i snitt:  $V_{Ed.red} := N_{Ed} - \Delta V = 64.33 \text{ kN}$  **(6.48)**

Skjærspenning i snitt:  $k := 0.6$   
 $\beta := 1 + k \cdot \frac{M_{Ed}}{V_{Ed.red}} \cdot \frac{u3}{W_3} = 1.84$  **Tabell 6.1**  
**(6.39)**

$$v_{Ed} := \beta \cdot \frac{V_{Ed.red}}{u3 \cdot d} = 0.68 \frac{N}{mm^2} \quad (6.51)$$

Skjærspenningskap. i snitt:  $k_0 := 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot mm}{d}}$   $k := \min(k_0, 2.0) = 2$   
 $\rho_L = 0$

$$V_{Rd.c} := \frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_L \cdot 25)^{\left(\frac{1}{3}\right)} \cdot \frac{2 \cdot d}{a_d} \frac{N}{mm^2} \quad (6.47)$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot \sqrt{25} \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$V_{Rd.c} := \max(V_{Rd.c}, v_{min}) = 0.74 \frac{N}{mm^2}$$

Gjennomlokkingskontroll:  $\frac{V_{Rd.c}}{v_{Ed}} = 1.09 > 1,0$  **OK**

## Forankringskontroll

1a, 2a, 1b og 2b utsettes for en netto løftekraft.

Netto løftekraft i opplegg:

$$\begin{aligned} N_{1a} &:= -5.13 \text{ kN} & N_{2a} &:= -0.97 \text{ kN} \\ N_{1b} &:= -13.34 \text{ kN} & N_{2b} &:= -16.75 \text{ kN} \end{aligned}$$

Volum søylefundament:

$$V_{f22} := (b_{f22}^2 \cdot h_{f22} + b_{s22}^2 \cdot h_{s22}) = 0.15 \text{ m}^3$$

Tyngdetetthet armert betong:

$$\gamma_f := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Volum tilbakefylling:

$$V_{t22} := (b_{f22} - b_{s22})^2 \cdot (h_{s22} - 48 \text{ mm}) = 0.15 \text{ m}^3$$

Tyngdetetthet komprimert 8/11:

$$\gamma_t := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Tabell A.6 ihht. (17)

$$N_{2b} + V_{f22} \cdot \gamma_f + V_{t22} \cdot \gamma_t = -9.59 \text{ kN}$$

IKKE OK

$$N_{1b} + V_{f22} \cdot \gamma_f + V_{t22} \cdot \gamma_t = -6.18 \text{ kN}$$

IKKE OK

$$N_{1a} + V_{f22} \cdot \gamma_f + V_{t22} \cdot \gamma_t = 2.03 \text{ kN}$$

OK

$$N_{2a} + V_{f22} \cdot \gamma_f + V_{t22} \cdot \gamma_t = 6.19 \text{ kN}$$

OK

Ser at selv om fundament 1b og 2b gir tilstrekkelig bæring, vil netto løftekraft bli for stor. Forlenger søylehøyden nedover til  $h_{s22.2} := 970 \text{ mm}$ , og oppnår tilstrekkelig forankring:

Volum søylefundament:

$$V_{f22.2} := (b_{f22}^2 \cdot h_{f22} + b_{s22.2}^2 \cdot h_{s22.2}) = 0.18 \text{ m}^3$$

Tyngdetetthet armert betong:

$$\gamma_f := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Volum tilbakefylling:

$$V_{t22.2} := (b_{f22} - b_{s22})^2 \cdot (h_{s22.2} - 48 \text{ mm}) = 0.54 \text{ m}^3$$

Tyngdetetthet komprimert 8/11:

$$\gamma_t := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Tabell A.6 ihht. (17)

$$N_{1b} + V_{f22.2} \cdot \gamma_f + V_{t22.2} \cdot \gamma_t = 3.53 \text{ kN}$$

OK

$$N_{2b} + V_{f22.2} \cdot \gamma_f + V_{t22.2} \cdot \gamma_t = 0.12 \text{ kN}$$

OK

Nødvendig fundamentdybde:

$$h_{f22} + h_{s22.2} - 48 \cdot \text{mm} = 1072 \text{ mm}$$

Øker fundamentdybden i 1b og 2b. Sålen ender da opp på 1072 mm dybde.

## Opptredende betongvolum

Betongmengde gruppe 1:

$$V_{21} := 3 \cdot (b_{f21}^2 \cdot h_{f21} + b_{s21}^2 \cdot h_{s21}) = 0.87 \text{ m}^3$$

Betongmengde gruppe 2:

$$V_{22} := 7 \cdot (b_{f22}^2 \cdot h_{f22} + b_{s22}^2 \cdot h_{s22}) = 1.06 \text{ m}^3$$

Betongmengde gruppe 2.2:

$$V_{22.2} := 2 \cdot (b_{f22}^2 \cdot h_{f22} + b_{s22.2}^2 \cdot h_{s22.2}) = 0.36 \text{ m}^3$$

Total betongmengde:

$$V_{tot2} := V_{21} + V_{22} + V_{22.2} = 2.29 \text{ m}^3$$



## Trapp

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

Bjelke under trapp dimensjoneres som taksperre

$$b := 48 \text{ mm}$$

$$\alpha := 36.1^\circ$$

$$h := 280 \text{ mm}$$

$$l_{spenn} := \frac{3.2 \text{ m}}{\cos(\alpha)} = 3.96 \text{ m}$$

$$k_{mod} := 0.7$$

$$c := 0.6 \text{ m}$$

$$k_{sys} := 1.1$$

$$\gamma_M := 1.15$$

$$k_{crit} := 1.0$$

$$k_h := 1.0$$

$$k_{def} := 2.0$$

$$k_{c90} := 1$$

### Stivheter og fastheter

$$f_{myk} := 32 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c90k} := 2.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{0gmean} := 13500 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{0.05} := 11200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$G_{gmean} := 650 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Karakteristiske laster:

$$g_{k17} := 0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s_k := 3.36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_k := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$g_d := c \cdot g_{k17} \cdot \cos(\alpha) \cdot 1.35 = 0.3 \frac{kN}{m}$$

$$s_d := s_k \cdot c \cdot (\cos(\alpha))^2 \cdot 1.5 = 1.97 \frac{kN}{m}$$

$$q_d := q_k \cdot c \cdot \cos(\alpha) \cdot 1.5 = 2.18 \frac{kN}{m}$$

$$q_{tot} := g_d + s_d + q_d = 4.46 \frac{kN}{m}$$

Verdier for  $\psi$  for bygninger

$$\psi_{2.1} := 0.2 \quad \psi_{0.2} := 0.7 \quad \psi_{2.2} := 0.6$$

**Tabell NA.A1.1)**

Maksimalt dimensjonerende bøyemoment:

$$M_{yed} := \frac{q_{tot} \cdot l_{spenn}^2}{8} = 8.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

**Iht. (65)**

Dimensjonerende bøyefasthet:

$$f_{myd} := \frac{f_{myk} \cdot k_{mod} \cdot k_{sys} \cdot k_{crit}}{\gamma_M} = 21.43 \frac{N}{mm^2}$$

**Iht. (65)**

Nødvendig motstandsmoment:

$$W_{nødv} := \frac{M_{yed}}{f_{myd} \cdot k_h} = (4.08 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

**Iht. (65)**

Motstandsmoment for valgt sperredimensjon:

$$W := \frac{b \cdot h^2}{6} = (6.27 \cdot 10^5) \text{ mm}^3$$

**Iht. (65)**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{W_{nødv}}{W} \cdot 100 = 65.02$$

### Torsjonsstabilitet (6.3.3)

Følgende formel må være oppfylt:

$$\sigma_{myd} \leq k_{crit} \cdot f_{myd} \quad (6.33)$$

$$\sigma_{myd} := \frac{M_{yed}}{W} = 13.93 \frac{N}{mm^2} \quad (6.32)$$

$$k_{crit} \cdot f_{myd} = 21.43 \frac{N}{mm^2} \quad (6.3.3 (5))$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{\sigma_{myd}}{k_{crit} \cdot f_{myd}} \cdot 100 = 65.02$$

### Kontroll av sperrenes oppleggsareal

$$F_y := \frac{\frac{c}{m} \cdot g_d \cdot l_{spenn}}{2} + \frac{\frac{c}{m} \cdot s_d \cdot l_{spenn}}{2} + \frac{\frac{c}{m} \cdot q_d \cdot l_{spenn}}{2} = 5.3 \text{ kN}$$

Dimensjonerende trykkfasthet på tvers av fiberretningen:

$$f_{c90d} := \frac{f_{c90k} \cdot k_{mod} \cdot k_{c90}}{\gamma_M} = (1.52 \cdot 10^3) \frac{kN}{m^2}$$

Nødvendig oppleggslengde,  $b_{min}$  med sperretykkelse 48 mm:

$$b_{min} := \frac{F_y}{f_{c90d} \cdot b} = 72.5 \text{ mm}$$

### Nedbøyningskontroll

Tar utgangspunkt i limtreboka kap. 6

Sjekker først med snølast som dominerende variabel last:

$$q_{fi} := \left( 0.96 \cdot \frac{E_{0gmean}}{G_{gmean}} \cdot \left( \frac{h}{l_{spenn}} \right)^2 \right) = 0.1 \quad (6-18)$$

$$g_{db} := c \cdot g_{k17} \cdot \cos(\alpha) \cdot 1 = 0.22 \frac{kN}{m}$$

$$s_{db} := s_k \cdot c \cdot (\cos(\alpha))^2 \cdot 1 = 1.32 \frac{kN}{m}$$

$$q_{db} := q_k \cdot c \cdot (\cos(\alpha))^2 \cdot 1 = 1.18 \frac{kN}{m}$$

Øyeblikksnedbøyning

$$\text{Egenlast bøyesspenning} \quad W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.6 \text{ mm} \quad \text{Iht. (55)}$$

$$\text{Egenlast skjærspenning} \quad W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.06 \text{ mm}$$

$$\text{Snølast bøyesspenning} \quad W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 3.56 \text{ mm}$$

$$\text{Snølast skjærspenning} \quad W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.35 \text{ mm}$$

$$\text{Nyttelast bøyesspenning} \quad W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 3.18 \text{ mm}$$

$$\text{Nyttelast skjærspenning} \quad W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.32 \text{ mm}$$

Netto nedbøyning:

$$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 1.81 \text{ mm} \quad \text{(6-10) iht. (35)}$$

$$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.18 \text{ mm}$$

$$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 4.98 \text{ mm} \quad \text{(6-11) iht. (35)}$$

$$W_{finQ1V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.5 \text{ mm}$$

$$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 6.03 \text{ mm} \quad \text{(6-12) iht. (35)}$$

$$W_{finQ2V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.6 \text{ mm}$$

$$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 14.1 \text{ mm} \quad \text{(7.2)}$$

Krav til nedbøyning (tabell 7.2)

$$W_{net,fin.krav} := \frac{l_{spenn}}{250} = 15.84 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 89$$

**Sjekker så med nyttelast som dominerende variabel last:**

Øyeblikksnedbøying

Egenlast bøyespenning  $W_{instG} := \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 0.6 \text{ mm}$  **iht. (55)**

Egenlast skjærspenning  $W_{instGV} := W_{instG} \cdot q_{fi} = 0.06 \text{ mm}$

Snølast bøyespenning  $W_{instQ1} := \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 3.18 \text{ mm}$

Snølast skjærspenning  $W_{instQ1V} := W_{instQ1} \cdot q_{fi} = 0.32 \text{ mm}$

Nyttelast bøyespenning  $W_{instQ2} := \frac{5}{384} \cdot \frac{s_{db} \cdot l_{spenn}^4}{E_{0gmean} \cdot \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3} = 3.56 \text{ mm}$

Nyttelast skjærspenning  $W_{instQ2V} := W_{instQ2} \cdot q_{fi} = 0.35 \text{ mm}$

Netto nedbøying:

$W_{finG} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instG} = 1.81 \text{ mm}$  **(6-10)**  
**iht. (35)**

$W_{finGV} := (1 + k_{def}) \cdot W_{instGV} = 0.18 \text{ mm}$

$W_{finQ1} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1} = 4.45 \text{ mm}$  **(6-11)**  
**iht. (35)**

$W_{finQ1V} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ1V} = 0.6 \text{ mm}$

$W_{finQ2} := (\psi_{0.2} + \psi_{2.2} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2} = 6.76 \text{ mm}$  **(6-12)**  
**iht. (35)**

$W_{finQ2V} := (1 + \psi_{2.1} \cdot k_{def}) \cdot W_{instQ2V} = 0.5 \text{ mm}$  **(7.2)**

$W_{net,fin} := W_{finG} + W_{finGV} + W_{finQ1} + W_{finQ1V} + W_{finQ2} + W_{finQ2V} = 14.29 \text{ mm}$

Krav til nedbøyning:

$$W_{net,fin.krav} := \frac{l_{spenn}}{250} = 15.84 \text{ mm}$$

OK

Kapasitetsutnyttelse i prosent:

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{net,fin.krav}} \cdot 100 = 90.2$$

### Stendere under trapp

$$b := 98 \text{ mm}$$

$$h := 123 \text{ mm}$$

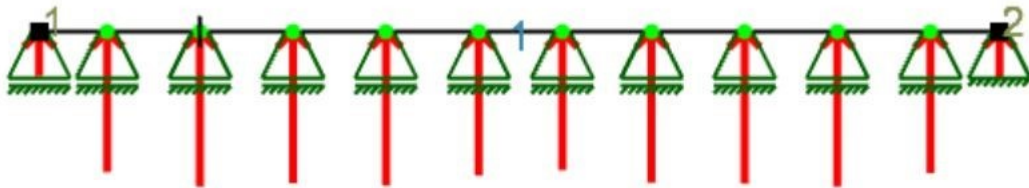
$$L_{kyz} := 2700 \text{ mm}$$

$$\gamma_M := 1.25$$

$$\beta_c := 0.2$$

$$k_m := 0.7$$

$R_z = 10,19 \text{ kN}$   
Segment 1, Rel.  $x = 0,17$



$$R_z := 10.19 \text{ kN}$$

$$e := 73 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} := R_z \cdot e = 0.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### Fastheter og stivheter

$$f_{c0k} := 21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c0d} := \frac{f_{c0k}}{\gamma_M} \cdot k_{mod} = 11.76 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t0k} := 14.5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{t0d} := f_{t0k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} = 8.12 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{mk} := 24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{myd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 13.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{mzd} := k_{mod} \cdot \frac{f_{mk}}{\gamma_M} \cdot k_h = 13.44 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$i_y := \frac{h}{\sqrt{12}} = 35.51 \text{ mm}$$

$$i_z := \frac{b}{\sqrt{12}} = 28.29 \text{ mm}$$

$$\lambda_y := \frac{L_{kyz}}{i_y} = 76.04$$

$$\lambda_z := \frac{L_{kyz}}{i_z} = 95.44$$

Opp tredende spenning:

$$\sigma_{c0d} := \frac{M_{Ed}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 3.01 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{myd} := \frac{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = 0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{mzd} := \frac{0 \text{ kN} \cdot \text{m}}{\frac{1}{6} \cdot b^2 \cdot h} = 0 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Stabilitetskontroll

$$\lambda_{rel,y} := \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.05 \quad (6.21)$$

$$\lambda_{rel,z} := \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c0k}}{E_{0.05}}} = 1.32 \quad (6.22)$$

Ettersom disse er større enn 0.3 må følgende betingelser oppfylles:

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} \leq 1 \quad (6.24)$$

$$k_y := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) = 1.12 \quad (6.27)$$

$$k_z := 0.5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 1.47 \quad (6.28)$$

$$k_{cy} := \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 + \lambda_{rel,y}^2}} = 0.38 \quad (6.25)$$

$$k_{cz} := \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0.29 \quad (6.26)$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cy} \cdot f_{c0d}} + \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.68$$

$$\frac{\sigma_{c0d}}{k_{cz} \cdot f_{c0d}} + k_m \frac{\sigma_{myd}}{f_{myd}} + \frac{\sigma_{mzd}}{f_{mzd}} = 0.88 \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{0.681}{1} \cdot 100 = 68.1$$

$$\frac{0.88}{1} \cdot 100 = 88$$

**Kontroll for trykk i fiberretningen**

$$\sigma_{c0d} < f_{c0d} \quad (6.2)$$

$$\sigma_{c0d} = 3.01 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{c0d} = 11.76 \frac{N}{mm^2}$$

OK

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

$$\frac{\sigma_{c0d}}{f_{c0d}} \cdot 100 = 25.6$$



## Kontroll av oppleggsflater

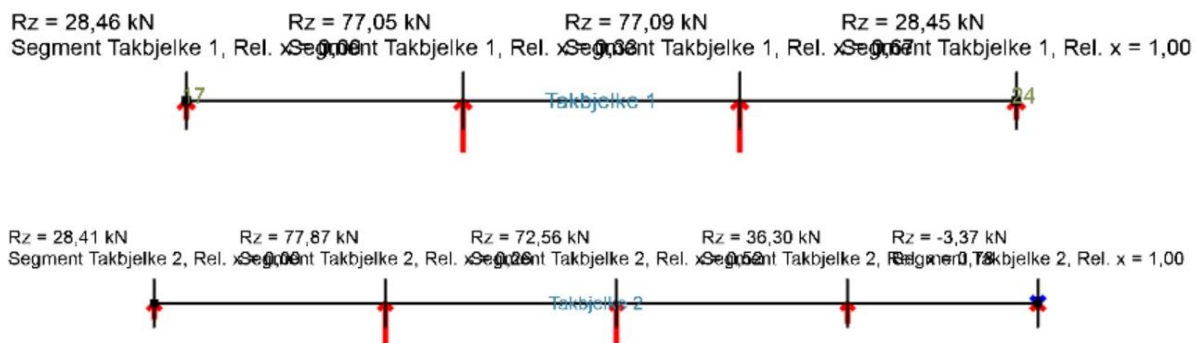
Byggforskblad 520.233 (65) og figur 252 brukes for å bestemme oppleggsflater.

$$F_{kk3} := 1.23$$

**pkt. 244  
iht. (57)**

### I topp og bunn av søyler

Laster som kan gi deformasjon på tak- og fundamentbjelke:



Oppleggsflate for alle søyler uten stålplate:

$$b_{søyle} := 140 \text{ mm} \quad h_{søyle} := 135 \text{ mm}$$

$$A := b_{søyle} \cdot h_{søyle} = 18900 \text{ mm}^2$$

Nødvendig oppleggsflate for søyler i topp og bunn:

$$A_{1a} := 8500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 10455 \text{ mm}^2$$

$$A_{1b} := 21000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 25830 \text{ mm}^2$$

$$A_{1c} := 21000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 25830 \text{ mm}^2$$

$$A_{1d} := 8500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 10455 \text{ mm}^2$$

$$A_{2a} := 8500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 10455 \text{ mm}^2$$

$$A_{2b} := 21000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 25830 \text{ mm}^2$$

$$A_{2c} := 19500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 23985 \text{ mm}^2$$

$$A_{2d} := 10000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 12300 \text{ mm}^2$$

$$A_{2e} := 500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 615 \text{ mm}^2$$

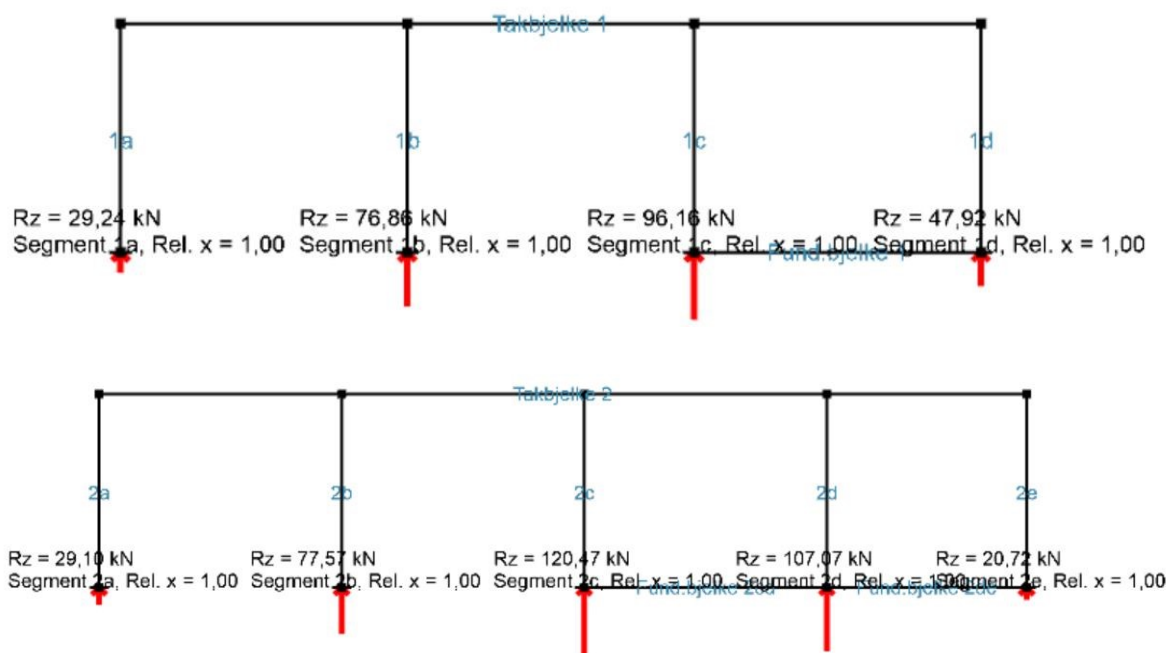
$$b_{plate} := 140 \text{ mm} \quad h_{plate} := 195 \text{ mm}$$

$$A_{plate} := b_{plate} \cdot h_{plate} = 27300 \text{ mm}^2$$

OK

## Overgang pilar mot fundamentbjelke

Oppleggskrefter i pilar som vil kunne gi deformasjon på bjelke:



Søyle 1a, 1b, 2a og 2b står direkte på søylesko og utelukkes fra disse beregningene.

