



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Priskalkulering og sammenligning av
dekketyper i boligblokk

Price calculations and comparison of slabs in
an apartment block

Oddne Kleiven (241) Torstein Kirkebø (239)

Byggingeniør

Fakultet for ingeniør- og naturvitskap / Institutt for Byggfag

Veileder: Ragnhild Marie Alvær Slaatten

21.05.2021

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Denne oppgaven er vårt avsluttende arbeid ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Bergen og utgjør 20 studiepoeng av studieprogrammet Bygg, der vi begge går studieretningen konstruksjon.

Norconsult avdeling Sogndal presenterte prosjektet Lerum Brygge for oss i høsten 2020. Etter flere samtaler med bedriften, ble det avklart at vi skulle se på alternative dekketyper for blokk B i boligprosjektet Lerum brygge. Det har vært en spennende og svært lærerik oppgave. Endring av dekke har hatt større innvirkning på konstruksjonen enn først antatt i startfasen av arbeidet. For å svare på problemstillingen i oppgaven har vi hatt god bruk for det vi har lært gjennom de tre siste årene på studiet. Fagene stålkonstruksjoner, betongkonstruksjoner og bygningskonstruksjoner har vært spesielt hjelpsomme. Det har også vært nødvendig å anskaffe seg kunnskap om både programmer som FEM-design og Revit, i tillegg til ulike tema som jordskjelv, geometriske avvik og prissetting.

Fokuset i oppgaven har vært å finne en alternativ dekketype som opprettholder krav til konstruksjonen og totalt sett er billigere en original dekkeløsning fra Norconsult. For å finne ett realistisk alternativ er det blitt kontaktet flere aktører i byggebransjen som har hjulpet til med ulike deler av oppgaven. Vi ønsker i den anledning å takke våre samarbeidspartnere Bubbledeck Norway AS, Kleiven Sogn AS og Norsar. Ytterligere vil vi gi en stor takk til vår interne veileder Ragnhild Marie Alvær Slaatten, og til Norconsult for utdeling av oppgaven, der de alltid har hatt tid til ett møte som har vært til stor hjelp.

Bergen, mai 2021



Torstein Kirkebø



Oddne Kleiven

Sammendrag

Med økt fokus på miljø er det nødvendig å undersøke alternative muligheter. Denne oppgaven tar for seg muligheten til å finne en alternativ dekketype og sammenligne med planlagt løsning fra Norconsult, der målet er å kutte både økonomiske kostnader og klimagassutslipp.

For å få en oversikt over realistiske løsninger som tilfredsstill problemstillingen, ble det innhentet informasjon om egenskapene til ulike dekketyper. Byggets utforming, størrelse og allerede planlagte bæresystem ble tatt som utgangspunkt. Etter å ha sammenlignet mulighetene stod bubbledeck igjen som den mest gunstige løsningen.

Den opprinnelige modellen med massiv stedstøpt dekke ble tolket og tegnet i FEM-design, basert på arkitekttegninger og den delvis prosjekterte RIB-modellen fra Norconsult.

Med god veiledning og samarbeid fra Bubbledeck Norway AS ble det tegnet ett alternativt bæresystem. Dette ble tegnet i Revit for å få en god og ryddig fremstilling. Den nye modell ble deretter tegnet inn i FEM-design.

Lastberegninger for begge modeller er utført for hånd, i Ove Sletten Lastberegninger og FEM-design. Nødvendig dimensjonering av bubbledecket og ståldimensjoner er beregnet i FEM-design. Antallet kvadratmeter og volumstørrelser for de ulike materialene er tatt utgangspunkt i de to FEM-modellene.

I siste del av oppgaven sammenlignes de to bæresystemene. Det gjennomføres priskalkyler for hver av modellene hvor utgiftene for hvert alternativ presenteres, Totale miljøskadelige utslipp vil også bli presentert og sammenlignet.

Summary

With an increased focus on the environment lately, is it necessary to consider alternative options. This thesis will address the possibility to find an alternative model for the structural system made by Norconsult, where the financial cost and the total amount of emissions is less.

To get an early outline which can potentially help solving the topic issue, we gathered information about different types of slabs. The choice was based on the buildings design, size and already planed structural system. After comparing potential options, the bubbledeck stood out as the best solution.

The original model with the cast-in-place concrete slab was interpreted and drawn in FEM-design, based on the architectural solutions and the partial done structural model of the building in Solibri.

With a great guidance and cooperation with Bubbledeck Norway, it was made an alternative structural model which was drawn in Revit to get a neat overview. The changes from the originally cast-in-place concrete slab was made in a new model in FEM-design.

All calculations about loads and necessary calculations for both models, has been estimated by hand, Ove Sletten Lastberegninger and FEM-design. The total area of square meters and volume sizes for the different materials is based on the two models in FEM-design.

The last part of the thesis is comparing the two structural systems. Price calculations for each model with a presented. The amount of total emissions for both models will also be presented and compared.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Summary	III
Figurer.....	VI
Tabeller	VIII
1 Innledning.....	1
1.1 Om prosjektet.....	1
1.2 Om oppgaven.....	4
1.3 Problemstilling.....	4
1.4 Avgrensninger.....	5
2 Teori.....	6
2.1 Dekker.....	6
2.1.1 Stedsstøpt dekke.....	6
2.1.2 Plattendekke.....	7
2.1.3 Bubbledeck	8
2.1.4 Hulldekke.....	10
2.2 Materialer.....	11
2.2.1 Betong.....	11
2.2.2 Stål	12
2.2.3 Armering.....	12
2.3 Standarder og forskrifter	13
3 Metode.....	14
3.1 Fremgangsmåte.....	14
3.2 Programmer.....	15
3.2.1 FEM Design.....	15
3.2.2 MathCAD.....	16
3.2.3 Ove sletten-programmer - Lastberegning	16
3.2.4 Solibri.....	16
3.2.5 Autocad 2021	16
3.2.6 Autodesk Revit Structure 2022.....	17
3.3 Vurderingskriterier.....	17
3.3.1 Økonomi	17
3.3.2 Miljø.....	18
4 Blokk B.....	19

4.1	Løsning med stedstøp dekke	19
4.1.1	Dekke og bæresystem	19
4.1.2	Baderomskabiner	22
4.2	Løsning med bubbledeck	23
4.2.1	Avstivningssystem	24
5	Dimensjoneringsgrunnlag.....	25
5.1	NS-EN 1990.....	25
5.2	Permanente påvirkninger	28
5.2.1	Egenlast.....	28
5.2.2	Geometrisk avvik	30
5.2.3	Svinn og kryp.....	31
5.3	Variabel påvirkninger	32
5.3.1	Nyttelast.....	32
5.3.2	Snølast.....	33
5.3.3	Vindlast.....	34
5.4	Ulykkespåvirkninger.....	36
5.5	Lastkombinering	37
5.6	Materialvalg.....	38
6	Dimensjonering og mengdeberegninger.....	39
6.1	Løsning med stedstøpt dekke.....	39
6.1.1	Vegger.....	41
6.1.2	Stålsøyler og bjelker.....	42
6.2	Løsning med bubbledeck.....	44
6.2.1	Vegger.....	45
6.2.2	Stålsøyler og bjelker.....	45
6.2.3	Parkeringskjeller og fundamentering.....	46
6.3	Bygningsfysiske forhold	47
6.3.1	Lyd.....	47
6.3.2	Brann.....	49
7	Sammenligning.....	50
7.1	Økonomi	50
7.2	Miljø.....	51
8	Konklusjon.....	53
	Kilder	54
	Vedlegg.....	60

Figurer

Figur 1-1 Blokk A til venstre, Blokk B i midten, skravert område for blokk C [1].....	1
Figur 1-2 Lerums syltetøyfabrikk [2].....	2
Figur 1-3 Figur siktlinjer [7].....	3
Figur 2-1, reinforcement modules [16].....	8
Figur 2-2, finished planks [17].....	9
Figur 2-3, filigree elements [18].....	9
Figur 3-1 Foreløpig illustrasjon av oppsett til priskalkyle for bubbledeck.....	17
Figur 3-2 Foreløpig illustrasjon av priskalkyle for stedstøpt.....	18
Figur 4-1 deltabjelke. Utklipp fra FEM-design.....	19
Figur 4-2 UPE-bjelke. Utklipp fra DEM-design.....	19
Figur 4-3, UPE-bjelker og deltabjelker vist. Utklipp fra Solibri.....	20
Figur 4-5 Kvadratisk hullprofil.....	20
Figur 4-6, 1. etasje med stedstøpt dekke.....	21
Figur 4-7, Baderomskabin fra Probad [35, s. 10].....	22
Figur 4-8, 1. etasje med bæresystem i bubbledeck. Utklipp fra Solibri.....	23
Figur 4-9, Utklipp fra Solibri.....	24
Figur 4-10, Utklipp fra Solibri. Bygget sett fra nordøst.....	24
Figur 5-1 Tabell NA.A2.4(B) [46].....	26
Figur 5-2 tabell A1.4 [46].....	26
Figur 5-3 NA.A1.1 [46].....	27
Figur 5-4 Utklipp fra FEM-design.....	28
Figur 5-5 Lastpåføring. Utklipp fra FEM-design.....	29
Figur 5-6, utklipp fra FEM-design.....	30
Figur 5-7, utklipp fra FEM-design.....	30
Figur 5-8, utklipp fra FEM-design.....	31
Figur 5-9, utklipp fra Solibri.....	33
Figur 5-10 Plan for Lerum brygge med fire blokker.....	34
Figur 5-11, utklipp fra DEM-design. Påsatt linjelaster.....	35
Figur 5-12, fordeling av vindlast i bygget.....	35
Figur 5-13, utklipp fra FEM-design.....	37
Figur 5-14, lastfaktorer. Utklipp fra FEM-design.....	37
Figur 5-15, tilsendt rapport fra Norconsult.....	38
Figur 6-1 Nedbøyning for stedstøpt. Utklipp fra DEM-design.....	40