Oppleggsflate for bjelker uten stålplate:

$$b_{bjelke} := 140 \text{ mm} \quad l_{pilar} := 200 \text{ mm}$$

$$A := b_{bjelke} \cdot l_{pilar} = 28000 \text{ mm}^2$$

Nødvendig oppleggsflate mellom pilar og bjelke:

$$A_{p1c} := 26000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 31980 \text{ mm}^2$$

$$A_{p1d} := 13000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 15990 \text{ mm}^2$$

$$A_{p2c} := 32500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 39975 \text{ mm}^2$$

$$A_{p2d} := 27000 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 33210 \text{ mm}^2$$

$$A_{p2e} := 5500 \text{ mm}^2 \cdot F_{kk3} = 6765 \text{ mm}^2$$

$$b_{plate} := 140 \text{ mm} \quad l_{plate} := 290 \text{ mm}$$

$$A_{plate} := b_{plate} \cdot l_{plate} = 40600 \text{ mm}^2$$

**OK**

Stålplatens tykkelse er bestemt fra bjelkeberegninger basert på trykkspenning vinkelrett på fiberretningen.  $t=6$  mm for alle oppleggsflater.

## Søylesko - Bolteforbindelse

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

Grunnlag for  
forbindelser plate  
mot tre, GL32c og 4  
stk M12 bolt:

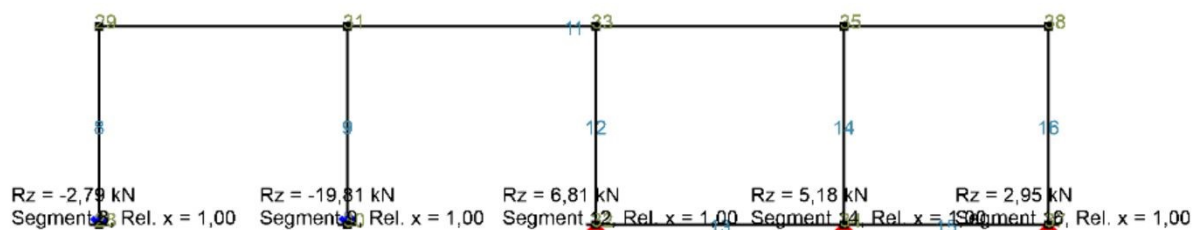
$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad d := 12 \text{ mm} \quad n := 4$$

$$f_{uk} := 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad t := 5 \text{ mm} \quad t_2 := 135 \text{ mm}$$

$$k_d := \min\left(1, \frac{d}{8 \text{ mm}}\right) \quad (8.40)$$

$$k_{mod} := 0.7 \quad \gamma_m := 1.3$$

$$k_{90} := 1.35 + 0.015 \cdot \frac{d}{\text{mm}} = 1.53$$



Dimensjonerende last:  $R_z := 19.81 \text{ kN}$

Last per bolt  $F_{bolt} := \frac{R_z}{4} = 4.95 \text{ kN}$

Kar.flytemoment:  $M_{y.Rk} := 0.3 \text{ mm}^{0.4} \cdot f_{uk} \cdot d^{2.6} = 153490.85 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (8.30)$

Minste innbyrdes avstand og kant-/endeavstand:

Tabell 8.4

I fiberretning:  $a_1 := (4 + \cos(0)) \cdot d = 60 \text{ mm}$

Vinkelrett fiberretning:  $a_2 := 4 \cdot d = 48 \text{ mm}$

Belastet ende  $a_{3t} := \max(7 \cdot d, 80 \text{ mm}) = 84 \text{ mm}$

Ubelastet ende  $a_{3c} := 4 \cdot d = 48 \text{ mm}$

Belastet kant  $a_{4t} := \max((2 + 2 \cdot \sin(\alpha)) \cdot d, 3 \cdot d) = 36 \text{ mm}$

Ubelastet kant

$$a_{4c} := 3 \cdot d = 36 \text{ mm}$$

$$n_{ef} := \min \left( n, n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 d}} \right) = 2.74 \quad (8.34)$$

Hullkantfastheter ved forboring:

$$f_{h2k} := 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \frac{d}{\text{mm}} \right) \cdot \frac{\rho_k}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 31.75 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

**Kapasitet for tynne stålplater som de ytre komponentene i en dobbelsnittet forbindelse:**

$$F_{v.Rk1} := 0.5 \cdot f_{h2k} \cdot t_2 \cdot d = 25.72 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (j) (8.10)}$$

$$F_{v.Rk2} := 1.15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h2k} \cdot d} = 12.44 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (k)}$$

$$F_{v1.Rk} := \min (F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}) = 12.44 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rk} := F_{v1.Rk} + \left( \frac{F_{v1.Rk}}{4} \right) = 15.55 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} := \frac{F_{v.Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_m} = 8.37 \text{ kN}$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent:]

$$\frac{F_{bolt}}{F_{v.Rd}} \cdot 100 = 59.16$$

## Skrueforbindelse mellom søyle og bjelke

I henhold til NS-EN 1995-1-1 (22) dersom ikke annet oppgis.

### Forutsetninger og antakelser

Grunnlag for forbindelser plate mot tre, GL32c og Treskrue 8x100:

$$\rho_k := 440 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad d := 8 \text{ mm} \quad NS := 8 \quad n := 2$$

$$f_{uk} := 800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_y := 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$t_1 := 140 \text{ mm} \quad t := 6 \text{ mm}$$

$$l_{skrue} := 100 \text{ mm} \quad l_{gjeng} := 75 \text{ mm}$$

$$l_{ef} := l_{gjeng} - d = 67 \text{ mm}$$

$$k_d := \min\left(1, \frac{d}{8 \text{ mm}}\right) = 1 \quad (8.40)$$

$$k_{mod} := 0.7 \quad \gamma_M := 1.3 \quad \gamma_{M0} := 1.05$$

$$k_{90} := 1.35 + 0.015 \cdot \frac{d}{\text{mm}} = 1.47 \quad (8.33)$$



Dimensjonerende last:  $R_z := 21.16 \text{ kN}$

Last per skrue:  $F_{skrue} := \frac{R_z}{8} = 2.65 \text{ kN}$

Kar.flytemoment:  $M_{y.Rk} := 0.3 \text{ mm}^{0.4} \cdot f_{uk} \cdot d^{2.6} = 53486.63 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (8.30)$

Minste innbyrdes avstand og kant-/endeavstand:

**Tabell 8.4**

I fiberretning:  $a_1 := (4 + \cos(0)) \cdot d = 40 \text{ mm}$

Vinkelrett fiberretning:  $a_2 := 4 \cdot d = 32 \text{ mm}$

Belastet ende  $a_{3t} := \max(7 \cdot d, 80 \text{ mm}) = 80 \text{ mm}$

Ubelastet ende

$$a_{3c} := 4 \cdot d = 32 \text{ mm}$$

Belastet kant

$$a_{4t} := \max((2 + 2 \cdot \sin(\alpha)) \cdot d, 3 \cdot d) = 24 \text{ mm}$$

Ubelastet kant

$$a_{4c} := 3 \cdot d = 24 \text{ mm}$$

$$n_{ef} := \min\left(n, n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 d}}\right) = 1.47 \quad (8.34)$$

Hullkantfastheter ved forboring:

$$f_{h0k} := 0.082 \cdot \left(1 - 0.01 \frac{d}{\text{mm}}\right) \cdot \frac{\rho_k}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 33.19 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (8.32)$$

$$f_{h90k} := \frac{f_{h0k}}{k_{90} \cdot (\sin(90))^2 + (\cos(90))^2} = 24.13 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (8.31)$$

Aksialkapasitet som bidrar til taueffekt antas 100% for skruer:

$$f_{ax.k} := 0.52 \cdot \left(\frac{d}{\text{mm}}\right)^{-0.5} \cdot \left(\frac{l_{ef}}{\text{mm}}\right)^{-0.1} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}\right)^{0.8} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 15.73 \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (8.39)$$

I søyle, med  
fiberretning:

$$F_{ax.0.Rk} := \frac{n_{ef} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(0)^2 + \sin(0)^2} = 10.32 \text{ kN} \quad (8.38)$$

I bjelke,  
vinkelrett på  
fiberretning:

$$F_{ax.90.Rk} := \frac{n_{ef} \cdot f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(90)^2 + \sin(90)^2} = 11.91 \text{ kN} \quad (8.38)$$

**Kapasitet i enkeltsnittet tykk stålplate for skrue i søyle: (8.10)**

$$F_{v.Rk1} := f_{h0k} \cdot t_1 \cdot d = 37.18 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (c)}$$

$$F_{v.Rk2} := f_{h0k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 M_{y.Rk}}{f_{h0k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) = 15.94 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (d)}$$

$$F_{v.Rk3} := 2.3 \cdot \sqrt{M_{y.Rk} \cdot f_{h0k} \cdot d} = 8.67 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (e)}$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}, F_{v.Rk3}) = 8.67 \text{ kN}$$

$$F_{v1.Rk} := F_{v.Rk} + \min\left(\frac{F_{ax.0.Rk}}{4}, F_{v.Rk}\right) = 11.25 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} := \frac{F_{v1.Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 6.06 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{F_{skrue}}{F_{v.Rd}} \cdot 100 = 43.67$$

**(8.10)**

**Kapasitet i enkeltsnittet tykk stålplate for skrue i bjelke:**

$$F_{v.Rk1} := f_{h90k} \cdot t_1 \cdot d = 27.03 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (c)}$$

$$F_{v.Rk2} := f_{h90k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 M_{y.Rk}}{f_{h90k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right) = 11.73 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (d)}$$

$$F_{v.Rk3} := 2.3 \cdot \sqrt{M_{y.Rk} \cdot f_{h90k} \cdot d} = 7.39 \text{ kN} \quad \text{Bruddform (e)}$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk1}, F_{v.Rk2}, F_{v.Rk3}) = 7.39 \text{ kN}$$

$$F_{v1.Rk} := F_{v.Rk} + \min\left(\frac{F_{ax.0.Rk}}{4}, F_{v.Rk}\right) = 9.97 \text{ kN}$$

$$F_{v.Rd} := \frac{F_{v1.Rk} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = 5.37 \text{ kN} \quad \text{OK}$$



Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{F_{skrue}}{F_{v.Rd}} \cdot 100 = 49.26$$

### Kontroll mot tverrstrekkbrudd

Forbindelseskrefter som danner en vinkel med fiberretningen (8.1.4)

$$F_{v.Ed} \leq F_{90.Rd} \quad (8.2)$$

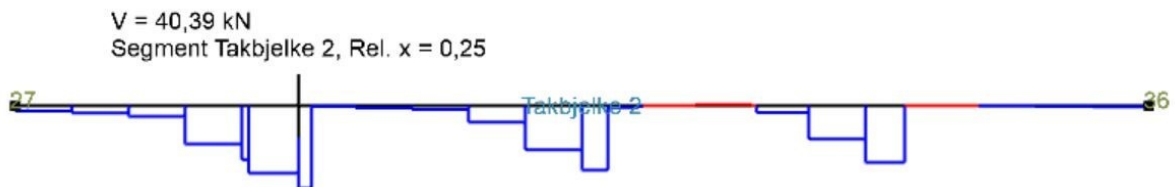
$$b := 140 \text{ mm} \quad h := 315 \text{ mm}$$

$$w := 1.0 \quad h_e := 220 \text{ mm} \quad (8.5)$$

$$F_{90.Rk} := 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{\frac{h_e}{\text{mm}}}{1 - \frac{h_e}{h}}} \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 52.94 \text{ kN} \quad (8.4)$$

$$F_{90.Rd.skrue} := k_{mod} \cdot \frac{F_{90.Rk}}{\gamma_M} = 28.5 \text{ kN}$$

$$F_{90.Rd} := n_{ef} \cdot F_{90.Rd.skrue} = 41.89 \text{ kN} \quad (8.1)$$



$$F_{v.Ed1} := 40.39 \text{ kN}$$

$$F_{v.Ed2} := 34.52 \text{ kN}$$

$$F_{v.Ed} := \max(F_{v.Ed1}, F_{v.Ed2}) = 40.39 \text{ kN} \quad (8.3)$$

**OK**

Kapasitetsutnyttelse [prosent]:

$$\frac{F_{v.Ed}}{F_{90.Rd}} \cdot 100 = 96.42$$

### Forenklet kontroll av stålplate

Sjekker mot skjærbrudd da dette er mest aktuelt.

*Gjøres i henhold til NS-EN 1993-1-1 (70)*

$$A_v := 90 \text{ mm} \cdot 440 \text{ mm} = 39600 \text{ mm}^2$$

$$V_{c.Rd} := \frac{A_v \cdot \left( \frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = 7729.9 \text{ kN} \quad \text{(6.18)}$$

$$F_{v.Ed} = 40.39 \text{ kN}$$

Kapasitetsutnyttelse [prosent]

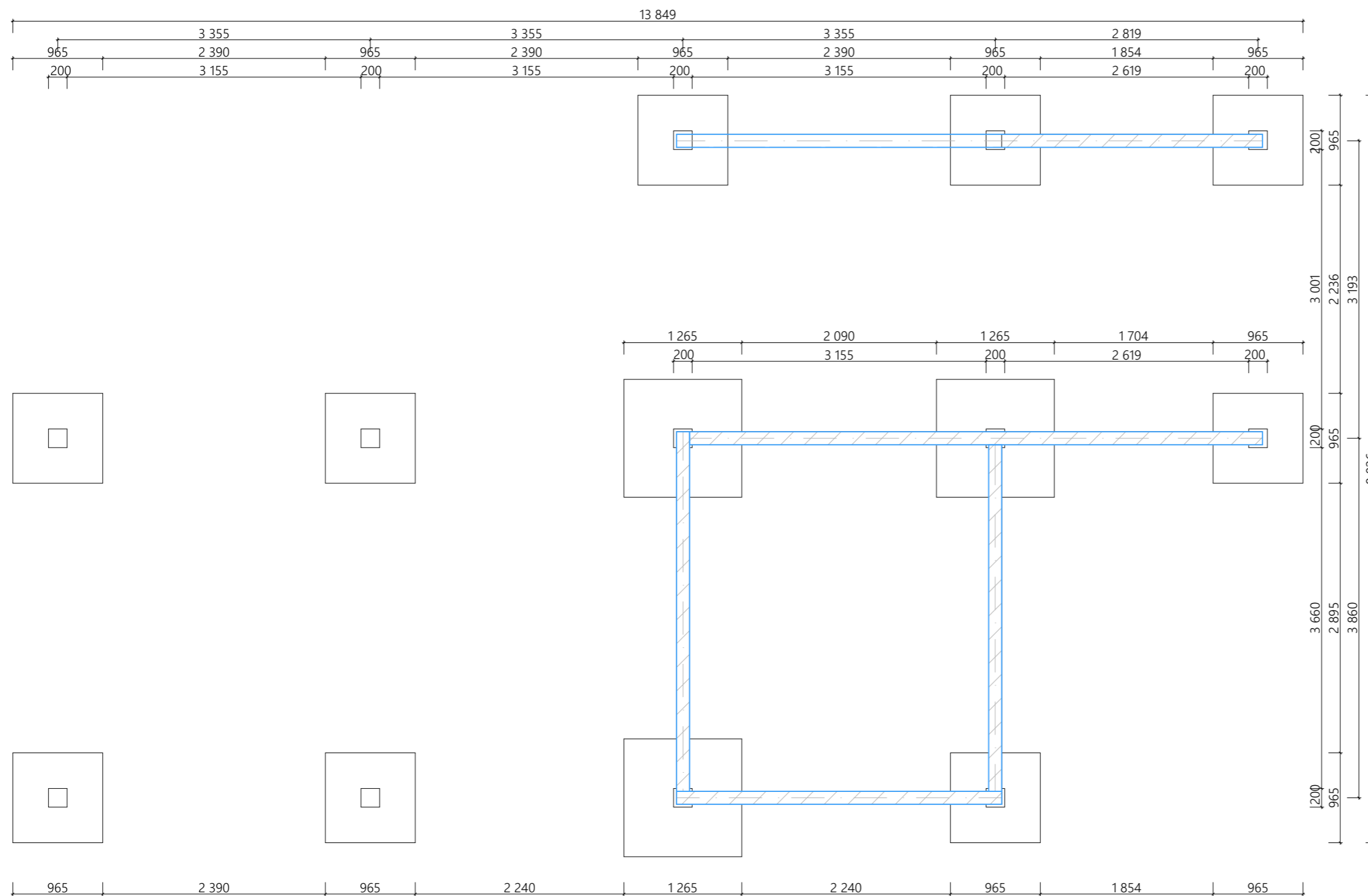
$$\frac{F_{v.Ed}}{V_{c.Rd}} \cdot 100 = 0.52$$


# Vedlegg F

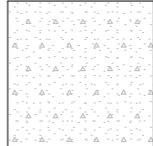
Tegninger av endelig løsning

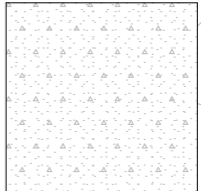
Tegning beskrivelser:


Målsatt plantegning av betongpilarer, dette gjelder både søyler og sålefundament

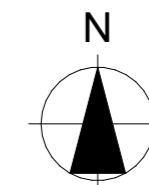


 Betongsøyle B25  
200mm x 200mm  
12 stk

 Betongsåle B25  
965mm x 965 mm  
9 stk

 Betongsåle B25  
1265mm x 1265 mm  
3 stk

 Bærebjelker limtre  
GL32C



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

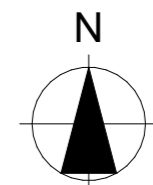
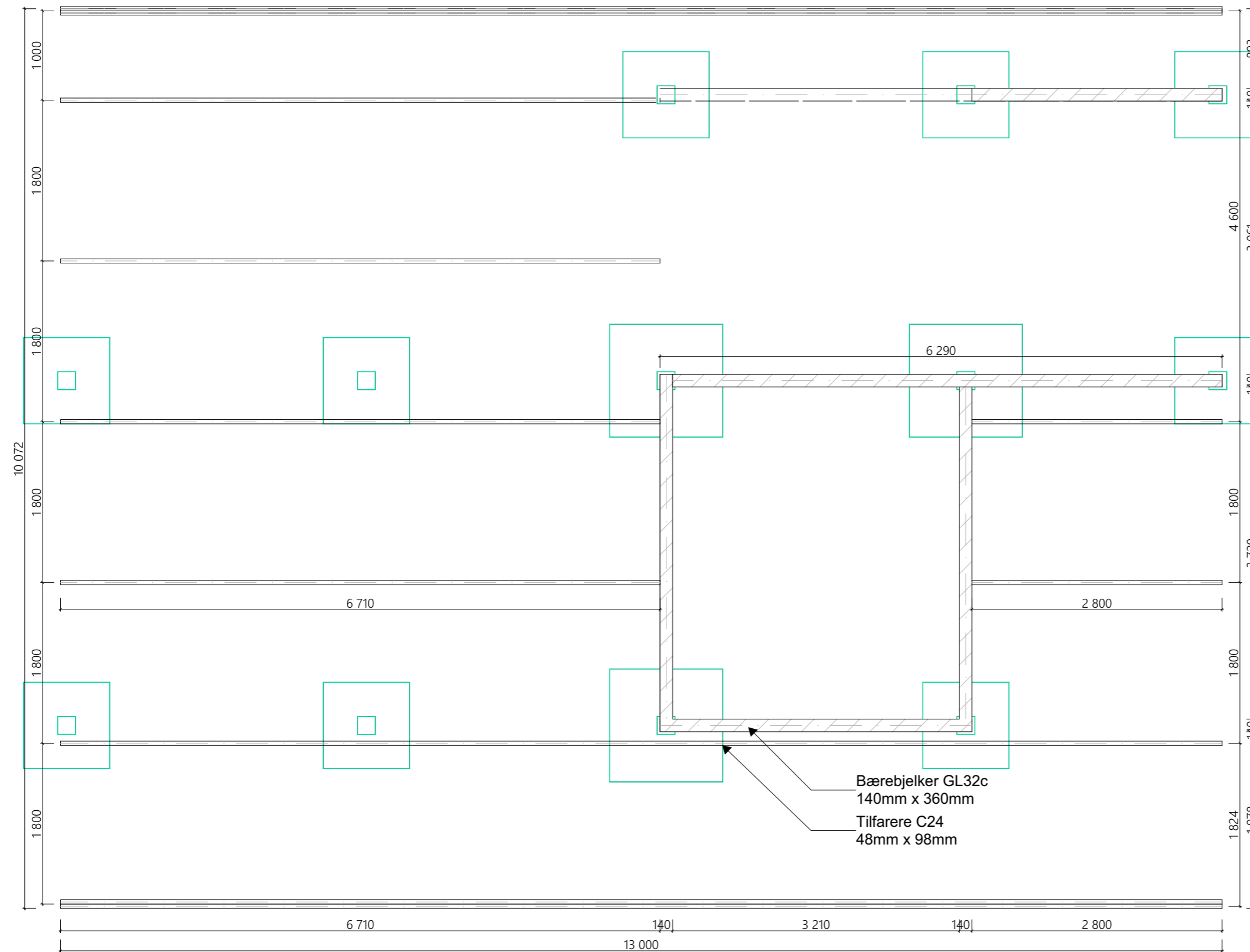
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
03.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Fundamentplan - pilarer

Målestokk  
1:50  
TEGNINGSNR:  
1.1

Tegning beskrivelser:  
 Målsatt plantegning av fundamentplan av bjelker  
 til terrasse og bærende bjelker til hus



BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

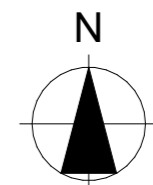
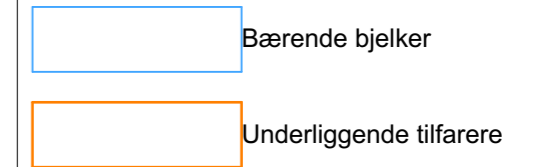
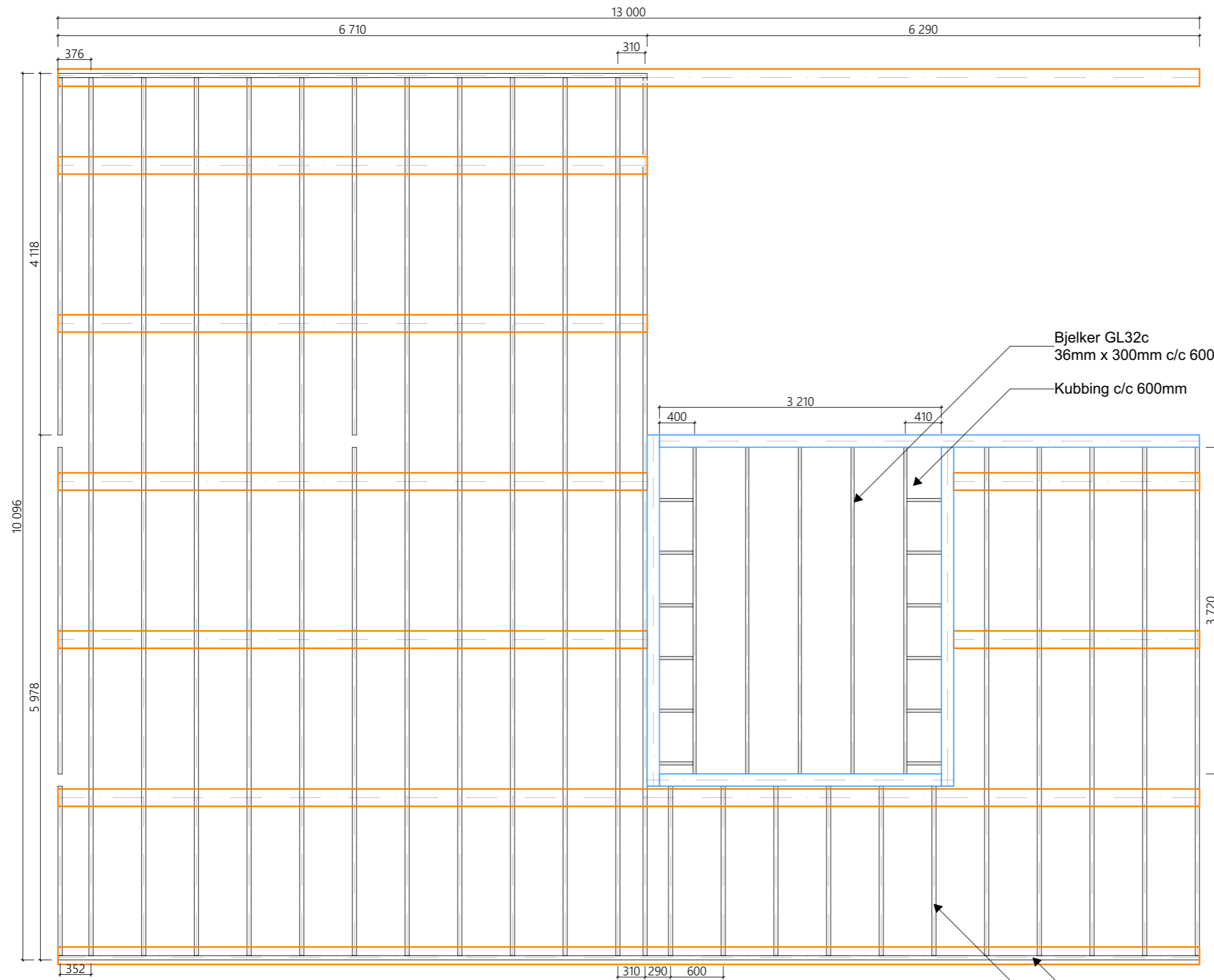
OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

Dato  
 04.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
 Fundamentplan - bjelker

Målestokk  
 1:50  
 TEGNINGSNR:  
 1.2

Tegning beskrivelser:  
Bjelkelagsplan for 1. etg. Inkludert  
gjenbrukshuset og terrasse



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

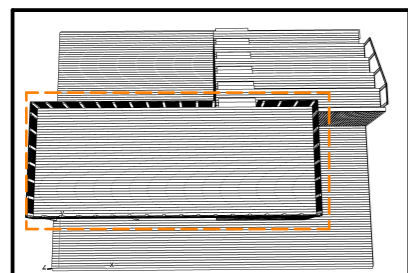
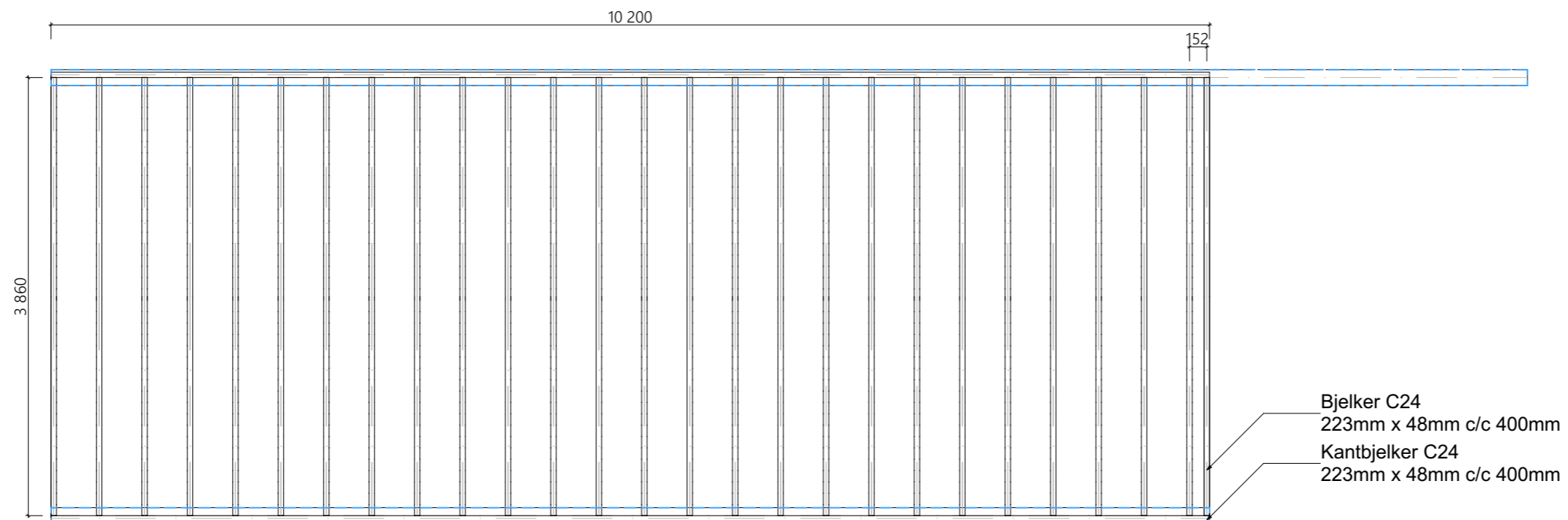
PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
03.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Bjelkelagsplan 1.etg

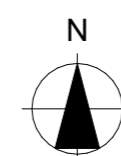
Målestokk  
1:50  
TEGNINGSNR:  
2.1



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Bjelkelagsplan for terrasse 2.etg



Understøttende bærende  
limtredragere 315mm x140mm



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

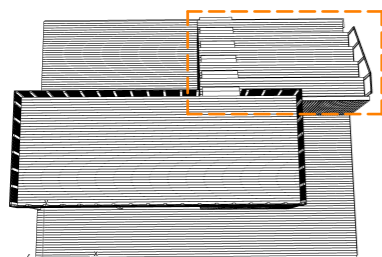
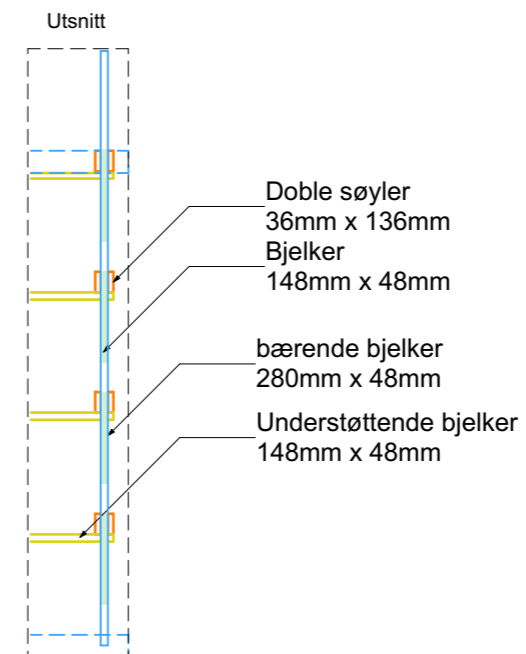
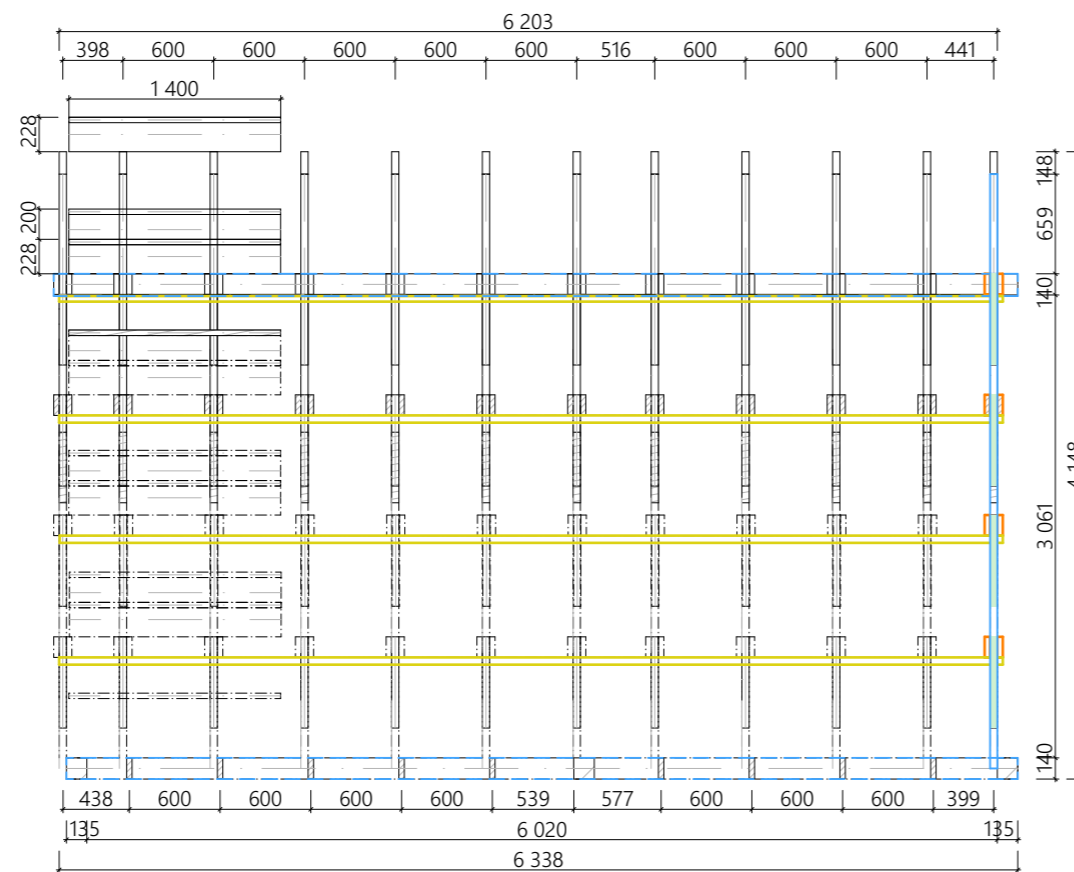
TEGNINGSNAVN:  
Bjelkelagsplan 2.etg

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
03.05.2021

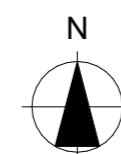
MÅLESTOKK:  
1:50

TEGNINGSNR:  
2.2



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Målsatt plantegning av trapp, med farget utsnitt med beskrivelse av konstruksjonen

- Bærende limtrebjelker
- Understøttende bjelker
- Søylar avstiver x2
- Skråbjelker c/c 600mm
- Skråbærebjelker c/c 600mm



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim


OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

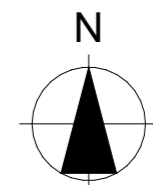
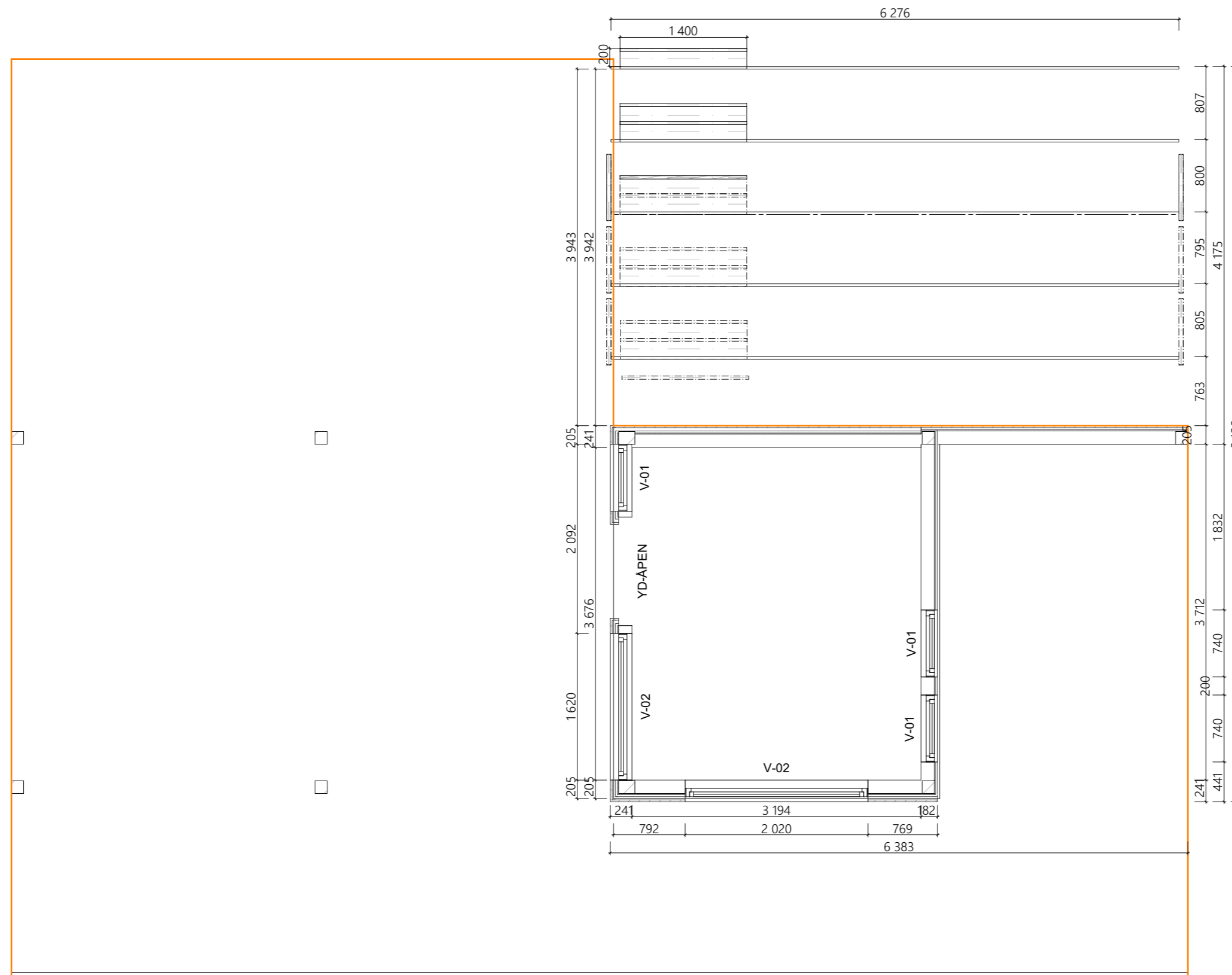
DATO:  
03.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Konstruksjonsplan - Trapp