Figur 6-2 nedbøying av UPE-bjelke, utklipp fra FEM-design.....	43
Figur 6-3 nedbøying av deltabjelke, utklipp fra FEM-design.....	43
Figur 6-4 Tilsendt prisanbud fra Bubbledeck Norway AS	44
Figur 6-5 Utklipp fra FEM-design, viser opplagerkrefter for løsning med massivt dekke.....	46
Figur 6-6 antall dB som lar seg stoppe av en andel betong basert på kg/m ² [54]	48
Figur 6-7 vurdering av brannklasse	49
Figur 6-8 bestemmelse av brannmotsatnd	49
Figur 7-1, priskalkyle for stedstøpt dekke	50
Figur 7-2, priskalkyle for bubbledeck.....	50

Tabeller

Tabell 1-1 Roller og aktører.....	2
Tabell 2-1 Diverse informasjon om stedstøpt dekke.....	7
Tabell 2-2 Diverse informasjon om plattendekke.....	8
Tabell 2-3 Diverse informasjon om bubbledeck.....	9
Tabell 2-4 Diverse informasjon om hulldekke.....	10
Tabell 2-5 Presentasjon av benyttede Eurokoder, teknisk forskrift og byggesaksforskriften.....	13
Tabell 5-1 Grunnlag til prosjektering, krav til foretak.....	25
Tabell 5-2 Brukskategorier (Utdrag fra Tabell NA 6.1 i standard) [44].....	32
Tabell 5-3 Nyttelaster (Utdrag fra Tabell NA 6.2 i standard) [44].....	32
Tabell 5-4, fordeling av vindlast.....	35
Tabell 6-1, poster med enhetspriser.....	39
Tabell 6-2, dekker med areal, tykkelse og volum.....	39
Tabell 6-3, poster med enhetspriser.....	41
Tabell 6-4 Mengder vegger for løsning med stedstøpt.....	41
Tabell 6-5 dimensjoner, mengder og enhetspriser for bæring av stål i stedstøpt.....	42
Tabell 6-6 dimensjoner, mengder og enhetspriser for bæring i stål i løsning med bubbledeck.....	45
Tabell 6-7, lydkrav for å tilfredsstille klasse C for luftlydisolasjon og trinnlydnivå.....	47
Tabell 6-8, lydinformasjon for gitte bubbledecktykkelser.....	48
Tabell 7-1, forskjell på antall CO ² -utslipp for de to dekkeløsningene.....	51

1 Innledning

1.1 Om prosjektet

Denne oppgaven tar utgangspunkt i en av leilighetsblokkene i boligprosjektet Lerum Brygge, lokalisert i Sogndal. Det var først planlagt fem blokker som senere ble nedjustert til tre. Omtrent 110 leiligheter fra 33m² – 130m² skal fordeles i de tre byggene. I tillegg skal det etableres næringslokaler i første etasje i blokk A, og parkeringskjellere for samtlige leiligheter. Parkeringsplassene vil fordeles på to anlegg, der blokk A og B vill ha et felles parkeringsanlegg med rundt 55 parkeringsplasser, mens blokk C vil inneholde rundt 30 parkeringsplasser. På *figur 1-1* er blokk A, B og planlagt område for blokk C illustrert. Arbeidet knyttet til utearealet består av en gangbro over Sogndalselven, båthavn, havnepromenade og andre fellesområder.



Figur 1-1 Blokk A til venstre, Blokk B i midten, skravert område for blokk C [1]

Før rivningsarbeidet startet 5. desember 2019, ble området brukt til produksjon av syltetøy og var eid av Lerum, se *figur 1-2*. Saft- og juiceproduksjonen til Lerum er lokalisert like utenfor Sogndal, nærmere bestemt Kaupanger. Etter ønske om å sentralisere all produksjon, ble det høsten 2016 bestemt å flytte all produksjon til Kaupanger. Dette har i senere tid resultert i prosjektet Lerum Brygge. Byggestart for blokk A var oktober 2020 og er planlagt å stå ferdig september 2022. Blokk B har planlagt byggestart høsten 2021.



Figur 1-2 Lerums syltetøyfabrikk [2]

Tabell 1-1 viser de mest sentrale aktørene i prosjektet. Det nyoppstartede aksjeselskapet Lerum Brygge AS er byggherre for prosjektet. Selskapet består av hovedaksjonær Nordr Norge AS, tidligere kjent som Veidekke Eiendom, med en andel på 46 %, og andre lokale aksjonærer med samlet andel på 54 %. Byggearbeidet er av formen totalentreprise med Veidekke Entreprenør som totalentreprenør.

Roller	Aktører
Byggherre	Lerum Brygge AS
Arkitekt	Arkitektkontoret 4 B AS
Rådgivende ingeniør bygg (RIB)	Norconsult AS
Totalentreprenør	Veidekke Entreprenør AS

Tabell 1-1 Roller og aktører

Tettstedet Sogndal, eller Sogndalsfjæra som definerer den sammenhengende bebyggelsen rundt sentrum av bygden, står ifølge SSB oppført med ett innbyggertall på knappe 4100 [3]. Bygdas arkitektoniske inntrykk bærer i likhet med andre norske tettsteder preg av eldre trehus kombinert med nyere leiligheter. I tillegg til noen unntak bestående av større bygg som eldre fabrikker, Fosshaugane Campus og Høgskulen på Vestlandet, avdeling Sogndal. I sentrumsområdet og strandsonen i bygden er det en gjennomgående lav høyde på bebyggelsen. At prosjektet Lerum Brygge med sine seks etasjer har fått tillatelse til å bygge i strandsonen av Sogndalsfjæra, bør derfor bli kommentert.

De opprinnelige, nevnte planene var først å bygge fem blokker. Dette ble raskt endret til fire ved å slå sammen de planlagte blokk B og C til blokk B [4, s. 3]. Grunnen til endringen var å åpne for et større, allment areal mellom blokkene. Rådmannen for Sogndal kommune kom også med andre forutsetninger for prosjektet, som at den tyngste delen av bygget skulle vende vekk fra den allerede eksisterende trebebyggelsen, og dermed ut mot havet [5, s. 6].

I november 2020 ble det utført en revisjon fra arkitektene der prosjektet enda en gang justerte ned antallet blokker. Denne gang fra fire til tre. Endringene ble gjort for å få bedre mellomrom mellom blokkene og dermed bedre dagslys og utsikt både for Lerum Brygge i tillegg til siktlinjer fra overliggende vei og bebyggelsen rundt [6, s. 2]. Planene er per dags dato endelig gitt.

Sommeren 2020 ble leilighetene i blokk A for første gang lagt ut for salg. I løpet av den første dagen ble hele 27 av 43 leiligheter solgt [8]. I skrivende stund er det kun 3 leiligheter som ikke er solgt. For blokk B er 36 av leilighetene fremdeles til salgs [9].



Figur 1-3 Figur siktlinjer [7]

1.2 Om oppgaven

Norconsult jobber våren 2021 med prosjektering av blokk B, som denne oppgaven omhandler til. De fremla ett ønske om å undersøke alternative dekkeløsninger for blokken, I startfasen av oppgaven, sendte Norconsult foreløpig RIB-modell og arkitekttegninger av blokken. Modellen inkluderte utforming av bæresystemet, stålprofiler, dekke og vegger med valgt tykkelse, se vedlegg D. Det vil si at blant annet dimensjoner på stålet og armering manglet. Valgt dekkeløsning er stedstøpt dekke med en tykkelse på 270 mm.

Det er flere faktorer som spiller inn under valg av dekke. Ofte bestemmes løsningen ut fra krav til prosjektet, ønsker fra byggherre, kompetanse til aktørene og tidligere erfaringer. Denne oppgaven fokuserer på å finne en løsning som opprettholder krav til konstruksjon ved at byggets funksjonalitet og kvalitet overholdes. Alternativ løsning vil deretter bli sammenlignet med opprinnelig løsning etter vurderingskriteriene kostnader og miljø.

I større konstruksjoner som blokker eller høye næringsbygg står dekker for en stor andel av bygningsmassen. Ved å redusere mengden av materialer i dekkene, kan det totale aspektet av konstruksjonen føre til økonomiske og miljømessige gevinster.

1.3 Problemstilling

Ved å tilfredsstille Norconsult sitt ønske, samtidig som at egne interesser og fagrelevante kunnskap blir ivaretatt, er følgende problemstilling satt:

«Undersøke mulighetene for å erstatte de allerede planlagte stedsstøpte dekkene med en alternativ dekketype, hvor kostnader og klimagassutslipp for løsningene sammenlignes.