MÅLESTOKK:  
1:50  
TEGNINGSNR:  
3.2



 Skisse av terrassekonstruksjon



NTNU

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim


OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

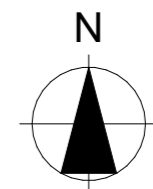
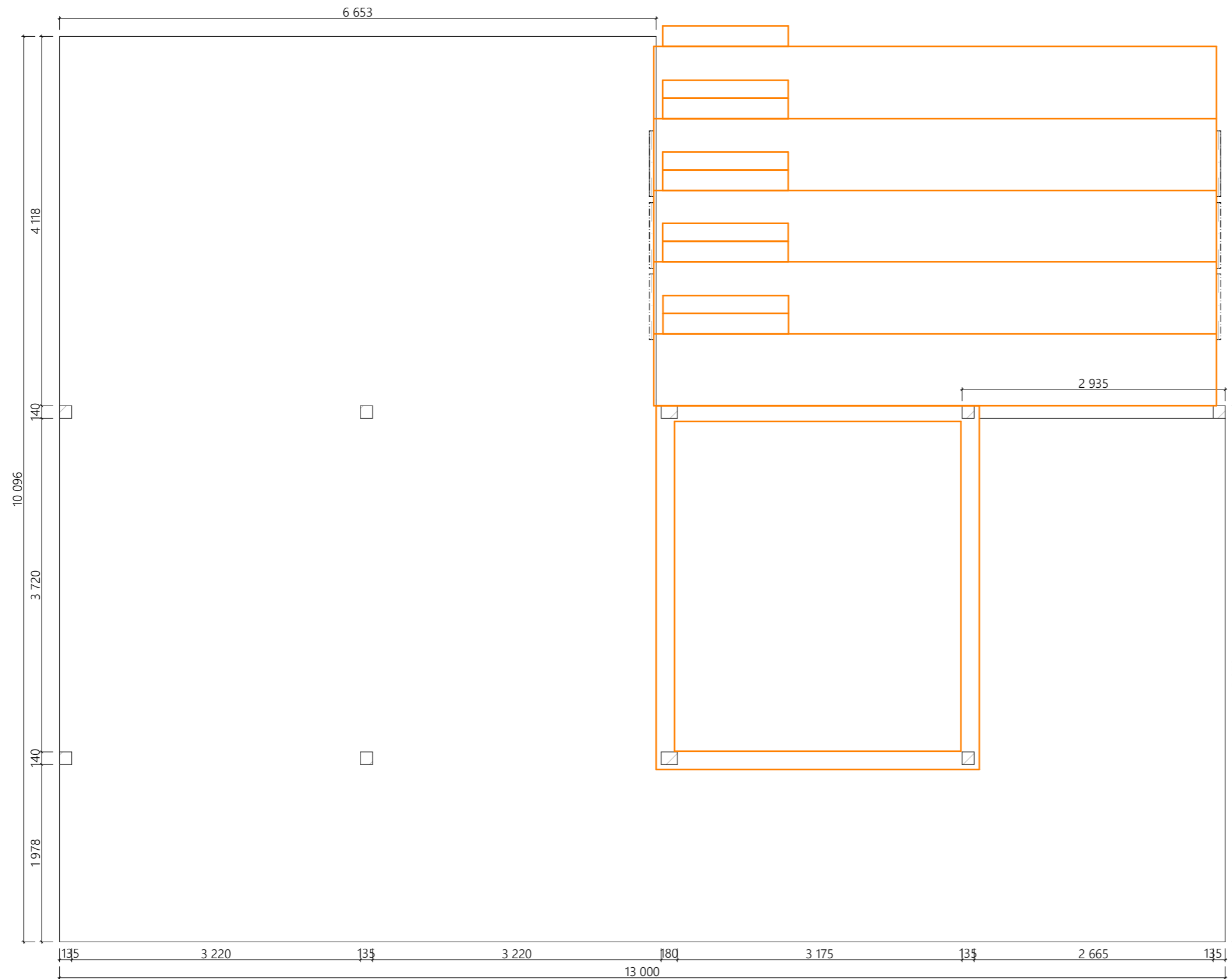
Dato  
06.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Plantegning 1.etg

Målestokk  
1:50  
TEGNINGSNR:  
3.1

Tegning beskrivelser:  
Målsatt plan for terrassekonstruksjon inkludert  
bærende søyler 1.etg

 Skisse av hus og trapp



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

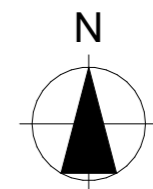
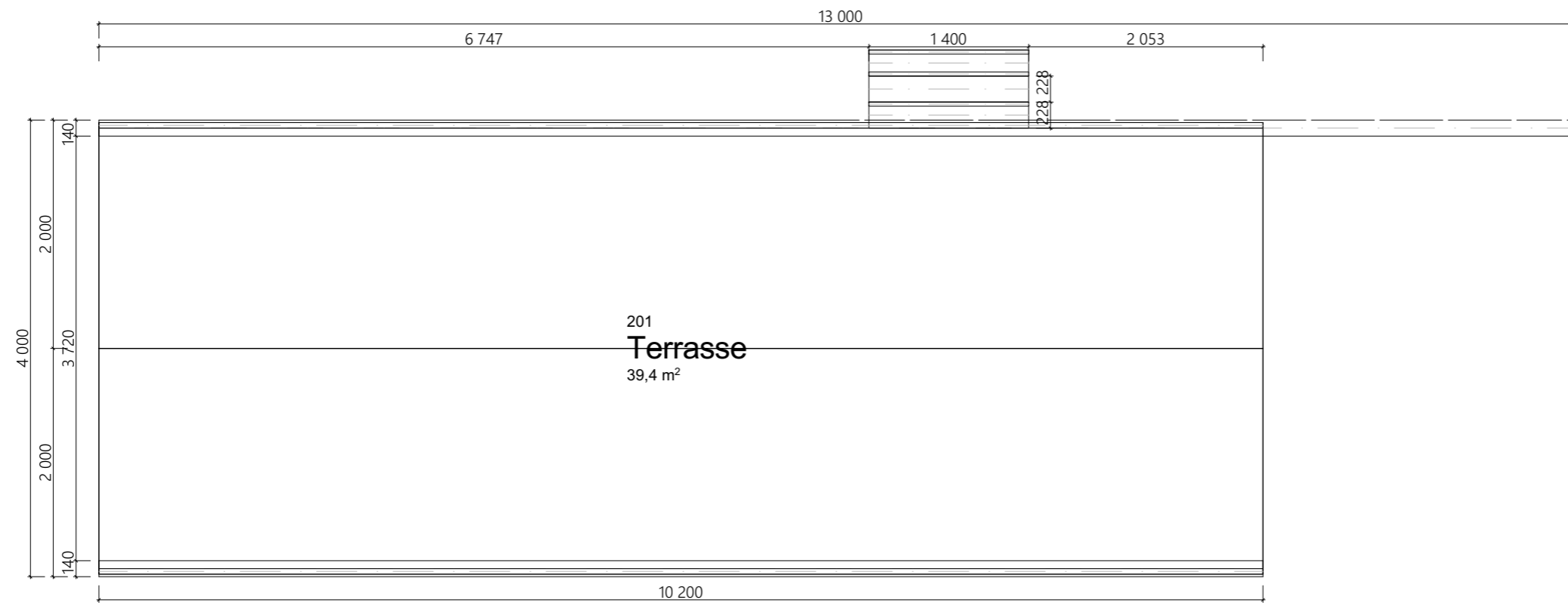
PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
11.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Plantegning terrasse 1.etg

Målestokk  
1:50  
TEGNINGSNR:  
3.2



NTNU

BACHELOROPPGAVE 2021:  
**Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

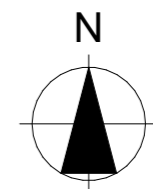
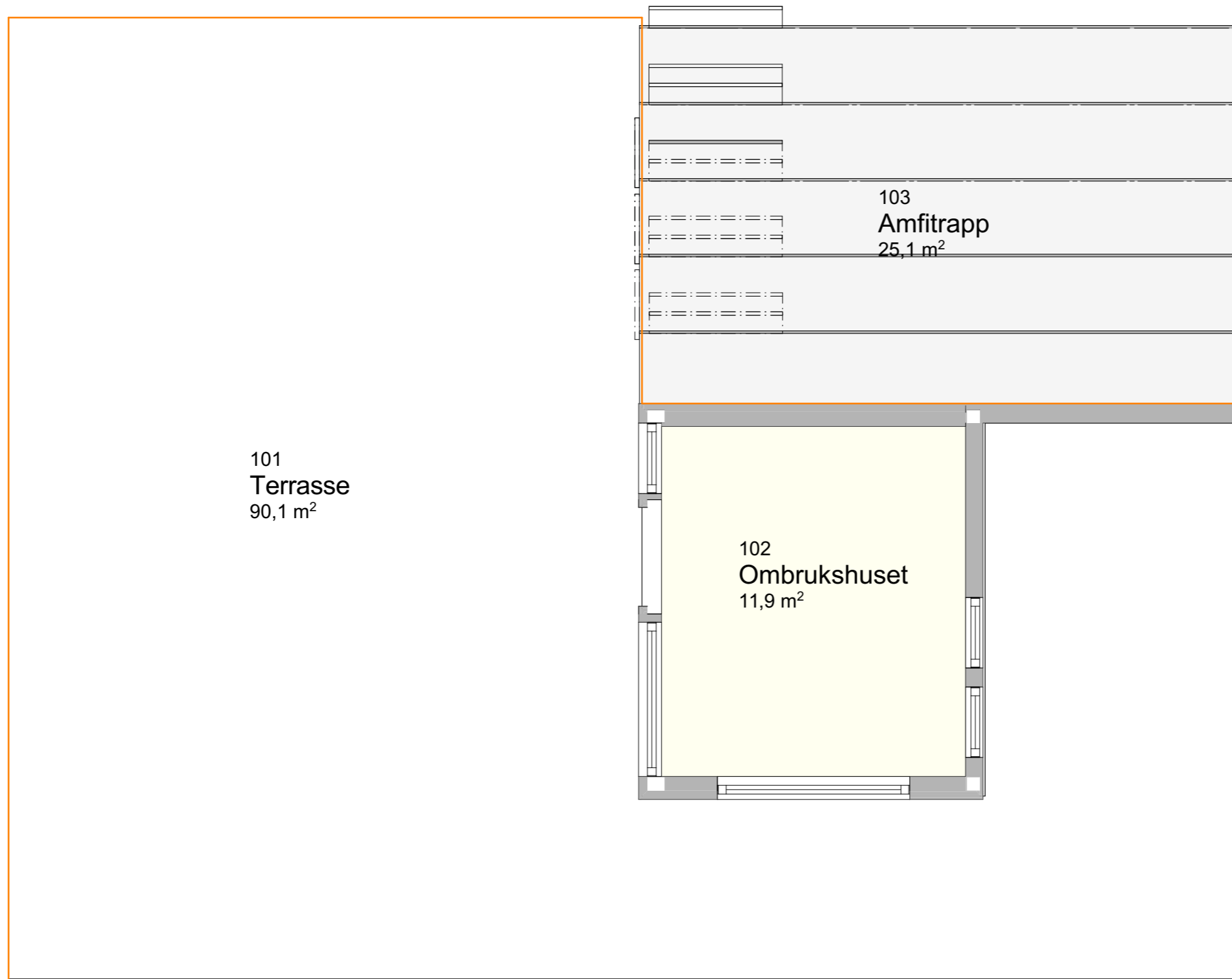
OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

Dato  
**16.05.2021**

TEGNINGSNAVN:  
**Plantegning 2.etg**

Målestokk  
**1:50**

TEGNINGSNR:  
**3.3**



NTNU

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

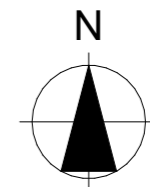
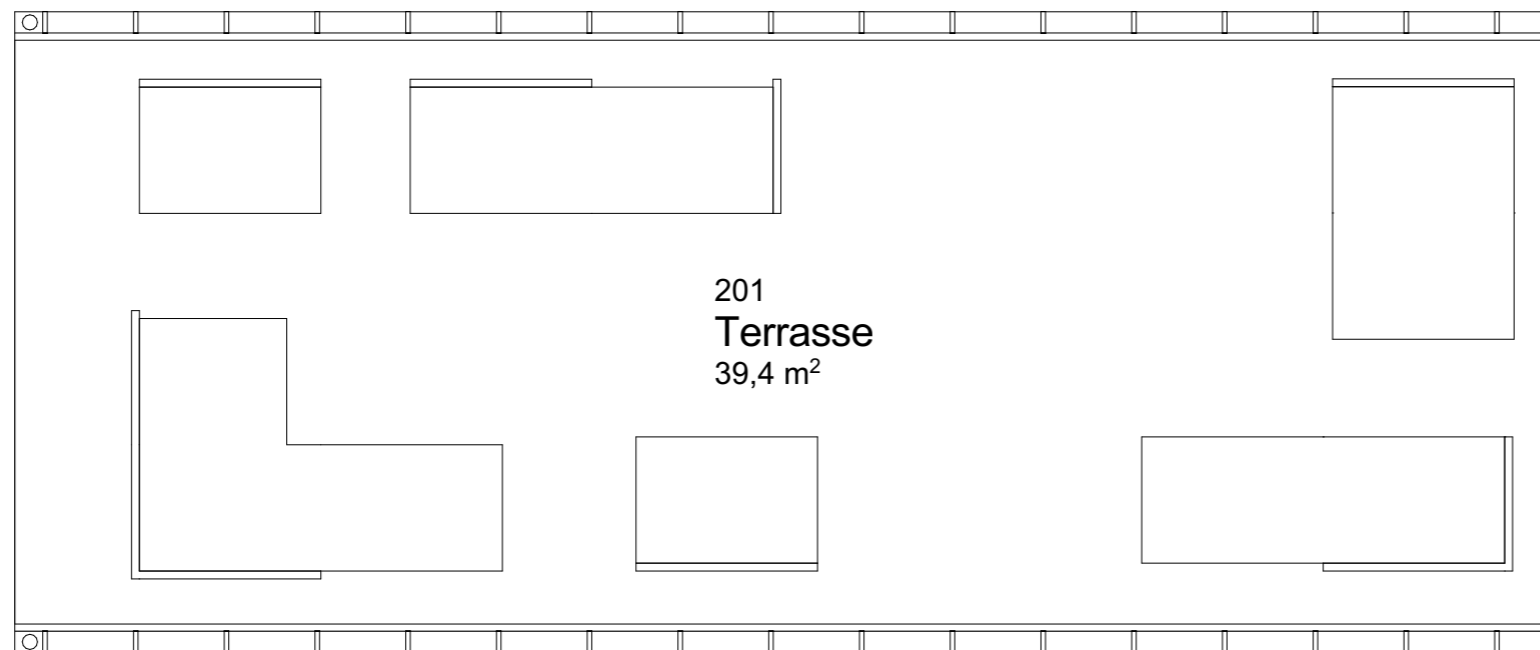
PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
07.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Arealplan 1.etg

Målestokk  
1:50  
TEGNINGSNR:  
4.1



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

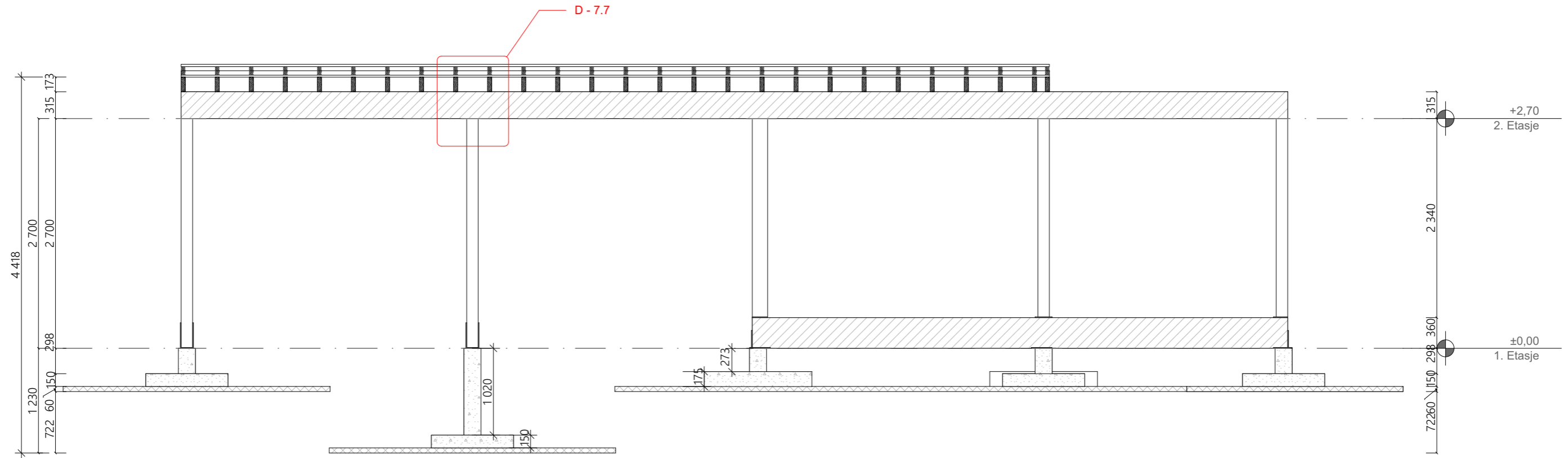
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
16.05.2021