1.4 Avgrensninger

Oppgaven tar hovedsakelig for seg en priskalkulering av de to dekkeløsningene. Det benyttes flere avgrensninger og forenklinger for slikt arbeid i praksis, spesielt for totalentrepriser som er tilfellet for Lerum brygge. Gruppen ønsker å presentere prisforslag for de to dekkeløsningene på lik linje med hvordan det blir gjort i praksis. Dette resulterer i at det er foretatt flere avgrensninger og forenklinger, som blir presisert fortløpende gjennom oppgaven.

2 Teori

2.1 Dekker

I dette kapitlet vil ulike aktuelle dekker presenteres. Fordeler og ulemper for hver enkel dekketype vil drøftes i hvert sitt kapittel.

Ett dekke fungerer som en etasjeskiller bestående av en plate, og er som oftest fremstilt i betong [10]. Det benyttes forskjellige dekketyper på global basis, alt ettersom hvilke ressurser som er tilgjengelig, og hvilke kriterier utbygger ønsker å ta hensyn til. Hvert enkelt dekke har fordeler og ulemper som må vurderes før valget av dekke i konstruksjonen skal tas. Dekker kan både prefabrikeres, dannes på byggeplassen og kombineres ved hjelp av begge metoder.

2.1.1 Stedsstøpt dekke

En måte å danne dekker på er å etablere forskaling, legge armering og støype på byggeplass. På denne måten blir ett stedsstøpt dekke til.

Det er flere positive egenskaper med å benytte seg av stedsstøpte dekker. Betongen blir sammenhengende, og det unngås svake forbindelser som prefabrikkerte dekker kan ha. En fordel med stedsstøpte dekker er at de kan benyttes på steder med utfordrende utforming. Dersom arbeidet utføres presist og nøysomt, kan stedsstøpt totalt sett være en effektiv måte å etablere dekker på. I Norge finnes det mange lokale betongblanderi, som er positivt i forhold til transporttiden fra blanderi til byggeplass [11].

Prosessen med å sette opp og ned forskalingen er en tidskrevende måte å danne dekker på. I tillegg kreves det ett større areal å utføre arbeidet på, sammenlignet med prefabrikkerte dekker. Pumpestasjoner og ulike kraner skal utplasseres, og logistikken på byggeplassen blir mer krevende over en lengre periode, sammenlignet med prefabrikkerte dekker.

Type dekke	Dimensjon [mm]	Egenvekt [kg/m ²]	Maks spennvidde [m]	Maks utkrager [m]	Brannmotstand
Stedstøpt dekke	230 mm	400	5-8 m	2,3 m	R 120
Stedstøpt dekke	280 mm	480	7-10 m	2,8 m	R 120
Stedstøpt dekke	340 mm	590	8-11 m	3,4 m	R 120

Tabell 2-1 Diverse informasjon om stedstøpt dekke

2.1.2 Plattendekke

Ett plattendekke er ett prefabrikkert dekke som primært benyttes som en etasjeskiller i ett bygg. Dekket fungerer som en permanent forskaling som heises på plass. Eventuell plassering av teknisk utstyr føres på plass før det til slutt støypes. Det brukes hovedsakelig i bygg med flere etasjer, men kan også legges i rekkehus og eneboliger. For at prefabrickerte dekkeløsninger skal lønne seg må det være en viss minimumsstørrelse på bygget, på grunn av blant annet transportkostnader. Tykkelsen til dekket vil variere fra de ulike leverandørene, men vil normalt ligge på minimum 5 centimeter [12]. For å oppnå kravet til brann- og lydegenskapene kan tykkelsen på dekket justeres. Etter hvert som bygget reiser seg og det skal plasseres dekker oppover i høyden vil prefabrickerte dekker være en rask måte å danne etasjer på.

Tilgangen til de prefabrickerte dekkene er dårligere enn for lokale betongblanderi. Høyere transportkostnader må derfor ofte beregnes. For mindre bygg som er plassert langt unna de produsenter av prefabrickerte dekker vil det ofte fra et økonomisk og miljømessig perspektiv være ugunstig å velge plattendekke. Lengre transportetapper i tillegg til nødvendig utstyr som skal heise elementene på plass må medregnes. For konstruksjoner med trange, utfordrende utforminger vil heising av platene være problematisk. Lav høyde mellom etasjene kan være nok til å by på problemer for plasseringen av dekket [13].

Type dekke	Dimensjon [mm]	Egenvekt [kg/m ²]	Maks spennvidde [m]	Maks utkrager [m]	Brannmotstand
Plattendekke	50 mm	120 kg/m ²	8 m	2 m	R 120
Plattendekke	60 mm	144 kg/m ²	8 m	2 m	R 120
Plattendekke	80 mm	192 kg/m ²	8 m	2 m	R 120

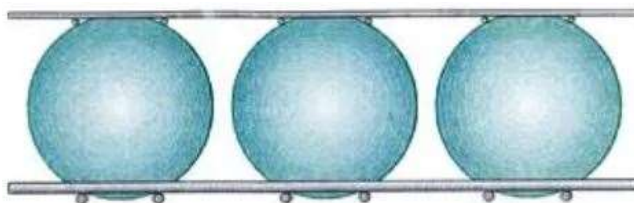
Tabell 2-2 Diverse informasjon om plattendekke

2.1.3 Bubbledeck

Bubbledeck er en type dekke som er utviklet for å bruke mindre betong. Dekket består av plastkuler som plasseres mellom armringsmattene i dekket. Plastkulen inneholder ett tomrom med luft. Det er her det engelske ordet bubble kommer fra. Kulen har som funksjon «å redusere vekt, uten at det går utover bæreevne og stivhet» [14]. Dekket kan både prefabrikeres og dannes på byggeplassen. Siden bubbledeck har lavere egenvekt enn massive betongdekker, blir det muligheter for å gjøre endringer på bæresystemet til konstruksjonen. Enkelte søyler, bjelker og bærende vegger som tidligere har vært nødvendige, kan fjernes eller endre. Bubbledeck er et flatdekke, som betyr at det ikke har behov for bjelker og dekket kan legges direkte på søylene [15].

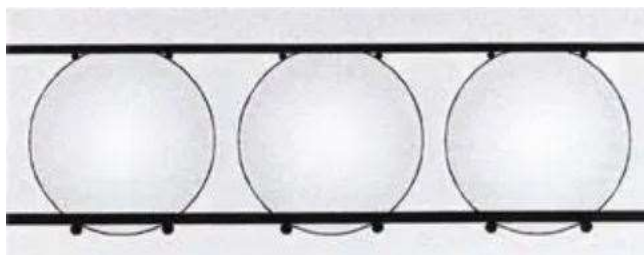
Det skilles mellom tre ulike prefabrikkerte bubbledecker som kan leveres til byggeplassen:

Type 1 – Reinforcement modules. Plastkulene og armeringsjern er montert sammen. Disse er de eneste, foreløpige materialene som dekket inneholder. Det fraktes fra fabrikk, legges på plass i forskalingen og støpes over.



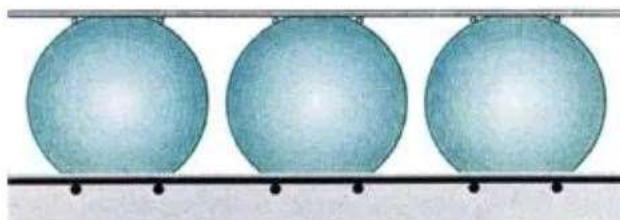
Figur 2-1, reinforcement modules [16]

Type 2 – Finished planks. Denne typen bubbledeck leveres helt ferdig. Dette inkluderer plastkuler, armering og betong.



Figur 2-2, finished planks [17]

Type 3 – Filigree elements. Filigree elements er en type som prefabrikeres med plattendekke i bunn av dekket. Bubbledecket fraktes til byggeplassen og settes på plass før det støpes. Armeringsjernene i underkant av dekket er støpt inn, sammen med en liten del av plastkulene.



Figur 2-3, filigree elements [18]

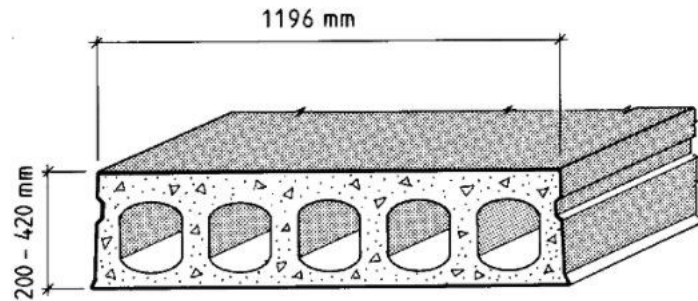
Type dekke	Dimensjon [m]	Egenvekt [kg/m ²]	Maks spennvidde [m]	Maks utkrager [m]	Brannmotstand
Bubbledeck	230 mm	400 kg/m ²	5 – 8 m	2,3 m	R 120
Bubbledeck	280 mm	480 kg/m ²	7 – 10 m	2,8 m	R 120
Bubbledeck	340 mm	590 kg/m ²	8 – 11 m	3,4 m	R 120

Tabell 2-3 Diverse informasjon om bubbledeck

2.1.4 Hulldekke

Ett hulldekke består av forspent armering og benyttes i all hovedsak som en erstatning av stedstøpt betong. Det støpes med standardiserte dimensjoner i betongfabrikker. Typiske bruksområder for hulldekke er parkeringsdekker og simple kontorbygg.

Ett hulldekke har lange spennvidder, lav byggehøyde og slette flater. Ettersom at dekket består av gjennomgående hull vil egenvekten sammenlignet med massiv betong være 40 – 45 % lavere. Det er dette som gjør det mulig med lengre spennvidder.



Figur 2-4, Illustrasjon av ett typisk profil for hulldekke [19]

I likhet med alle andre dekker har også hulldekker negative sider. Det er lite fleksibelt, har mindre gode egenskaper med tanke på lyd, og utfordringer med tanke på innfestning til andre byggelementer. Sammenlignet med andre dekketyper i betong har også hulldekker en vesentlig lavere anbefalt maksimum lengde for utragere.

Type dekke	Dimensjon [m]	Egenvekt [kg/m ²]	Maks spennvidde [m]	Maks utkrager [m]	Brannmotstand
Hulldekke	200 mm	255 kg/m ²	10 m	0,6 m	R 60
Hulldekke	265 mm	370 kg/m ²	12 m	1,2 m	R 60
Hulldekke	320 mm	400 kg/m ²	15 m	1,8 m	R 90

Tabell 2-4 Diverse informasjon om hulldekke

2.2 Materialer

2.2.1 Betong

Betong er både nasjonalt og globalt det mest brukte byggematerialet mennesket benytter seg av. Fra ett forbrukerperspektiv, er bruken av betong så omfattende at det eneste utnyttede elementet som overgår dette er vann [20]. I eksisterende konstruksjoner i dag utgjør betongen over dobbelt så mye av massen sammenlignet med alt annet byggemateriale til sammen [21].

Under produksjon av betong blir det frigjort store mengder CO₂. Det lages en blanding av kalkstein og eksempelvis kvart og skifer. Sammensetningene brennes på ca. 1450 grader celsius og danner til slutt klinker. Det er denne prosessen som hovedsakelig fører med seg store klimagassutslipp.

Betongproduksjonen står for hele 8 % av verdensutslippene i ett globalt perspektiv [22]. Portlandsement, som globalt er den mest brukte sementtypen [23] bidrar med 927 kg tonn CO₂-utslipp per 1000 kg sement som blir produsert [24]. Ett realistisk utslippstall for Norge ligger derimot på mellom 700 – 800 kg per tonn for ren sement [25, s. 5]. Nye studier viser likevel at nesten halvparten, nærmere bestemt 43 % av utslippene tas opp i betongen [26]. Jo mer av betongen som er i kontakt med overflaten, desto mer karbondioksid tas opp. Karbondioksidet blir likevel sluppet ut når betongkonstruksjonen rives.

For å begrense utslippene har det i nyere tider blitt ett økende fokus på å produsere en mer miljøvennlig type betong. Ett resultat av dette er lavkarbonbetong som defineres ved at «det er gjort tiltak for å begrense klimagassutslippet» [27, s. 12]. Lavkarbonbetong deles inn i tre ulike klasser etter maksimal utslipp av klimagasser per mengdeenhet. Det kan også gjøres andre tiltak i forbindelse med betongproduksjonen for å redusere utslippene, som eksempelvis å maksimere andelen med stein og sand i blandingen.

2.2.2 Stål

Stål består av legeringer av jern og karbon, og er ansett som ett viktig konstruksjonsmateriale på grunn av sine gode egenskaper. Materialet er homogent som gjør det enkelt å forutse. Det er også 100 % resirkulerbart [28], noe som gjør det mindre nødvendig uttak direkte fra naturressursene. Stål er svært varmeledende, noe som ikke er gunstig i forbindelse med brann. Samtlige stålbjelker og stålsøyler brannisoleres for å forsinke oppvarmingen av materialet [29].

2.2.3 Armering

Armering er en vesentlig bestanddel i betongkonstruksjoner. Materialet ligger innstøpt i betongen der de to danner ett bæresystem som skal tåle lastene fra konstruksjonen. Funksjonen til armeringen sammen med betongen er å sikre byggets bæreevne, funksjon og bestandighet. Alene har armeringen flere funksjoner, som å ta opp det aller meste av strekkrefter, ta opp både trykk- og skjærkrefter der betongen alene ikke er sterk nok, og at den hindrer riss og svinn under herding.

2.3 Standarder og forskrifter

Tabell 2-5 viser relevante standarder og forskrifter, der forkortelser i venstre kolonne er brukt videre i oppgaven. Alle beregninger knyttet laster og dimensjonering er gjort etter standarder.

Forkortelse	Fult navn
NS 1990	Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS 1991	Eurokode 1: Laster på konstruksjonen
NS 1992	Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner
NS 1993	Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner
NS 1998	Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
TEK 17	Byggteknisk forskrift 2017
SAK 10	Byggesaksforskriften 2010

Tabell 2-5 Presentasjon av benyttede Eurokoder, teknisk forskrift og byggesaksforskriften

3 Metode

3.1 Fremgangsmåte

Arbeidsprosesser i oppgaven er delt i seks kategorier:

1. Opparbeide kunnskap om dekker og velge en alternativ dekketype.
2. Gjøre eventuelle endringer på bæresystem for å utnytte alternativ dekketype på best mulig måte.
3. Beregne laster og finne lastkombinasjoner.
4. Opparbeide lastmodell i FEM-design for både opprinnelig dekke og alternativt dekke med tilhørende bæresystem.
5. Dimensjonering og mengdeberegninger for begge løsningene.
6. Kalkulere pris med realistiske enhetspriser og undersøke utslipp i klimasammenheng for løsningene.

Hovedmålet med oppgaven er å finne en dekkeløsning som er billigere enn opprinnelig løsning. På grunn av dette må priskalkulering gjøres i likhet med hvordan det ville blitt gjort for en totalentreprise, ettersom prosjekt Lerum Brygge benytter seg av denne kontraktsformen.

I totalentrepriser gis entreprenører en funksjonsbeskrivelse av konstruksjonen. Denne inneholder som oftest en forprosjektskisse med arkitekttegninger. Entreprenører benytter seg av RIB-ingeniører for å gjøre antagelser på dimensjoner og mengder, basert på funksjonsbeskrivelsen. Disse antagelsene gjøres med grunnlag på erfaring og forenklet dimensjoneringsarbeid. Kompleksiteten til dimensjonering og mengde antagelser gjort i oppgaven, er basert på hva som ville blitt gjort i praksis.

3.2 Programmer

3.2.1 FEM Design

FEM-design betegnes som ett avansert modelleringsprogram som tar i bruk elementmetode-analyser (Finite Element Method – FEM) for konstruksjoner. Konstruksjonen kan bestå av valgfritt materiale av betong, stål og tre [30]. Programmet er utviklet av det svenske firmaet Strusoft som tilbyr gratis brukerveiledning i form av videoer og brukermanualer. Ettersom at Norconsult avdeling Sogndal arbeider i FEM-design var det naturlig for gruppen å bruke programmet.

Programmet tar utgangspunkt i element-metoden. Dette er en numerisk metode som tar for seg beregninger av deformasjoner i konstruksjonen. Metoden brukes også i andre beregninger som varmeledning, strømminger og feltberegninger [31]. Historisk sett er elementmetoden utviklet «for ingeniører av ingeniører som ett hjelpemiddel for å strukturelle mekaniske problemer innen byggtknikk og luftfart» [32]. Gjenstandene som tegnes i FEM-design genereres ved hjelp av flere millioner av elementer som til sammen utgjør den totale formen på bygningsdelen. Elementene består av ulike knutepunkt som ofte kalles for noder [33]. Jo høyere tetthet av noder, desto mer nøyaktige verdier vil modellen få. Beregningene kan gjøres for enkle bygningsdeler, eller for en hel, sammensatt konstruksjon. Alt ettersom hvilke bygningsdeler som skal beregnes. I FEM-design utføres dette automatisk ved hjelp av at programmet danner ulike likningssett for de ulike elementene, som igjen fremstilles fra parametere. De har innlagt informasjon med laster, dimensjoner på bygningsdelene og materialegenskaper. I tillegg tas det hensyn til spennvidder, opplagere og omkringliggende krefter som har noe å si for den aktuelle elementdelen.

FEM-design har vært det mest sentrale verktøyet gruppen har arbeidet i. Her har konstruksjonen blitt tegnet, påført laster og benyttet til dimensjonering.

3.2.2 MathCAD

Utrekninger for hånd føres i programmet Mathcad Prime for en ryddig og oversiktlig fremstilling. Mathcad er utviklet for at ingeniører og matematikere skal kunne løse utfordrende matematiske utfordringer, og kunne dele de videre [34]. I programmet defineres tallverdier som uttrykk, som føres videre i utregningene. Sammenlignet med håndberegninger gir Mathcad Prime en ryddigere fremstilling.