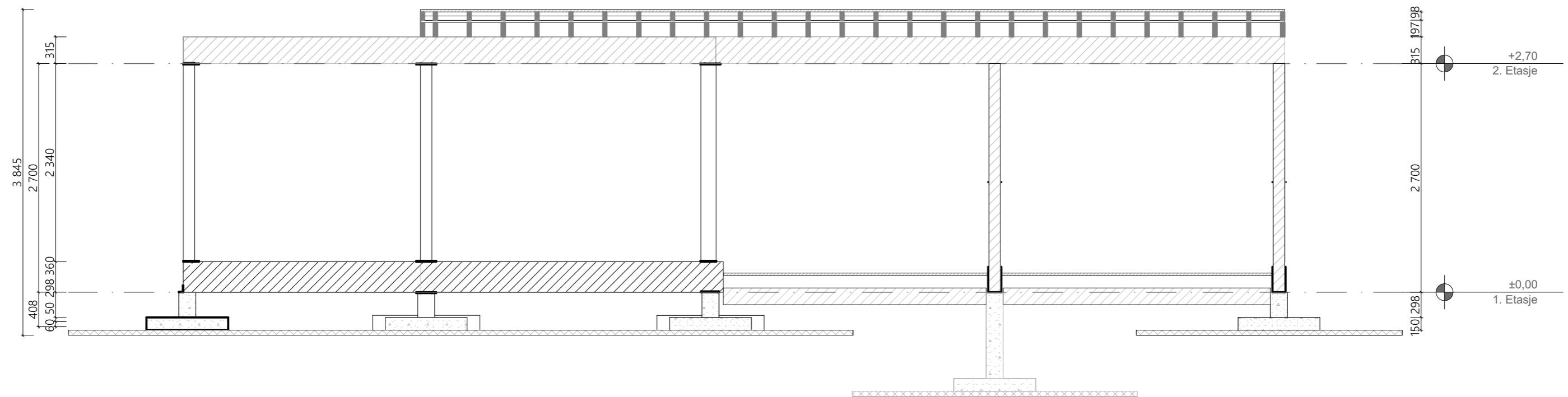
TEGNINGSNAVN:  
Arealplan 2.etg

Målestokk  
1:50

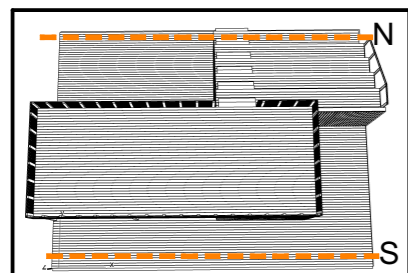
TEGNINGSNR:  
4.2



SNITT SØR



SNITT NORD



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Konstruksjonssnitt fra nord og sør

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

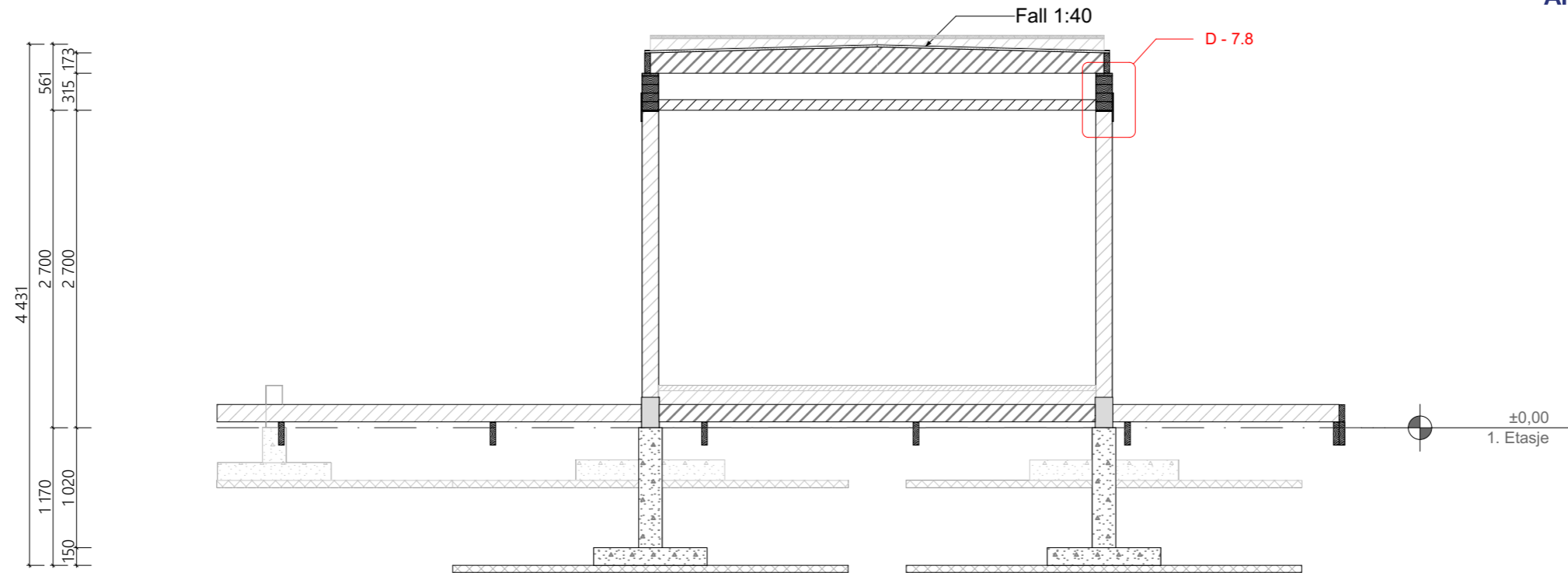
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
16.05.2021

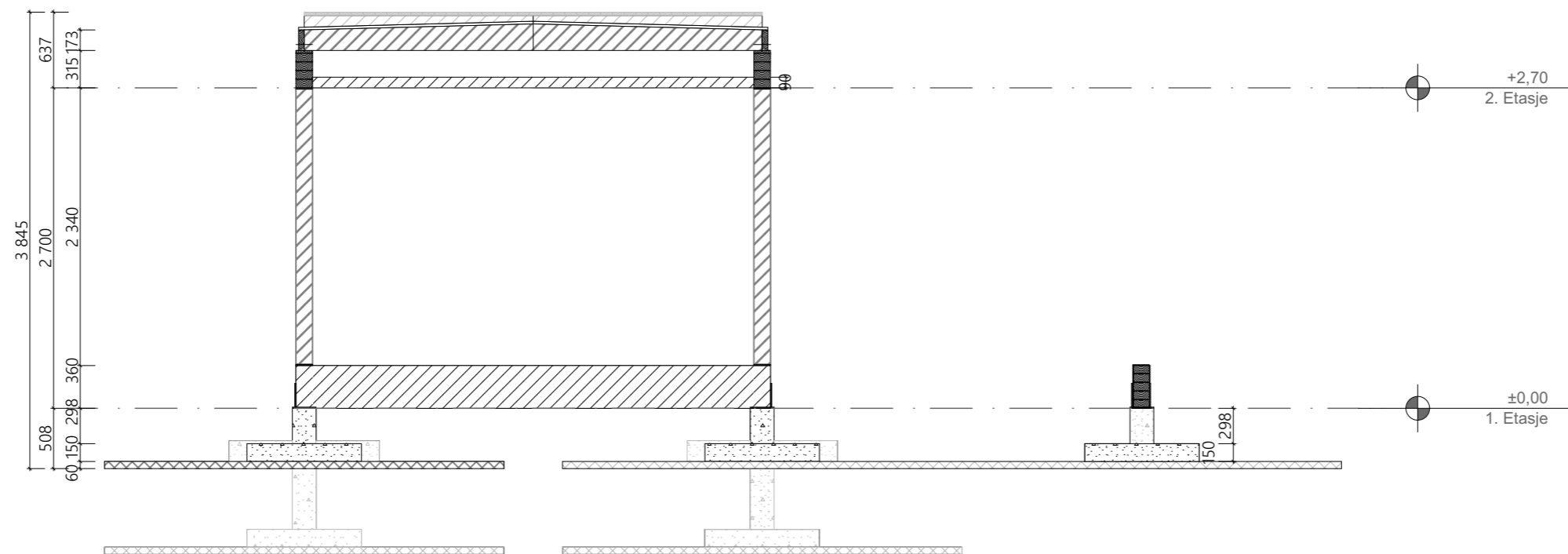


TEGNINGSNAVN:  
Konstruksjonssnitt sør og nord

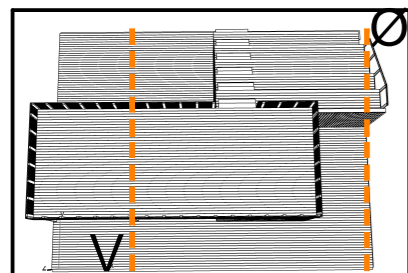
MÅLESTOKK:  
1:50  
TEGNINGSNR:  
5.1



SNITT VEST



SNITT ØST



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Konstruksjonssnitt fra utsnitt øst og vest

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
16.05.2021



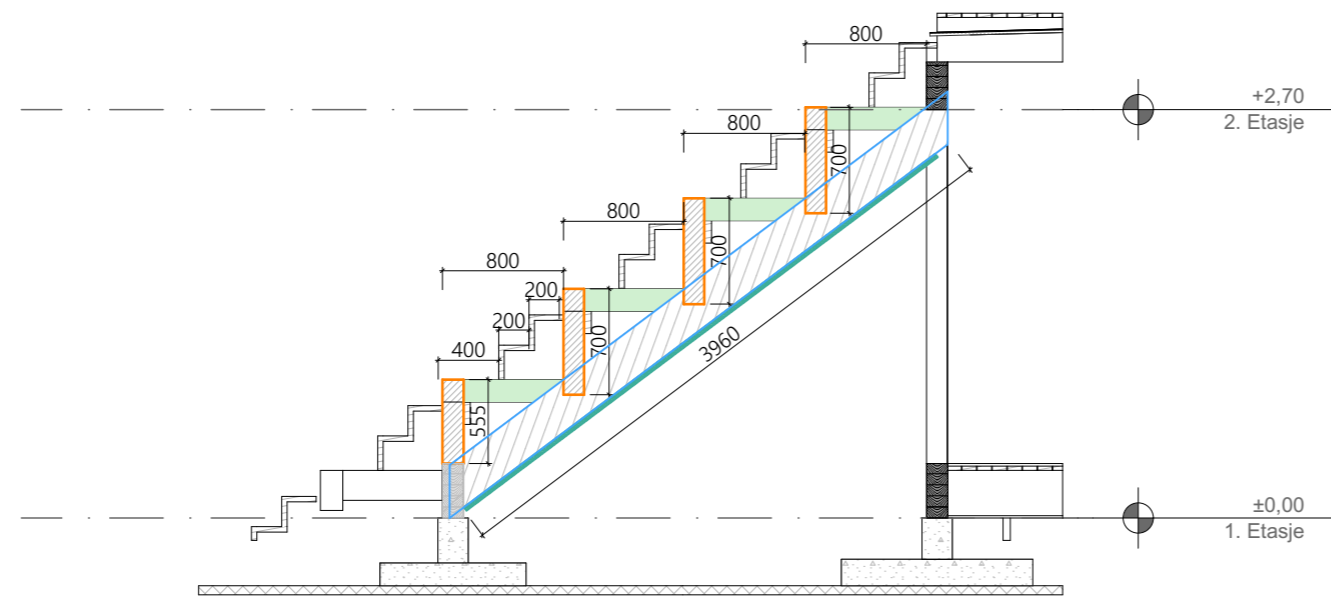
TEGNINGSNAVN:  
Konstruksjonssnitt øst og vest

MÅLESTOKK:  
1:50  
TEGNINGSNR:  
5.2

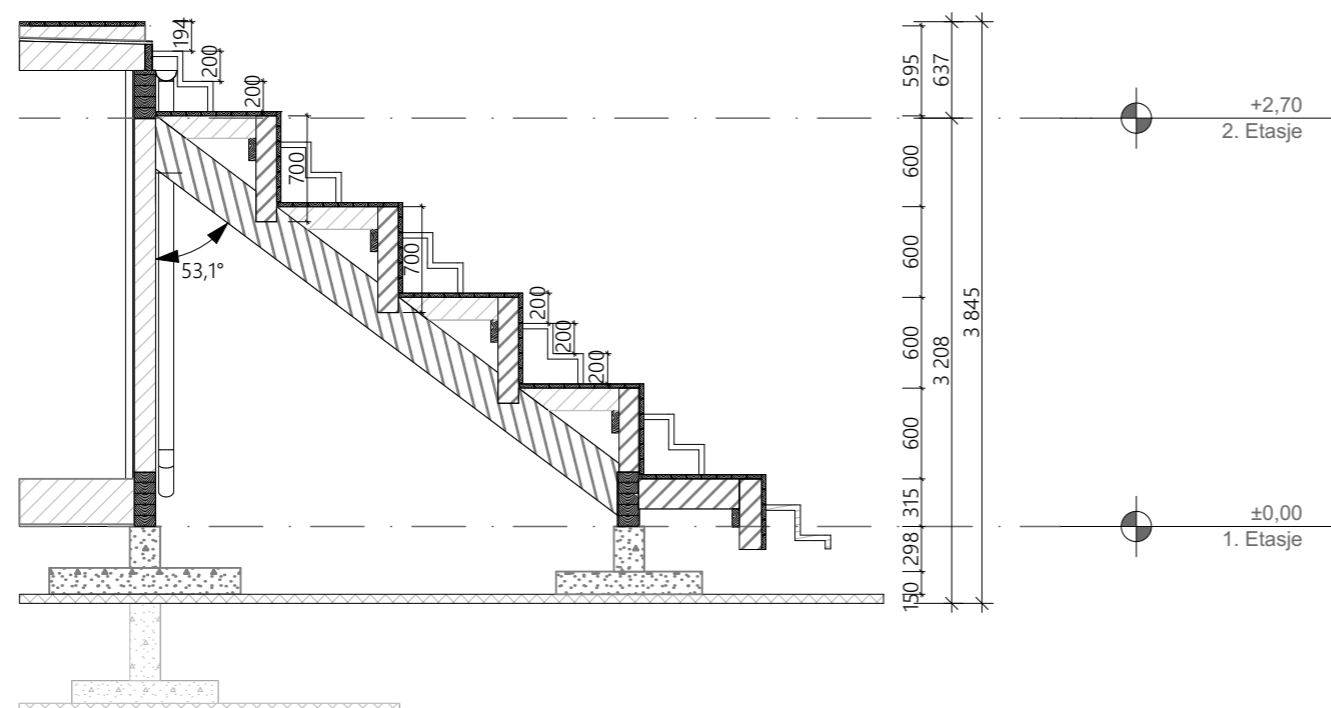
**ARCHICAD EDUCATION VERSION**

**Tegning beskrivelser:**



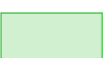

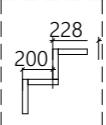
Snitt av trappekonstruksjon fra øst og vest.  
Fargene på nederste tegning er markert med beskrivelser under.

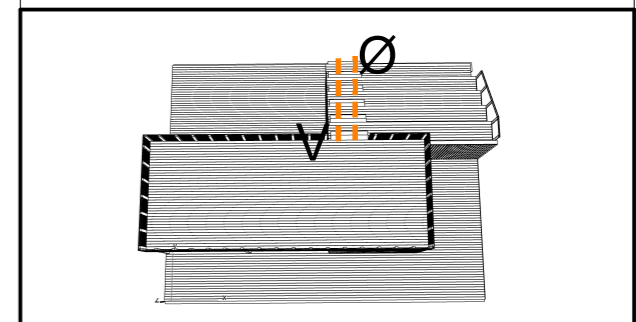


**SNITT VEST**



**SNITT ØST**

-  Søylar C24  
136mm x 36mm
-  Bærebjelke C24  
48mm x 280mm
-  Bjelker C24  
48mm x 148mm
-  Bjelker til avstiving C24  
28mm x 95mm
-  Bjelker til trapp C24  
200mm x 36mm  
228mm x 36mm



BACHELOROPPGAVE 2021:  
**Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

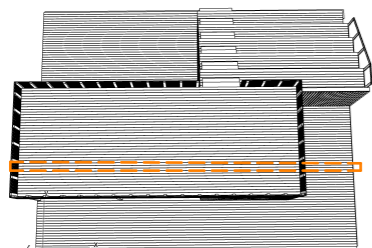
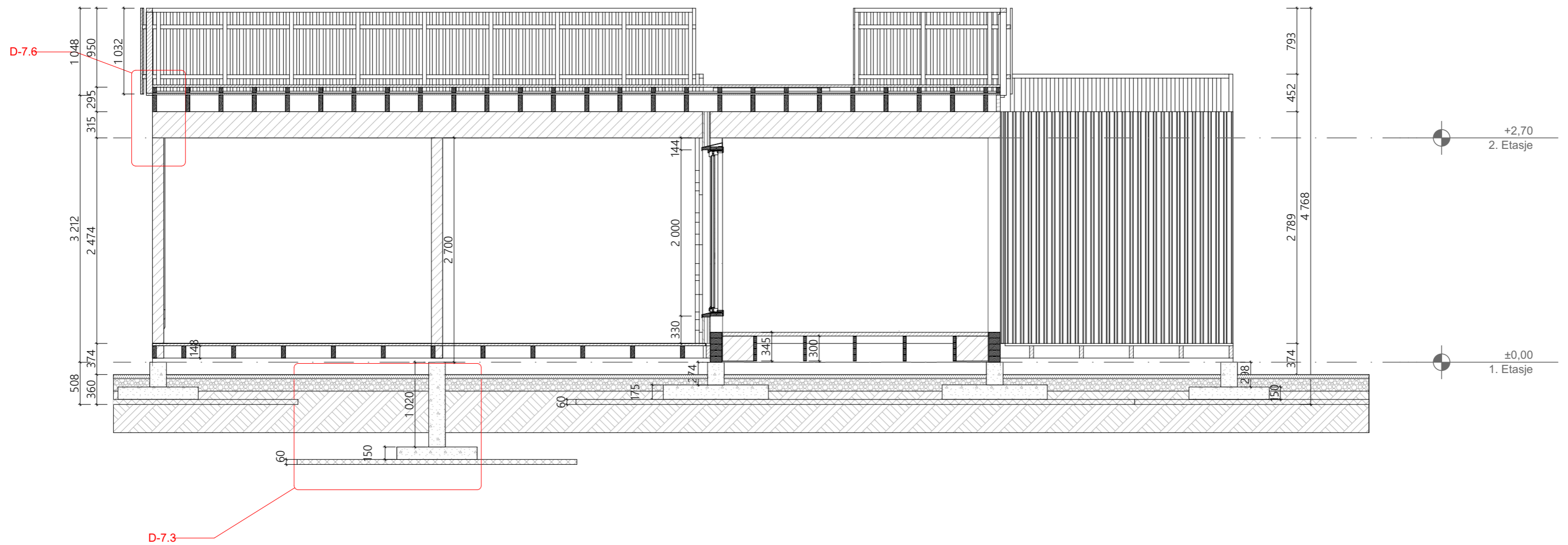
Dato  
**11.05.2021**

TEGNINGSNAVN:  
**Snitt trapp**

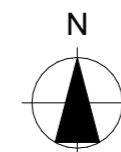
Målestokk  
**1:50**

TEGNINGSNR:  
**5.3**





TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Fullstendig snitt av konstruksjonen mot nord  
side med tilhørende detaljer