3.2.3 Ove sletten-programmer - Lastberegning

Ove Sletten-programmer består av flere beregningsprogrammer for betongkonstruksjoner. Programmet Lastberegning beregner snølast og vindlast etter standardene *NS-EN 1993-1-3 Snølast* [45] og *NS-EN 1991-1-4 Vindlast* [58]. Diverse informasjon om konstruksjonens geometriske utforming, i tillegg til geografiske plassering legges inn. Gruppen har benyttet seg av beregningsprogrammet lastberegning for å kontrollere snø- og vindlast.

3.2.4 Solibri

Solibri er en BIM-koordinator som benyttes til å illustrere og kontrollere eventuelle kollisjoner mellom ulike deler av ett bygg. Hvert enkelt element inneholder unik informasjon som gir en god oversikt. Programmet er benyttet av gruppen til å hente ut informasjon og dimensjoner som videre tegnes inn i andre valgte BIM-programmer. Det er også benyttet til illustrasjoner av modellen i form av de ulike etasjene, i tillegg til bygget sett fra ulike vinkler, se *vedlegg B og C*.

3.2.5 Autocad 2021

Autocad er ett modelleringsprogram for 2D- og 3D-tegninger av typen CAD-program. Det er blitt tilsendt arkitekt-tegninger i dette programmet. Gruppen har basert på dette tegnet egne akser som er blitt brukt som utgangspunkt videre.

3.2.6 Autodesk Revit Structure 2022

Autodesk Revit Structure er en BIM-programvare som modelleres i 3D. Det gir en god visualisering av oppbygningen til konstruksjonen. For gruppen er programmet benyttet til å endre bæresystem til konstruksjonen.

3.3 Vurderingskriterier

3.3.1 Økonomi

Byggenæringen fungerer i likhet med andre næringer basert på at forskjellige aktører skal ha profitt. I ett hvert prosjekt finnes det flerfoldige medspillere som alle skal ha sin økonomiske del av aspektet.

Byggingeniørene i sine firmaer, som i realiteten jobber for byggherren, skal i tillegg til å dimensjonere og beregne ett trygt, funksjonalistisk bygg, også passe på at de økonomiske rammene blir overholdt.

Den ansvarlige entreprenøren i en totalentreprise står fritt i forbindelse med valg av løsninger så lenge kontraktens formål og rammer følges. Dette innebærer blant annet at entreprenøren gir de rådgivende ingeniører ansvar for valg av bæresystemer og dekkeløsning.

For å finne ut hvilken dekketype som er det rimeligste, benyttes det priskalkyler utarbeidet i samarbeid med Kleiven Sogn AS. Kalkylene er vist i *figur 3-1* og *figur 3-2*.

Postnummer	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Postsum	Delsum
1	Bæring Stålsøyler.	kg		60	0	
2	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
3	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
4	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
5	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
6	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
7	Bæring Stålsøyler.	kg			0	
8	Brannisolering stål	m2			0	
						kr -
9	Bubbledeck	m2			0	
						kr -
					Sum	kr -

Figur 3-1 Foreløpig illustrasjon av oppsett til priskalkyle for bubbledeck

Postnummer	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Postsum	Delsum
1	Bæring Stålsøyler.	kg				0
2	Bæring Stålsøyler.	kg				0
3	Bæring Stålsøyler.	kg				0
4	Bæring Stålsøyler.	kg				0
5	Bæring Stålsøyler.	kg				0
6	Bæring Stålsøyler.	kg				0
7	Bæring Stålsøyler.	kg				0
8	Bæring Stålbjelker.	kg				0
9	Bæring Stålbjelker.	meter				0
10	Brannisolering stål	m2				0
						kr -
12	Pæler	Antall				0
						kr -
13	Forskaling betongvegger. (Brutto masser). Areal vegger x2	m2				0
14	Betong i vegger. (Brutto masser). Areal vegg x 0,20m	m3				0
15	Armering i vegger	kg				0
						kr -
16	Forskale betongdekker	m2				0
17	Betong i dekket/Støp.	m3				0
18	Armering betongdekket.	kg				0
19	Stålglatting	m2				0
						kr -
					Sum	kr -

Figur 3-2 Foreløpig illustrasjon av priskalkyle for stedstøpt

3.3.2 Miljø

Det er helt nødvendig å kutte klimagassutslippene for å bremse den globale oppvarmingen. Betong produserer store mengder CO² under produksjon som er med på å bidra til skadelige utslipp. Å beregne alternative muligheter av betongdekker som inneholder mindre betong, og som likevel opprettholder elementets funksjonalitet, er ett grep som kan føre til mindre utslipp. Ettersom at betong er det desidert mest benyttede bygningsmaterialet på verdensbasis kan det reduseres store mengder utslipp dersom industrien endres. Det blir derfor naturlig å ha miljø som ett av vurderingskriteriene. Når massive dekker kan endres med andre type dekker med mindre innhold av betong, er det ett kriterium som er verdt å undersøke.

For å finne ut hvilken dekketype som gir mest utslipp i form av CO², vil det foretas en undersøkelse om innholdet av betong for de ulike løsningene.

4 Blokk B

I dette kapitlet vil byggets bæresystem, dekker og spesielle egenskaper som gir ekstra utfordringer bli presentert. Det vil fremlegges to løsninger hvor den ene; løsning med stedstøpt dekker, er den prosjekterte løsningen fra Norconsult. Den andre løsningen er med alternativt dekke.

4.1 Løsning med stedstøpt dekke

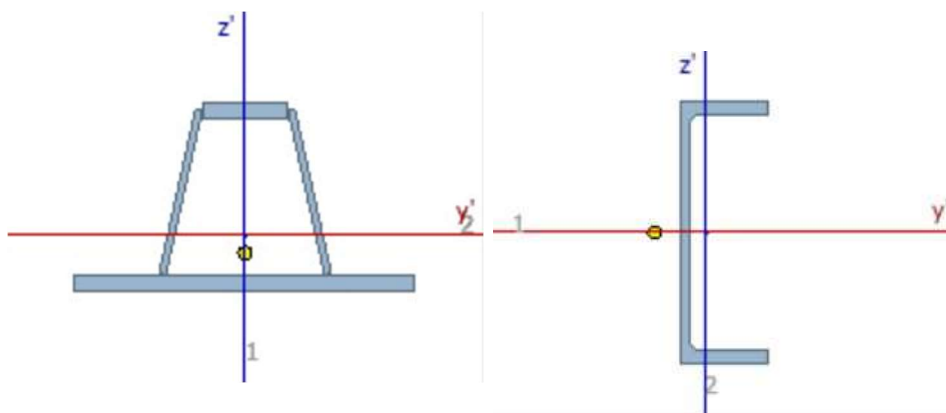
Dette er den aktuelle planen for Lerum Brygge, gitt av Norconsult avdeling Sogndal.

4.1.1 Dekke og bæresystem

Bæresystemet gitt av Norconsult består av massive stedsstøpte dekker, stålsøyler og stålbjelker, i tillegg til betongvegger.

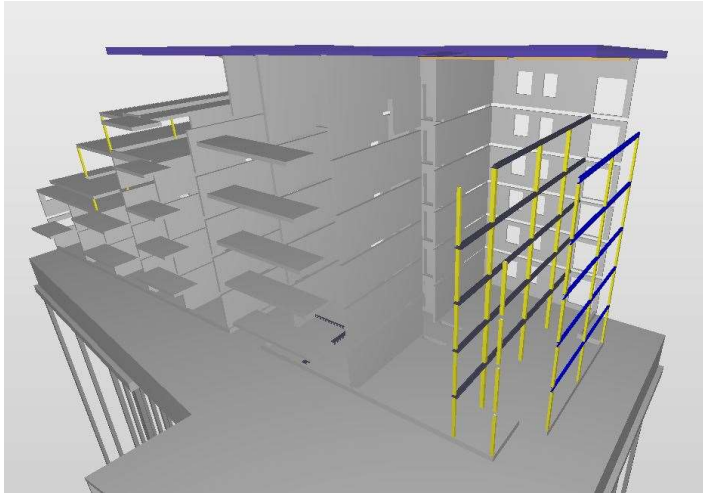
Bygget inneholder massiv stedsstøpte dekker i hver etasje, fordelt på 7 etasjer inkludert parkeringskjeller som her regnes som etasje 0. Arealet på dekkene er størst i parkeringskjeller og 1. etasje, delvis mindre i 2. og 3. etasje, enda mindre i 4. og 5., mens arealet i 6. etasje blir det minste.

Konstruksjonen består også av to ulike bjelketyper: Delta-bjelker og UPE-bjelker

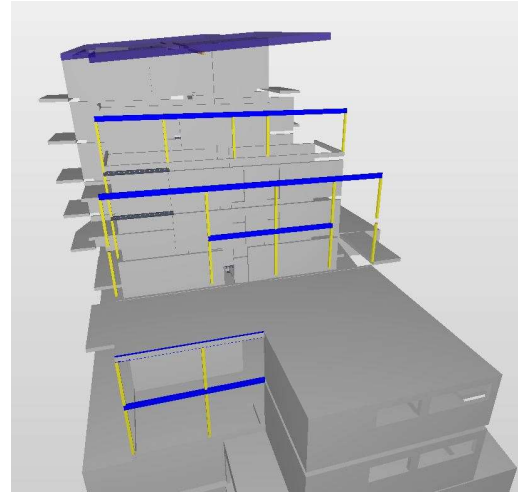


Figur 4-1 deltabjelke. Utklipp fra FEM-design

UPE-bjelkene befinner seg på endene av byggets langside, mens delta-bjelkene er plassert inne i bygget. Begge bjelkeprofilene spenner på langs av kortsiden av bygget. Delta-bjelkene finnes på tre forskjellige områder i bygget. Vedlagt følger utklipp fra Solibri som viser plasseringen av bjelkene på langsiden av bygget. Delta-bjelker er markert i svart, mens UPE-bjelkene er markert i blått. Dekkene i området er midlertidig, delvis skjult for å gjøre illustrasjonen av bjelkene bedre.

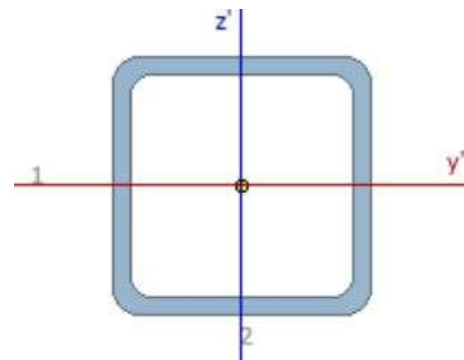


Figur 4-3, UPE-bjelker og deltabjelker vist. Utklipp fra Solibri



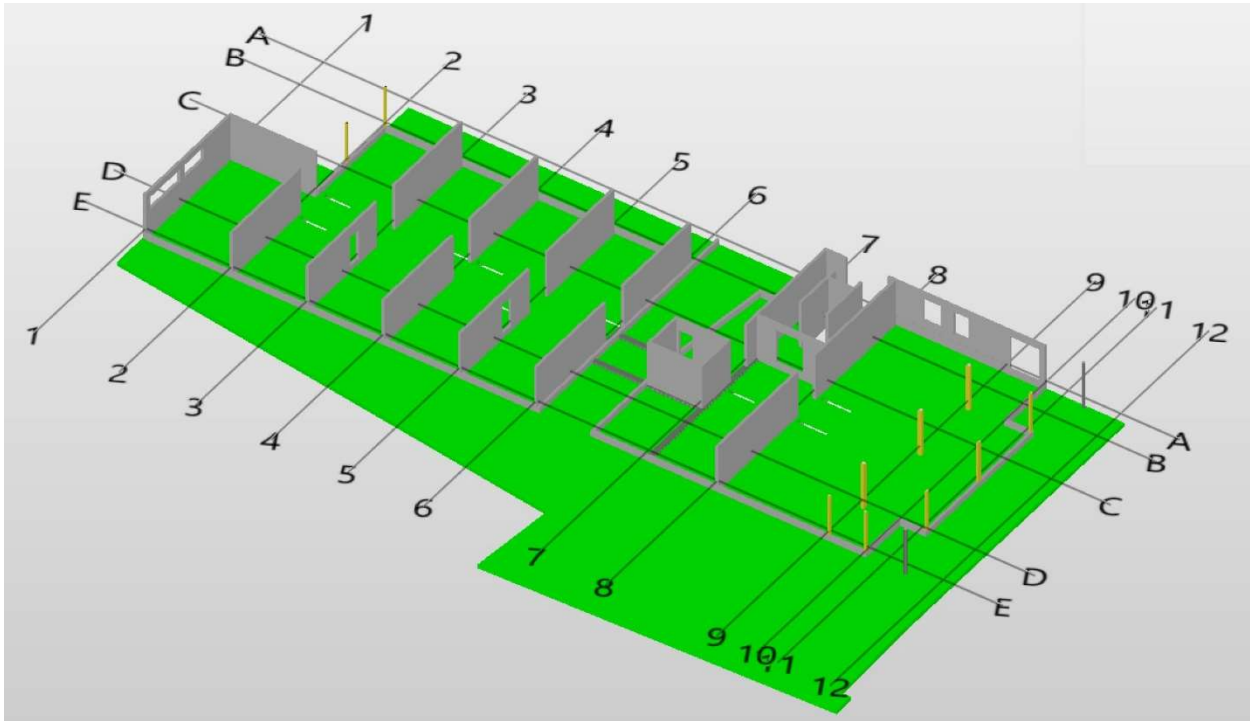
Figur 4-4, UPE-bjelker og deltabjelker (i svart) er vist

Stålsøylene er i likhet med bjelkene plassert langs kortsidene av bygget. Det er valgt å benytte kvadratiske og rektangulære hullprofiler i løsningen. Dimensjoner for disse er ikke satt i RIB-modell.



Figur 4-5 Kvadratisk hullprofil

Vedlagt følger ett utklipp fra 1. etasje for massiv stedsstøpt dekke fra modellen i FEM-design, se vedlegg B for alle planløsninger for samtlige etasjer.



Figur 4-6, 1. etasje med stedstøpt dekke

Betongveggene former blant annet en trappeoppgang, liggende mellom akse 6 og 7, C og D, og en heissjakt liggende mellom akse 7 og 8, A og C.

4.1.2 Baderomskabiner

Det er bestemt at Lerum Brygge skal inneholde baderomskabiner. En baderomskabin er ett prefabrikkert ferdig bad, som fraktes fra fabrikk og heises på plass i det aktuelle bygget. Rør og ledninger kobles deretter sammen og badet er klart til bruk.

Det er knyttet både fordeler og ulemper med prefabrikkerte bad. Når flere av badene har lik størrelse og interiør kan de produseres i serier. Dette er tidssparende. I motsetning til plassbygd bad, vil ikke logistikken av de ulike baderomdelene innad i bygget, eller håndverkere være nødvendig. Ettersom at det er totalt 44 bad i blokk, vil det være gunstig å benytte seg av baderomskabiner på grunn av det høye antallet. Kvaliteten på arbeidet ved produksjon i fabrikk er ofte også bedre enn ved plassbygde bad, hvor det legges mye tid i planlegging og prosjektering. For å oppsummere vil baderomskabiner «i mange tilfeller gi fordeler med hensyn på kostnad, byggetid og kvalitet» [36].



Figur 4-7, Baderomskabin fra Probad [35, s. 10]

Prefabrikkerte bad har også sine utfordringer. Dersom de skal benyttes bør det tas hensyn til allerede under prosjekteringen av konstruksjonen. Ettersom at bestemmelsen bør tas tidlig i aspektet, kan det være vanskelig å estimere kostnadene sammenlignet med ett plassbygd bad. Feil i prosjekteringen kan også ha store konsekvenser for kabiner. I 2017 måtte 284 bad tilhørende OBOS-leiligheter i Kværnerbyen i Oslo rives. Grunnen var beskrevet som at det var rust i stålrammen og at det manglet adekvat gulvvarme [37]. Nødvendige forutsetninger og nøye fordeling av ansvar er derfor svært viktig for å unngå feil.

Norconsult har for Lerum Brygge valgt å benytte seg av produsenten Probad, ett selskap som er eid av den norske Bano-gruppen. Baderomskabinene deres har en egenvekt på ca. 625 kg/m² [38 s. 16]. Dette blir dimensjonerende påført egenvekt i FEM-design. For at kabinens gulvhøyde skal passe inn fra dørstokk gang, har Norconsult senket dekketykkelsen der de skal plasseres med 70 mm.

4.2 Løsning med bubbledeck

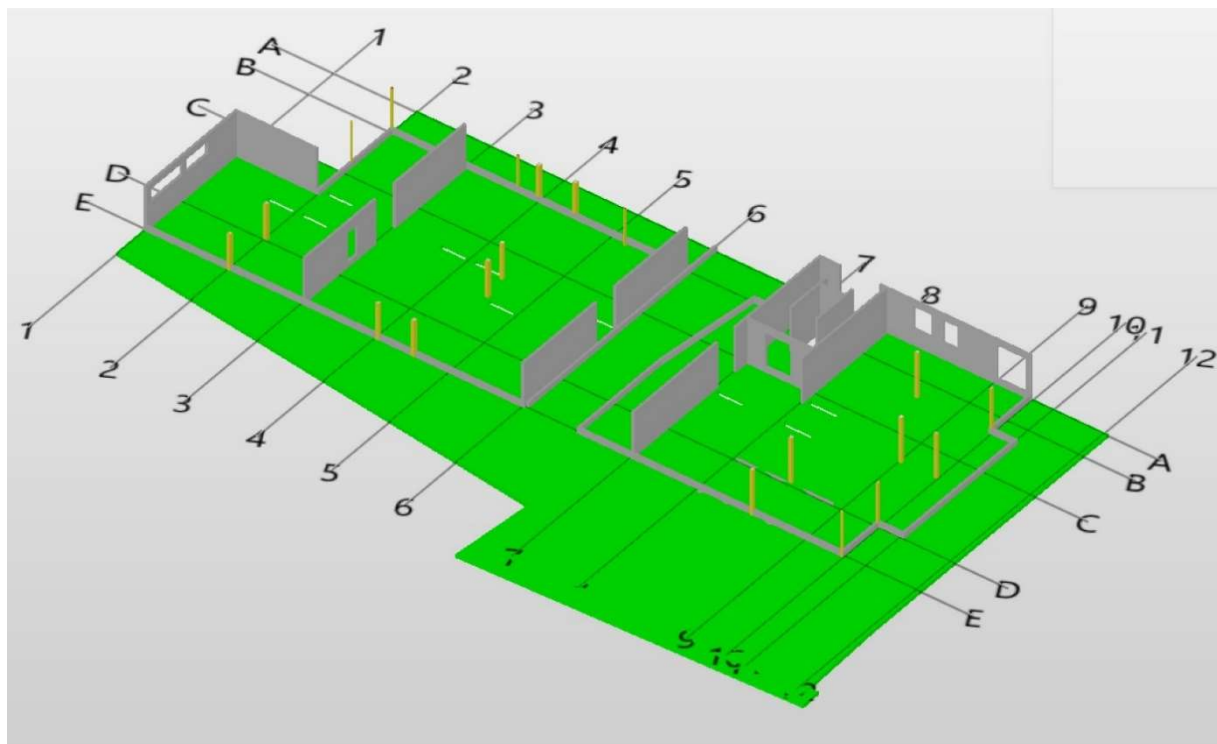
Løsning B er ett alternativt forslag gitt av bachelorgruppen. Målet med løsningen er å både spare økonomiske kostnader og klimagassutslipp sammenlignet med løsningen til Norconsult.