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

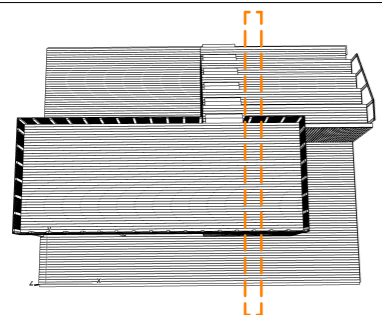
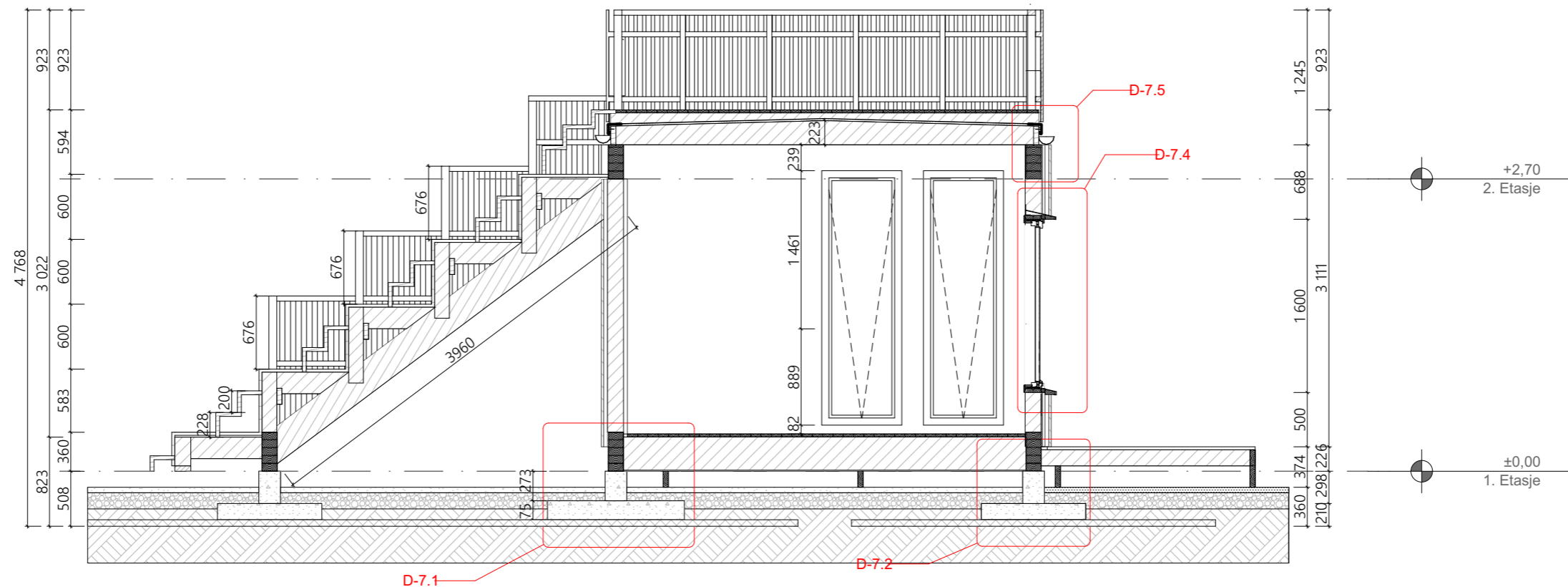
PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

TEGNINGSNAVN:  
Snitt nord

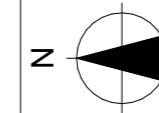
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
11.05.2021

MÅLESTOKK:  
1:50  
TEGNINGSNR:  
6.1



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
 Snitt mot østlig side, oversikt over gjenbrukshus.  
 Inkluderer markering av tilhørende detaljer



BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

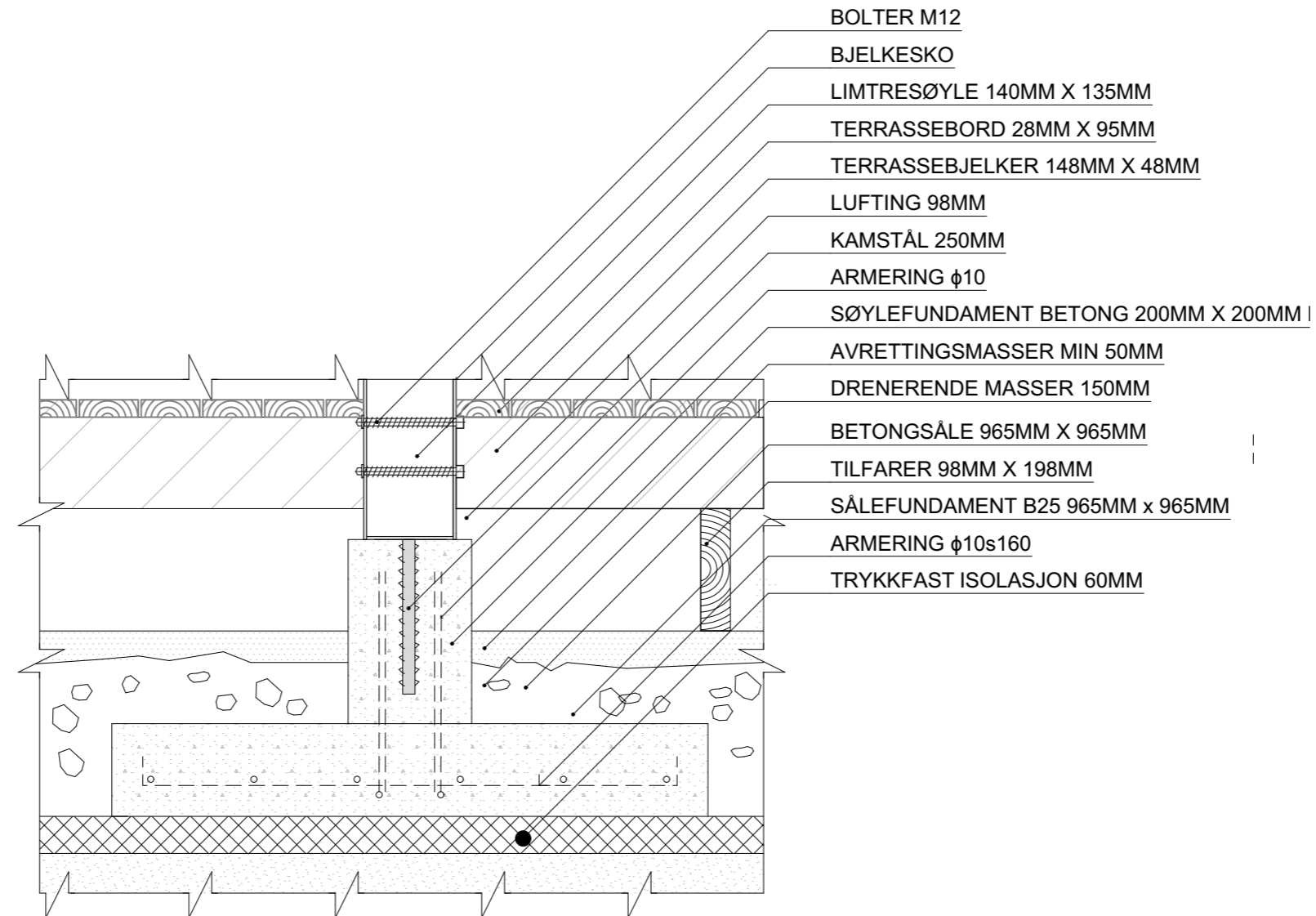
PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

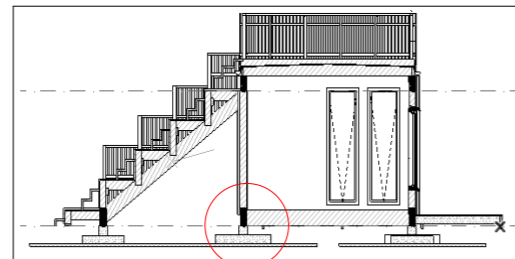
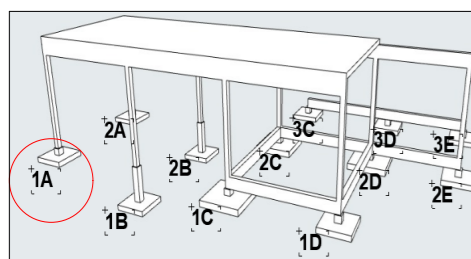
DATO:  
 11.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
 Snitt Øst

MÅLESTOKK:  
 1:50  
 TEGNINGSNR:  
 6.2



- BOLTER M12
- BJELKESKO
- LIMTRESØYLE 140MM X 135MM
- TERRASSEBORD 28MM X 95MM
- TERRASSEBJELKER 148MM X 48MM
- LUFTING 98MM
- KAMSTÅL 250MM
- ARMERING φ10
- SØYLEFUNDAMENT BETONG 200MM X 200MM |
- AVRETTINGSMASSER MIN 50MM
- DRENERENDE MASSER 150MM
- BETONGSÅLE 965MM X 965MM
- TILFARER 98MM X 198MM
- SÅLEFUNDAMENT B25 965MM x 965MM
- ARMERING φ10s160
- TRYKKFAST ISOLASJON 60MM



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
 Detaljtegning av fundament 1a, inkludert armering og fester. Er gjeldende for følgende fundament: 1a, 1d, 1e, 2a, 3c, 3d og 3e

BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

DATO:  
 19.05.2021



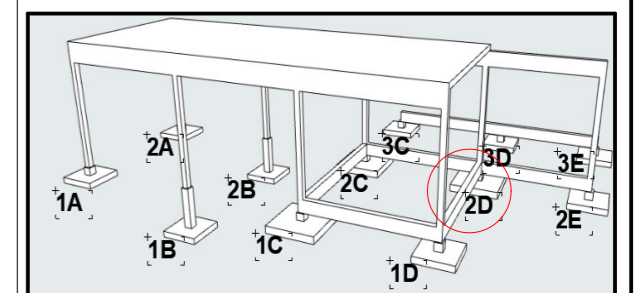
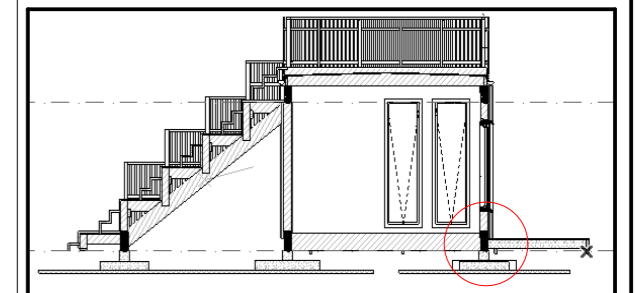
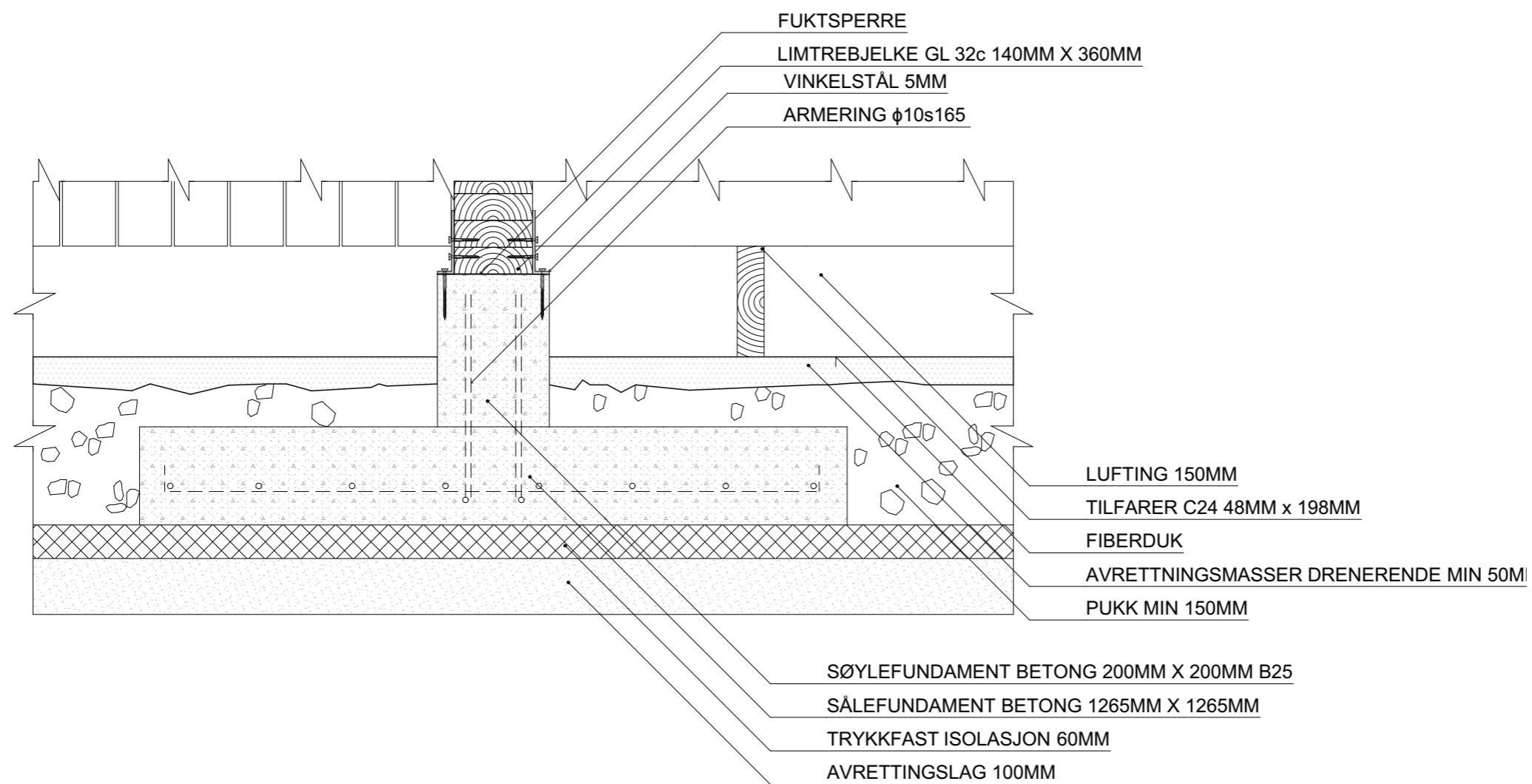
TEGNINGSNAVN:  
 Detalj. Fundament 1d

MÅLESTOKK:  
 1:10  
 TEGNINGSNR:  
 7.1

## ARCHICAD EDUCATION VERSION

### Tegning beskrivelser:

Detaljtegning av fundament 2d, inkludert armering og fester. Er gjeldende for følgende fundament: 1c, 2c og 2d



BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

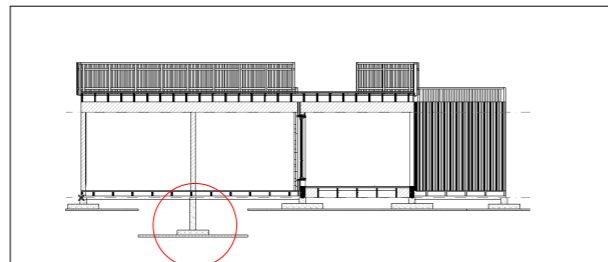
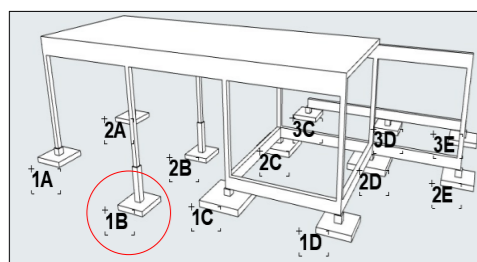
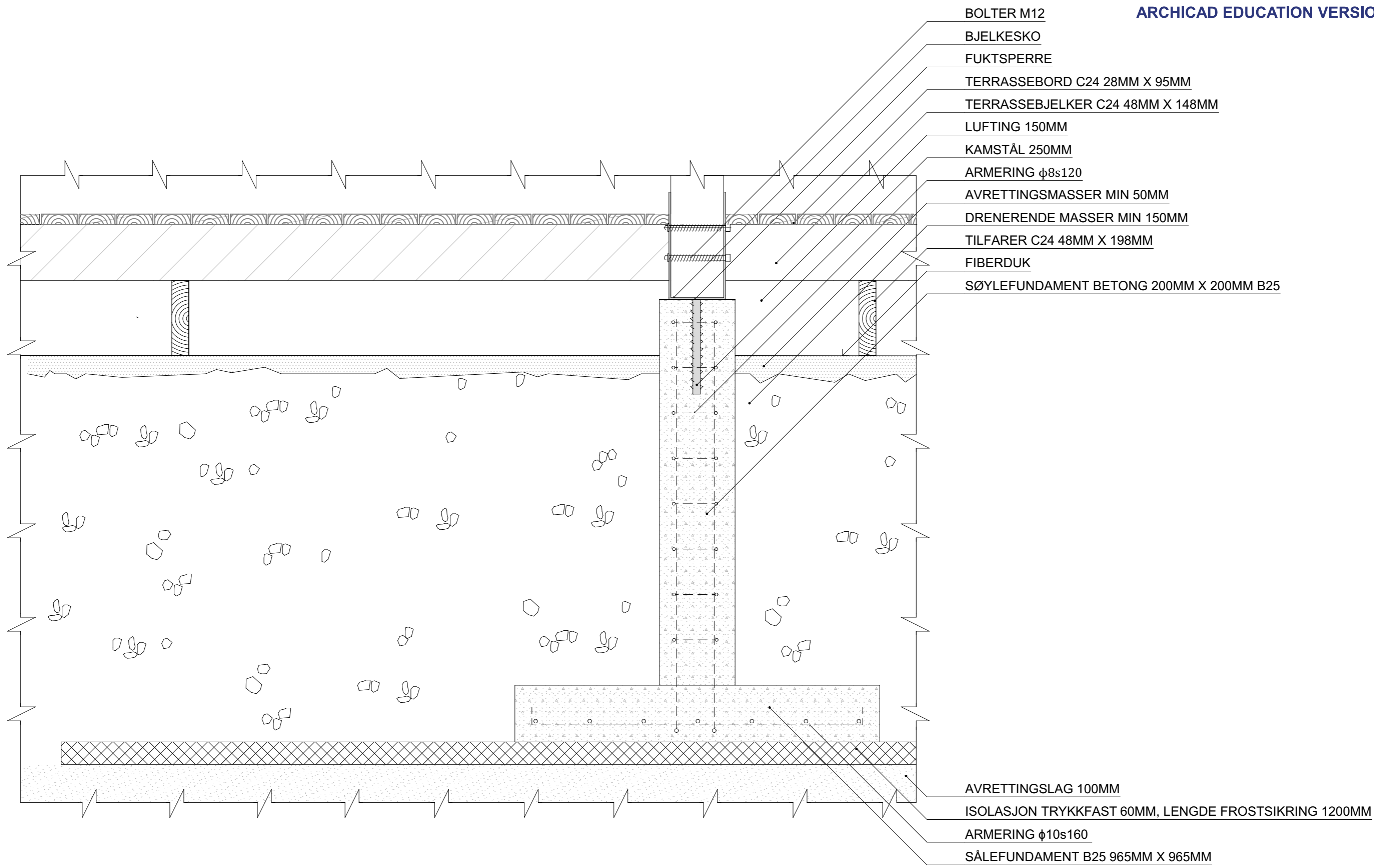
PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

Dato  
19.05.2021

TEGNINGSNAVN:  
Detalj. Fundament 2d

Målestokk  
1:10  
TEGNINGSNR:  
7.2



**TEGNINGSBESKRIVELSE:**  
 Detaljtegning av fundament 1b, inkludert armering og fester. Er gjeldende for følgende fundament: 1b og 2b

BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

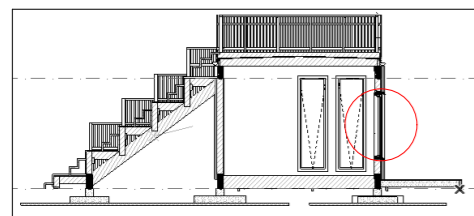
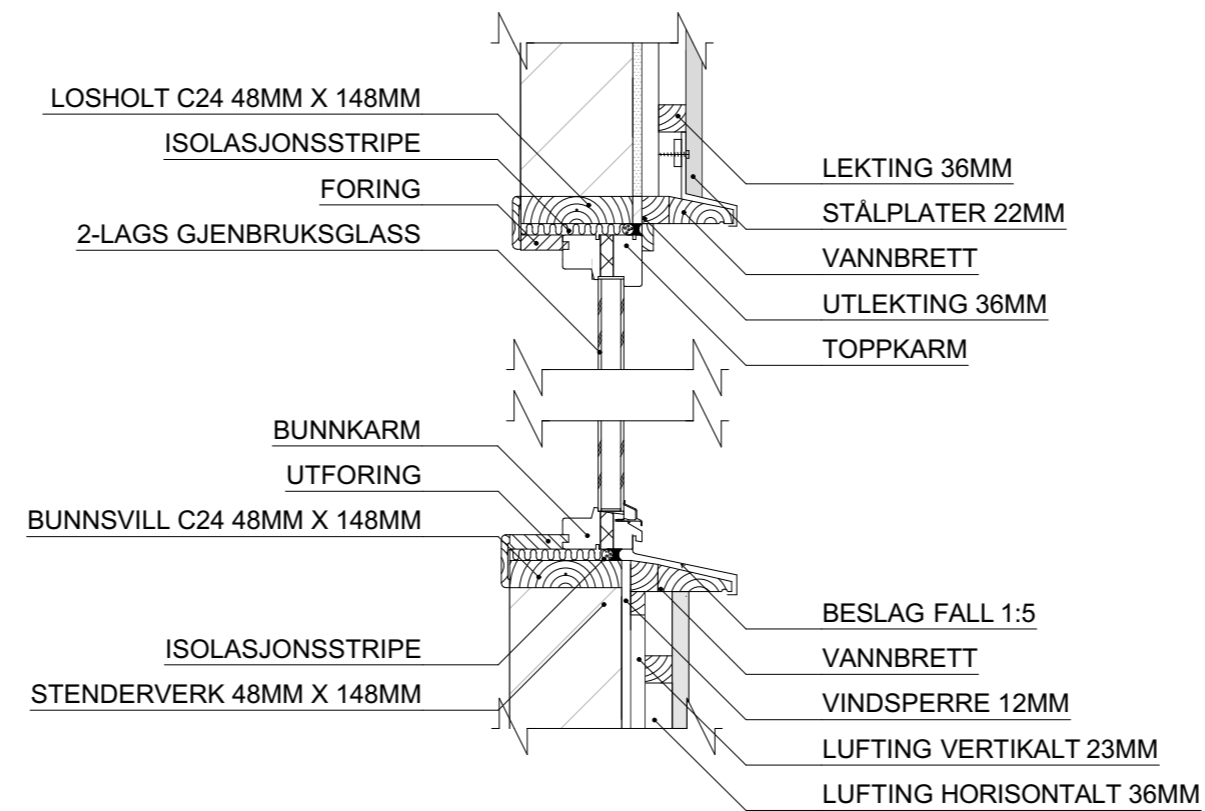
OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

DATO:  
 16.05.2021



TEGNINGSNAMN:  
 Detalj. Fundament 1b

MÅLESTOKK:  
 1:10  
 TEGNINGSNR:  
 7.3



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
Detaljtegning vindu vertikalt

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

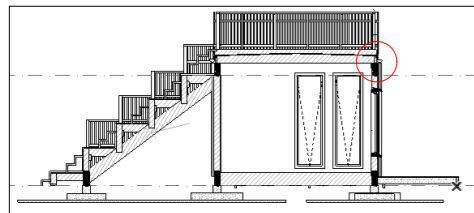
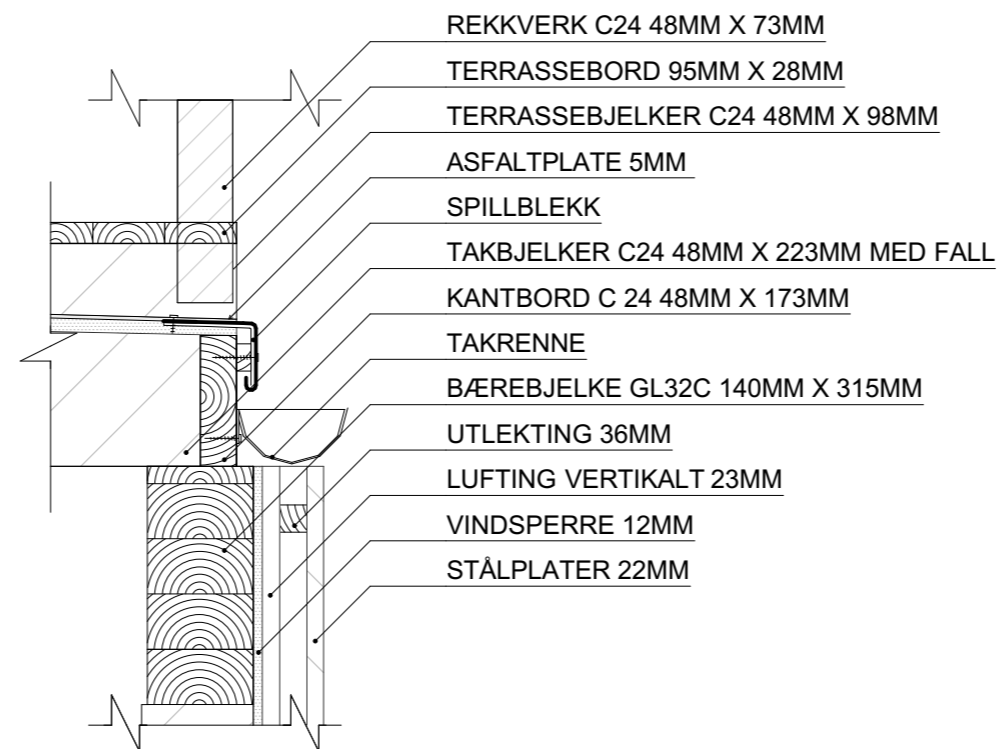
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
11.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
Detalj. Vindu vertikalt snitt

MÅLESTOKK:  
1:10  
TEGNINGSNR:  
7.4



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
 Detaljtegning ovegang yttervegg/ terrasse

BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

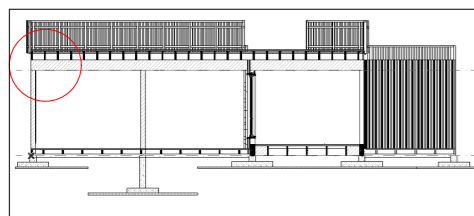
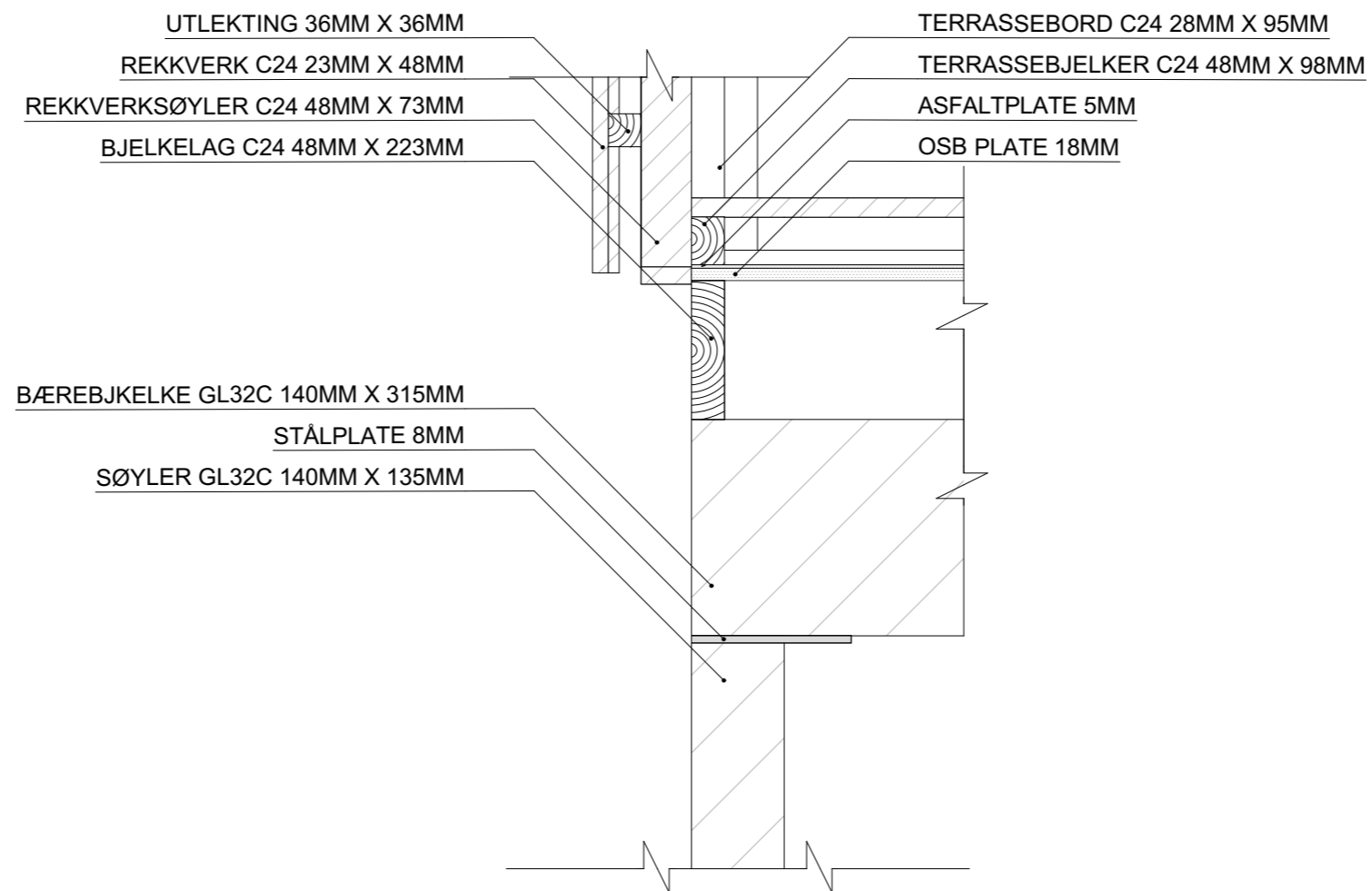
OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

DATO:  
 11.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
 Detalj. Yttervegg/terrasse

MÅLESTOKK:  
 1:10  
 TEGNINGSNR:  
 7.5



TEGNINGSBESKRIVELSE:  
 Detaljtegning vindu vertikalt

BACHELOROPPGAVE 2021:  
 Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
 Gruppe 18, NTNU  
 Sverres gate 12  
 7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
 Asplan Viak

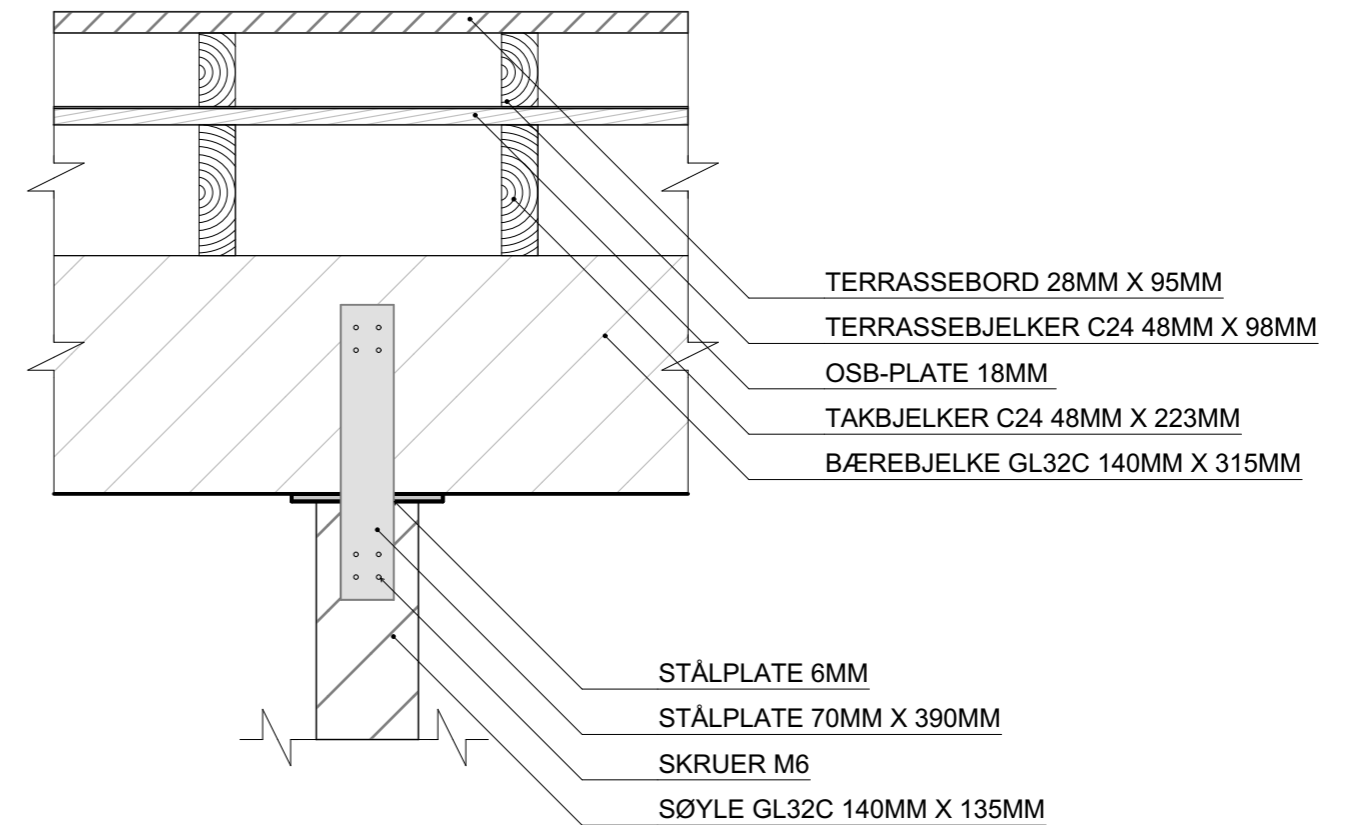
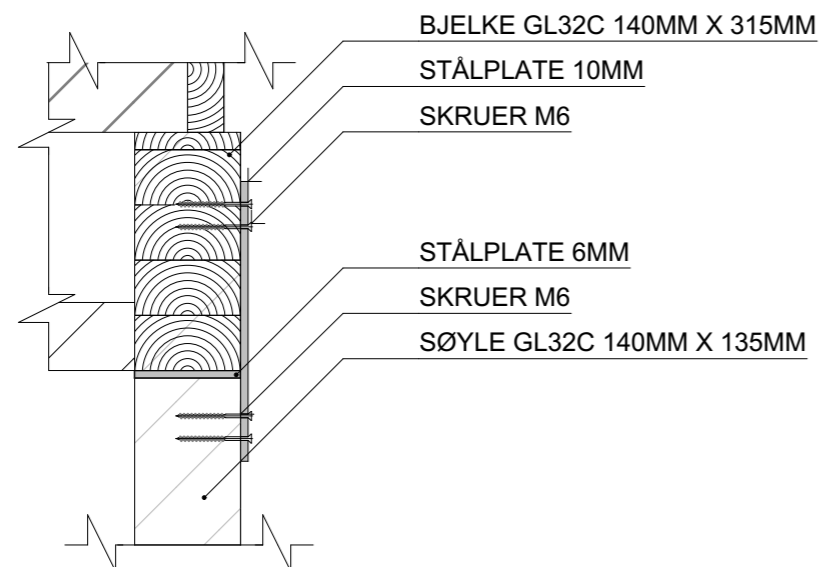
DATO:  
 11.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
 Detalj. Søyle/terrasse

MÅLESTOKK:  
 1:10  
 TEGNINGSNR:  
 7.6





## TEGNINGSBESKRIVELSE:

Detaljtegning av overgangen søyle til bærebjelke med innfesting.