Etter å ha vurdert flere dekketyper, har det blitt kommet frem til at bubbledeck kan være en potensielt god løsning på problemstillingen. Ved å redusere antallet betong og dermed også vekten av dekket, kan det være mulig å få til ett rimeligere økonomisk og miljømessig alternativ for blokk B.

I samarbeid med Bubbledeck Norway AS har det blitt utarbeidet en alternativ modell med endring av bæresystemet, for å tilpasse det nye dekket best mulig. Siden bubbledecks egenvekt sammenlignet med massivt støptsøpt dekke er ca. 2,5 KN lettere per m², blir byggets totale vekt vesentlig redusert.

Bæresystemet kan derfor delvis endres. De primære forskjellene på de to løsningene i tillegg til dekket, blir reduksjonen av betongvegger som erstattes med søyler, og at samtlige stålbjelker fjernes.

Bubbledeck tilhører kategorien flatdekke [39] som betyr at betongdekket er opplagt på søyler uten spesielle bjelker. *Figur 4-2* under presenterer bæresystem løsning B i 1. etasje:



Figur 4-8, 1. etasje med bæresystem i bubbledeck. Utklipp fra Solibri

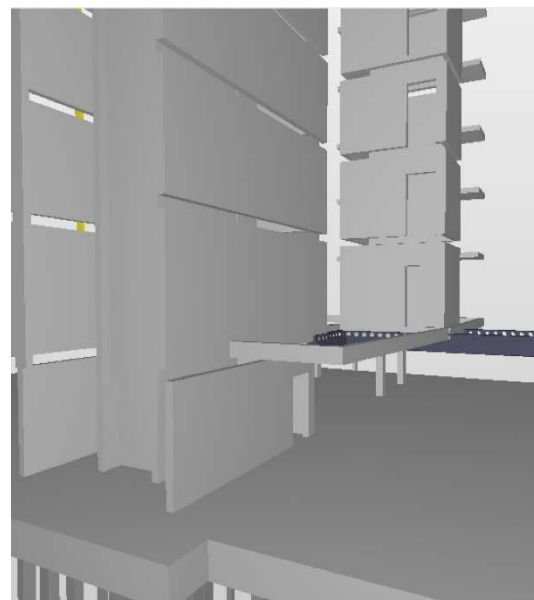
Sammenlignet med det originale bæresystemet til Norconsult har betongvegger blitt fjernet i akse 2, 4 og 5. I tillegg er trappeoppgang mellom akse 6 og 7 tatt bort, og en vegg fra akse 8 er flyttet til akse 7. Erstatningen blir stålsøyler med ulike dimensjoner. Søylene er plasserte i områder der det fra før av var betongvegger, og gjemt bort i lettvegger i sammenlignet med arkitekttegningene. Eksempelvis vil de to søylene mellom akse 4 og 5, og C og D gjemmes i lettvegger mellom leiligheter og gang.

Endringer for fundamentering og parkeringskjeller finnes i kapitel 6.2.3.

4.2.1 Avstivningssystem

Opgaven til ett avstivningssystem er å føre horisontale krefter ned til fundamentet. For blokk B er det valgt å gjøre dette med skivevegger lokalisert i akse 1, akse A og heissjakt. Dette vises i *figur 4-1 og 4-2*. Siden disse ikke endres for løsningen med bubbledeck, forblir avstivningssystem likt for begge løsningene og betraktes med tilstrekkelig kapasitet. Den globale stabiliteten blir derimot redusert ved bruk av bubbledeck på grunn av reduksjon av den totale vekten til bygget.

For løsning med bubbledeck er trappesjakten fjernet. Den er som vist på *figur 4-1*, opplagt på deltabjelker. Dermed vil sjakten ikke være fast innspent i grunnen og ikke avstivende for blokken.



Figur 4-9, Utklipp fra Solibri



Figur 4-10, Utklipp fra Solibri. Bygget sett fra nordøst

5 Dimensjoneringsgrunnlag

Følgende kapittel tar for seg forutsetninger for dimensjonering, laster som påføres konstruksjonen, lastkombinering og materialvalg.

5.1 NS-EN 1990

Forutsetninger for dimensjonering er utarbeidet etter standard *NS-EN 1990: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner* [46] som er den overordnende standarden i Eurokode-serien. Det settes krav til at prosjektering skal gi konstruksjonen tilstrekkelig kapasitet, brukbarhet og bestandighet. For å passe på at dette opprettholdes sier standarden at det skal gjennomføres prosjekterings- og utførelseskontroll i ulike grader basert på pålitelighetsklassen til konstruksjonen. Pålitelighetsklassen eller konsekvensklassen som det ofte kalles, bestemmes ut fra konsekvensen av eventuell svikt i konstruksjon etter *tabell NA.A1(901)* i standard [46]. Relevante klasser og tabellverdier for blokk B er oppgitt i *tabell 5-1*.

Grunnlag for prosjektering		NS-EN 1990
Pålitelighetsklasse	2	Tabell NA.A1(901)
Prosjekteringskontrollklasse	PKK 2	Tabell NA.A1(902)
Utførelseskontrollklasse	UKK 2	Tabell NA.A1(903)
Dimensjonerende brukstid	50 år	Tabell 2.1
Krav til foretak		SAK10
Tiltaksklasse	2	§9-4

Tabell 5-1 Grunnlag til prosjektering, krav til foretak

Siden blokk B havner i kontrollklassene PKK2 og UKK2, sier *tabell NA.A1(902)* og *NA.A1(903)* at det skal gjennomføres egenkontroll, intern systematisk kontroll og utvidet kontroll. Brukstiden benyttes for dimensjonering med tanke på bestandigheten til bygget.

Når en konstruksjon dimensjoneres benyttes det ulike lastfaktorer på lastene avhengig av grensetilstander. Disse tilstandene definerer grensene for når konstruksjonen ikke lenger opprettholder krav til kapasitet, brukbarhet og bestandighet. Standarden oppgir fire grupper med grensetilstander; brud- (ULS), bruks- (SLS), utmatting- og ulykkesgrensetilstand, der utmatting ofte inkluderes i SLS og ulykke i ULS.

ULS blir beskrevet i standard som tilstander «som er av betydning for menneskers sikkerhet og/eller konstruksjonens sikkerhet» [46, s. 24]. Noen av tilstandene det dimensjoneres for i er:

- EQU: Tap av statisk likevekt
- STR: Brudd eller store deformasjoner i konstruksjonen eller konstruksjonsdelene
- GEO: Brudd eller store deformasjoner i grunnen

For blokk B er det valgt å bruke lastfaktorer beskrevet i *tabell NA.A2.4(B)*[46] (STR/GEO) i ULS.

Vedvarende og forbigående dimensjonerende situasjoner	Permanente laster		Forspenning	Dominerende variabel last (*)	Øvrige variable laster (*)
	Ugunstig	Gunstig			
(Ligning 6.10 a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
(Ligning 6.10 b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_p P$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

Figur 5-1 Tabell NA.A2.4(B) [46]

SLS tar hensyn på «konstruksjonens eller konstruksjonsdelenes funksjonsdyktighet ved normal bruk, menneskers komfort og konstruksjonens utseende» [46, s. 25]. Dette gir kriterier til deformasjoner og vibrasjoner, samt spesielle brukbarhetskriterier slik som rissvidder, beskrevet i NS 1992. Lastfaktorer finnes i *tabell A1.4* [46].

Kombinasjon	Permanente laster G_d		Variable laster Q_d	
	Ugunstig	Gunstig	Dominerende last	Andre laster
Karakteristisk	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$
Hyppig forekommende	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$
Tilnærmet permanent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$

Figur 5-2 tabell A1.4 [46]

For å finne lastfaktor for de ulike lastene, må phi-verdier (Ψ) bestemmes og brukes i uttrykkene, som vist i de to tabellene på forrige side. Det tas utgangspunkt i phi-verdier oppgitt i *tabell NA.A1.1* [46].