## SKRUER:

4 stk skruer i hver innfestningskomponent

Ytterste skrue står 20mm inn fra kant i x retning og 30mm inn fra kant i y retning

BACHELOROPPGAVE 2021:

Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:

Gruppe 18, NTNU

Sverres gate 12

7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:

Asplan Viak

DATO:

16.05.2021



NTNU

TEGNINGSNAVN:

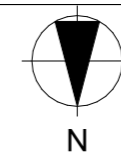
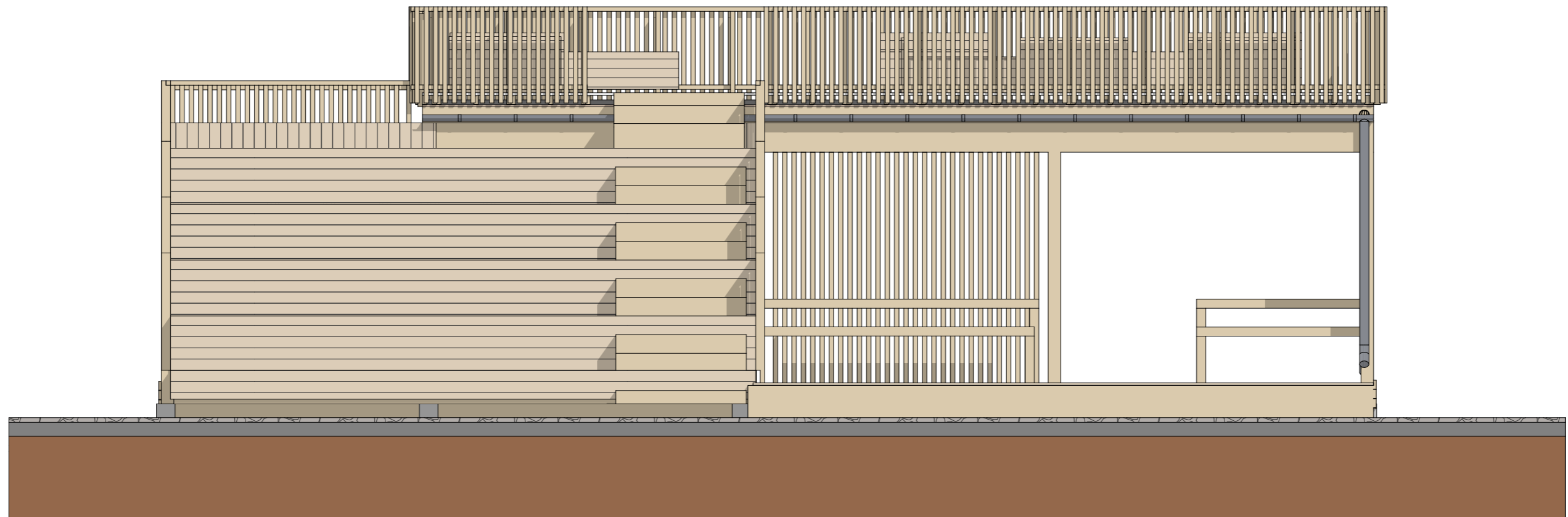
Detalj. Overgang søyle/drager  
med feste

MÅLESTOKK:

1:10

TEGNINGSNR:

7.7



BACHELOROPPGAVE 2021:  
**Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

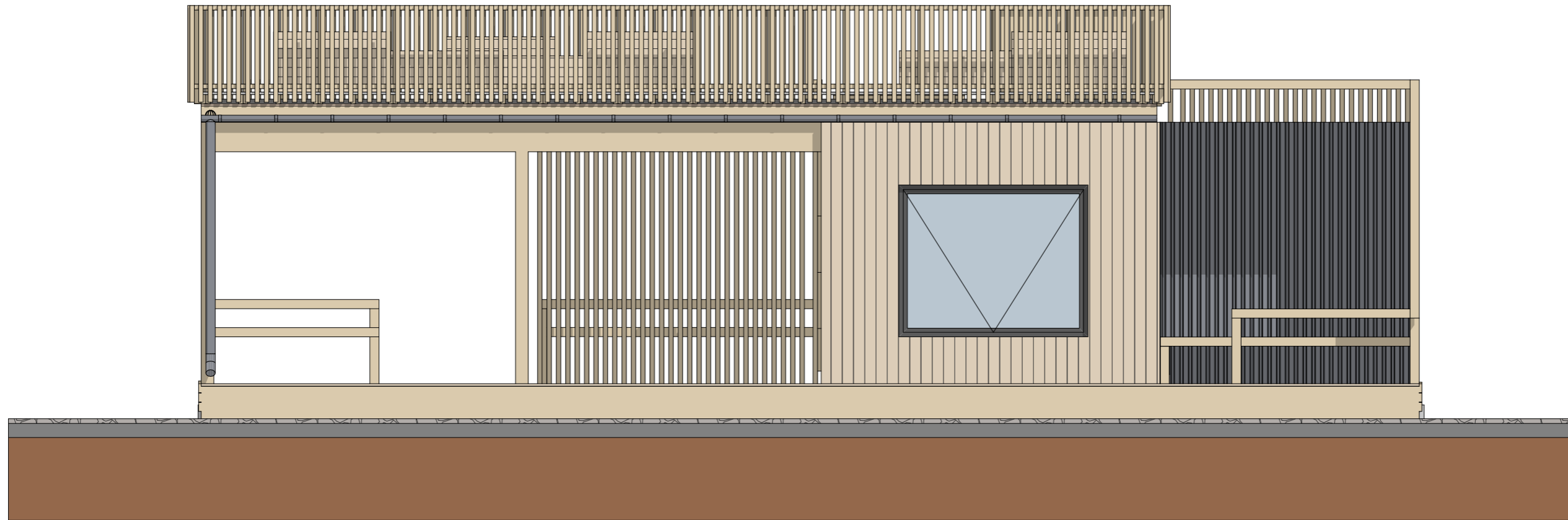
TEGNINGSNAVN:  
**Fasade Nord**

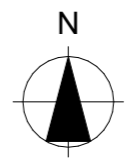

OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

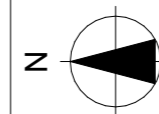
DATO:  
**14.05.2021**

MÅLESTOKK:  
**1:50**

TEGNINGSNR:  
**8.1**



 N	BACHELOROPPGAVE 2021: <b>Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv</b>	
	PROSJEKTERENDE: <b>Gruppe 18, NTNU</b> Sverres gate 12 7012 Trondheim	OPPDRAGSGIVER: <b>Asplan Viak</b>
 NTNU	TEGNINGSNAMN: <b>Fasade Sør</b>	DATO: <b>14.05.2021</b>
		MÅLESTOKK: <b>1:50</b>
		TEGNINGSNR: <b>8.2</b>



BACHELOROPPGAVE 2021:  
**Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

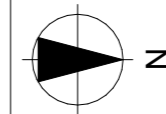
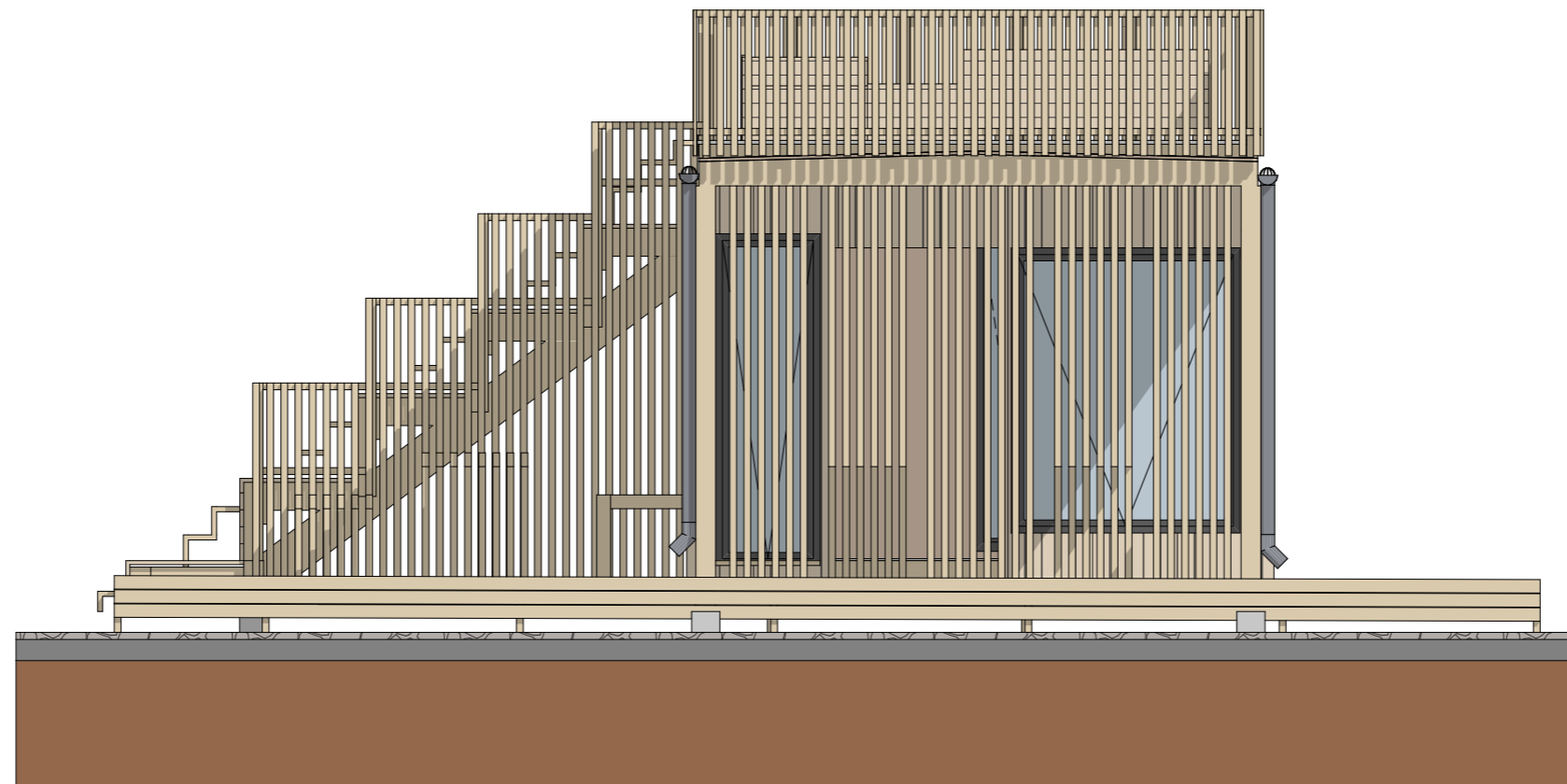
OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

DATO:  
**14.05.2021**



TEGNINGSNAVN:  
**Fasade Øst**

MÅLESTOKK:  
**1:50**  
TEGNINGSNR:  
8.3



BACHELOROPPGAVE 2021:  
**Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv**

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

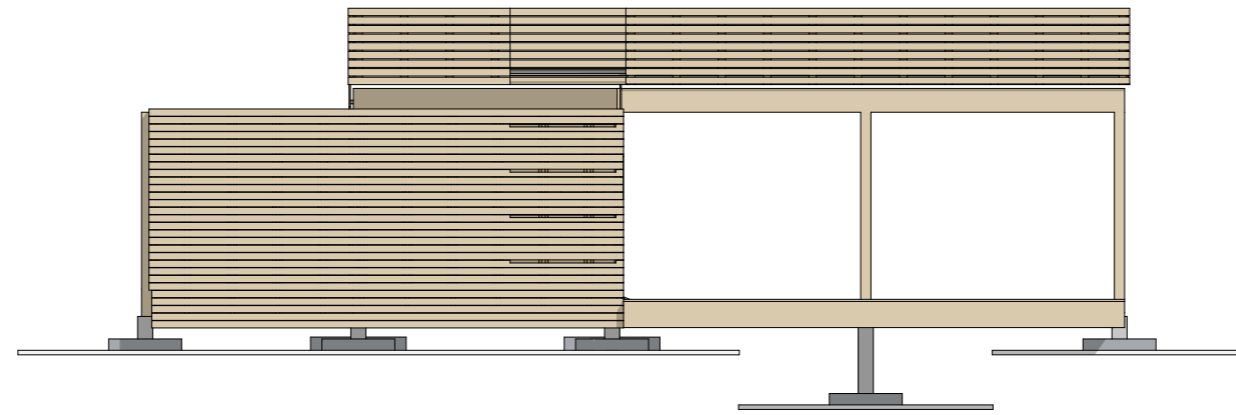
DATO:  
**14.05.2021**



TEGNINGSNAVN:  
**Fasade Vest**

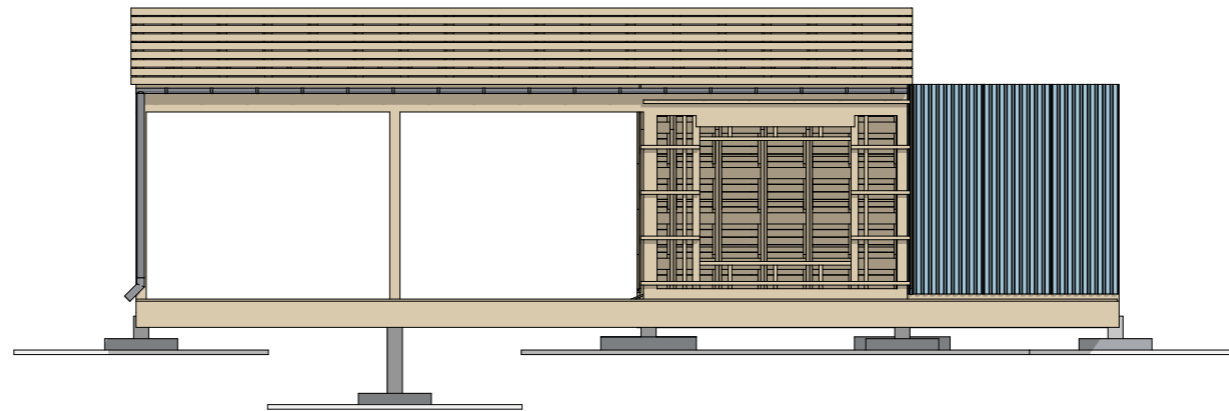
MÅLESTOKK:  
**1:50**

TEGNINGSNR:  
**8.4**



Fasade Nord

1:100



Fasade Sør

1:100

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

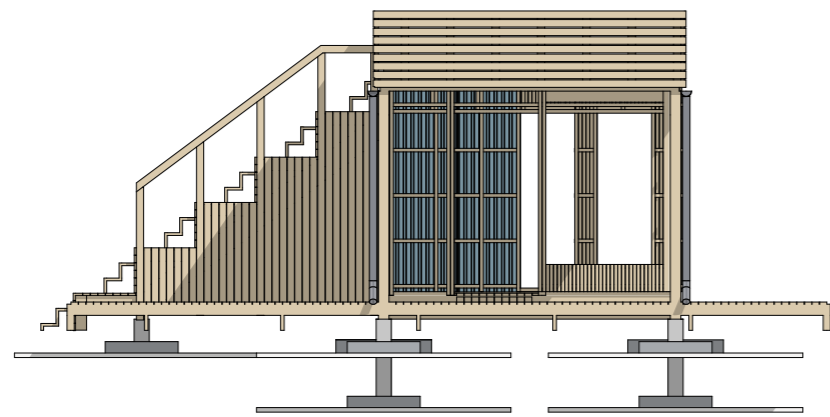
DATO:  
16.05.2021



NTNU

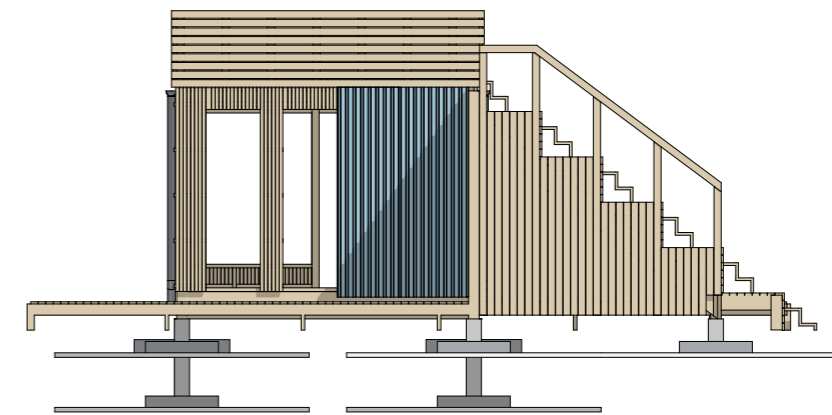
TEGNINGSNAVN:  
Konstruksjonsfasade Nord og  
Sør

MÅLESTOKK:  
1:100  
TEGNINGSNR:  
8.5



Fasade Vest

1:100



Fasade Øst

1:100

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
16.05.2021



NTNU

TEGNINGSNAVN:  
Konstruksjonsfasade Øst og Vest

MÅLESTOKK:  
1:100  
TEGNINGSNR:  
8.6



## TEGNINGSBESKRIVELSE:

Aksonometrisk illustrasjon sør-østlig side. Der det er illustrert med et videreutviklet design (Twinmotion)

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
**Gruppe 18, NTNU**  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
**Asplan Viak**

DATO:  
20.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
**Aksonometrisk Sør-øst**

TEGNINGSNR:  
9.1





## TEGNINGSBESKRIVELSE:

Aksonometrisk illustrasjon sør-østlig side. Der det er illustrert med et videreutviklet design (Twinmotion)

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

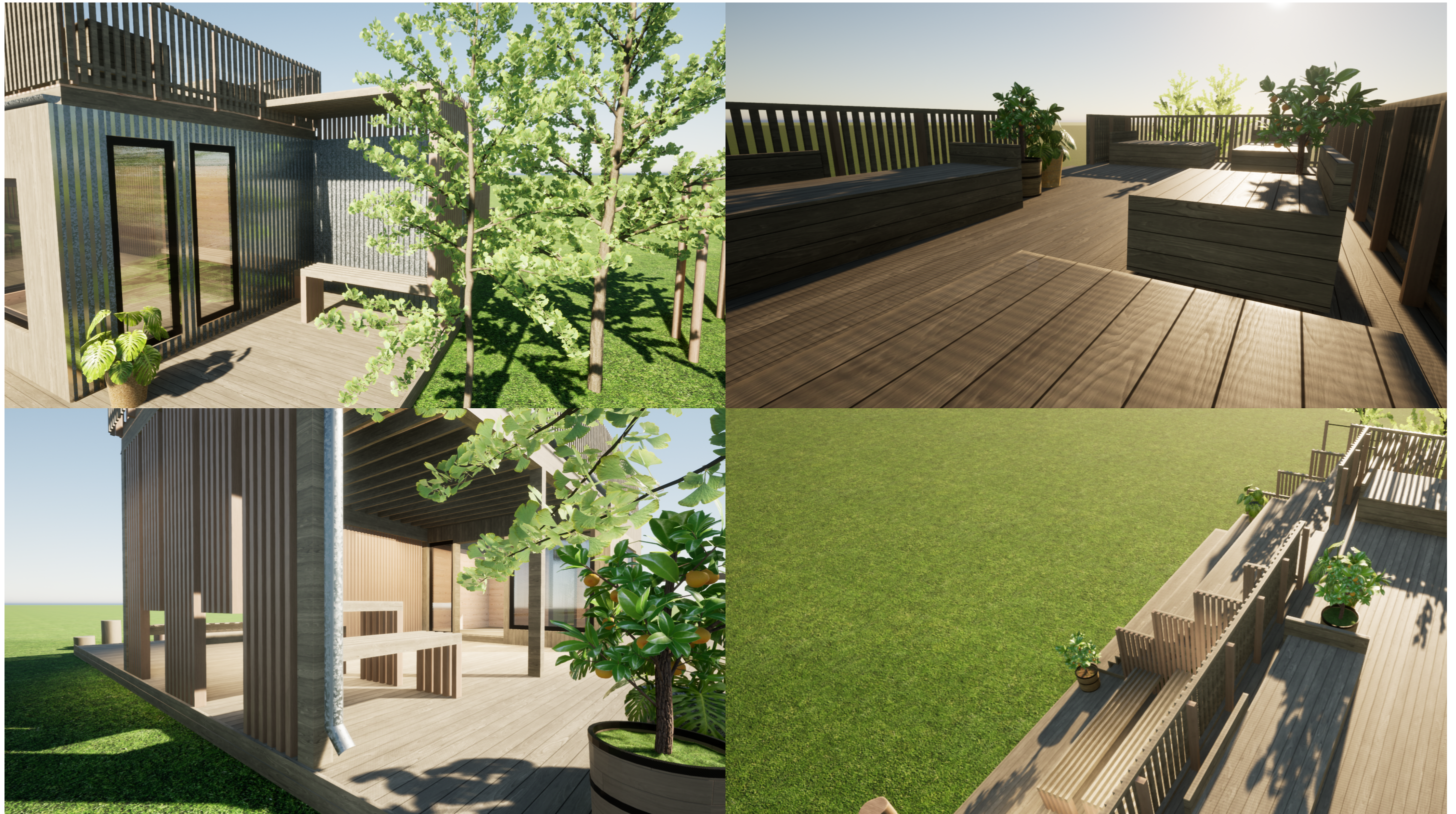
OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
20.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
Aksonometrisk Nord-øst

TEGNINGSNR:  
9.2



TEGNINGSBESKRIVELSE:

Aksonometrisk illustrasjon detaljer. Illustrert med et videreutviklet design (Twinmotion)

BACHELOROPPGAVE 2021:  
Prosjektering av studentmøtepunkt i et miljøperspektiv

PROSJEKTERENDE:  
Gruppe 18, NTNU  
Sverres gate 12  
7012 Trondheim

OPPDRAGSGIVER:  
Asplan Viak

DATO:  
16.05.2021



TEGNINGSNAVN:  
Aksonometrisk detaljer

TEGNINGSNR:  
9.3