Last	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Nyttelastkategorier i bygninger (se NS-EN 1991-1-1):			
Kategori A: boliger	0,7	0,5	0,3
Kategori B: kontorer	0,7	0,5	0,3
Kategori C: forsamlingslokaler, møterom	0,7	0,7	0,6
Kategori D: butikker	0,7	0,7	0,6
Kategori E: lager	1,0	0,9	0,8
Kategori F: trafikk- og parkeringsarealer for små kjøretøyer (kjøretøyvekt \leq 30kN og høyst 8 seter utenom fører sete)	0,7	0,7	0,6
Kategori G: trafikk- og parkeringsarealer for mellomstore kjøretøyer, 30kN < kjøretøyvekt \leq 160kN på to akslinger	0,7	0,5	0,3
Kategori H: tak	0	0	0
Snølaster (se NS-EN 1991-1-3)	0,7 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,2 ¹⁾
Vindlaster (se NS-EN 1991-1-4)	0,6 ¹⁾	0,2 ¹⁾	0 ¹⁾
Temperatur (ikke brann) i bygninger (se NS-EN 1991-1-5)	0,6 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0 ¹⁾
¹⁾ Eventuell modifisering for ulike geografiske områder kan kreves av lokale myndigheter			

Figur 5-3 NA.A1.1 [46]

Benyttete lastfaktorer, kombinasjoner av laster og grenseverdier finnes i *kapitel 5.5*.

5.2 Permanente påvirkninger

Laster som har samme retning og størrelse gjennom hele levetiden til konstruksjonen defineres som permanente påvirkninger.

5.2.1 Egenlast

Standard NS 1991-1-1 [44] definerer last fra konstruksjon, ikke bærende deler, faste permanente installasjoner og tyngden av jord og ballast innenfor begrepet egenlast. Blokk B er per dags dato i prosjekteringsfasen, som følge er kun last fra konstruksjon og antagelser for ikke-bærende deler, inkludert i lastmodell.

No	Name	Type
1	Nytte, gulv	Ordinary
2	Snø	Ordinary
3	Auto egen	+Struc. dead load
4	Påført egen	Ordinary

Figur 5-4 Utklipp fra FEM-design

I FEM-design er det brukt to *load cases* for egenlasten, der *auto egen* er laster fra konstruksjon og *påført egen* er fra ikke bærende deler, se figur 5-4. Ved å bruke funksjonen «+Struc. dead load», regner programmet egenlasten ut fra materialvalg og dimensjon på konstruksjonsdel. Funksjonen er ikke mulig å bruke for bubbledekke, da denne dekketyper ikke er inkludert i programmet. For å finne egenvekt på bubbledeck med tykkelse 250 mm, anbefaler Bubbledeck Norway AS å bruke last for massivt stedstøpt dekke og redusere den med 2.0 kN/m².

$$E_{Massivt} = 25 \frac{kN}{m^3} * 0.27 m = 6.8 \frac{kN}{m^2}$$

$$E_{Bubble} = \left(25 \frac{kN}{m^3} * 0.25 m \right) - 2.0 \frac{kN}{m^2} = 4.3 \frac{kN}{m^2}$$

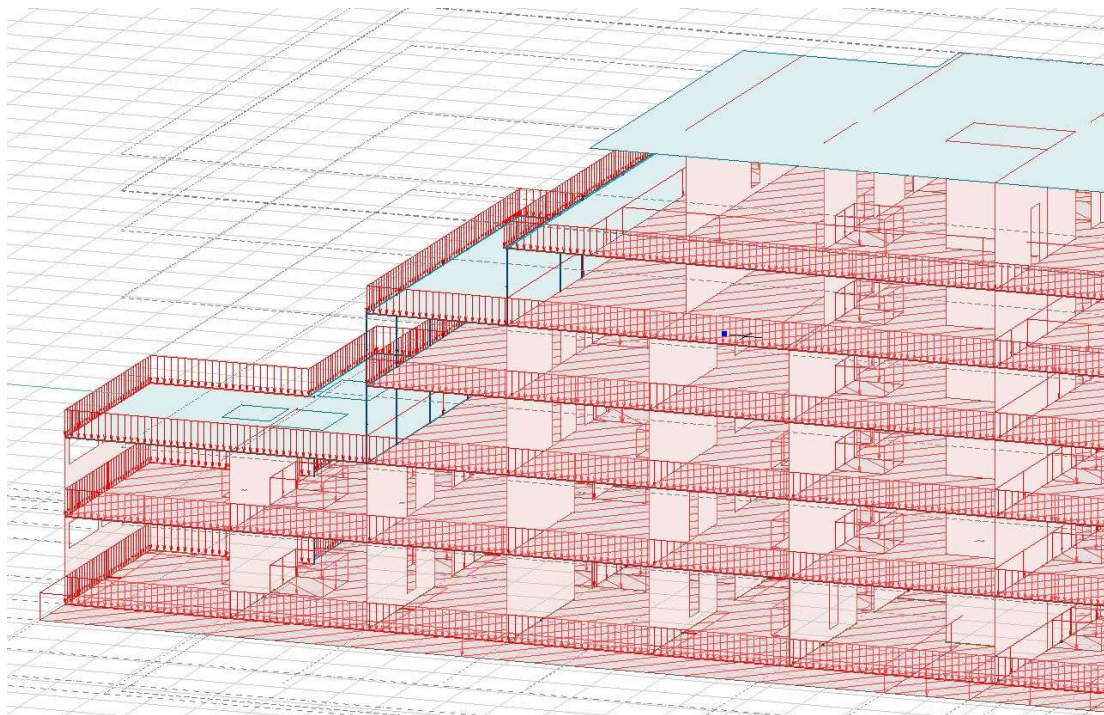
Påførte egenlaster tatt med i lastmodell kommer fra badromskabiner, fasade, rekkverk, gulv og himling;

$$E_{\text{Baderomskabiner}} = 625 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 6.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{\text{Gulv+himling}} = 1.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$E_{\text{Fasade}} = E_{\text{Rekkverk}} = 1.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Figur 4-5 viser hvordan de påførte egenlastene er plassert på lastfigur. Last fra badromskabiner er satt på etter arkitekttegninger, se vedlegg A.2. Laster fra gulv og himling er kombinerte, og plassert på overside av dekker. Denne lasten er ikke brukt på altaner. Fasade- og rekkverkslast er plassert som en kontinuerlig linjelast langs ytterkant av dekker.




Figur 5-5 Lastpåføring. Utklipp fra FEM-design.

5.2.2 Geometrisk avvik

Både NS-EN 1992 [48] og NS-EN 1993 [47] tar for seg geometrisk avvik eller skjevstillingslast som det oftest kalles. I punkt 5.2 i betongstandardstandard beskrives lasten som «ugunstige virkninger av mulige avvik i konstruksjonenes geometri og plassering av lastene i konstruksjonsanalysen for de ulike konstruksjonsdelene eller den samlede konstruksjonen» [48].

For å finne skjevstillingslasten til blokk B er det valgt å bruke FEM-design. Lastfunksjonen «deviation» regner ut lasten for alle fire sider av bygget ved å multiplisere karakteristisk kraft i vertikale konstruksjonsdeler med helningen θ_i . Den består av basisverdien θ_0 lik 1/200 og reduksjonsfaktorene α_h og α_m . Disse regnes ut med formler i 5.2(5) [48] og benytter seg av variablene l og m som bestemmes etter hvilken virkning av lasten det skal undersøkes for. I blokk B er det mest sentralt å se på virkningen på gulv, som gir l = etasjehøyde og m = antallet vertikale konstruksjonsdeler i etasjene etter punkt 5.2(6). Det øker foreslått verdi fra programet for α_h til 1.0, mens α_m forblir det samme, se figur 5-6.

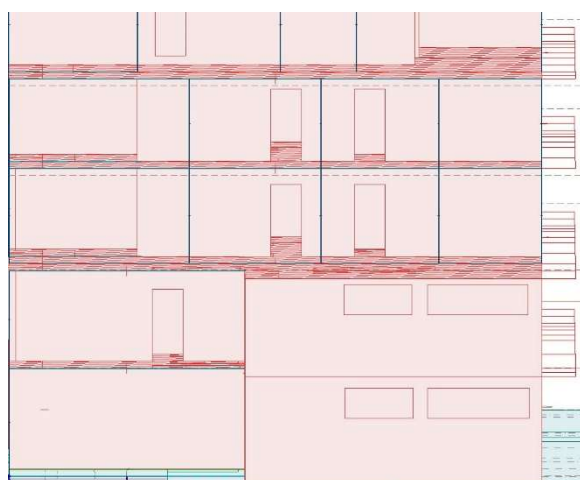
Considered force on storey [kN]	7993
alpha h (proposed value)	0.667
alpha h (applied value) 2/3 <= x <= 1.0	1.00
m (proposed value)	14
m (applied value)	14
alpha m	0.732
Load value [kN]	29,3
According to EC2 5.2 (5) and EC3 5.3.2 (3) a)	



Figur 5-6, utklipp fra FEM-design

Den samlede kraften fra de vertikale konstruksjonsdelene multiplisert med helningen summeres, og påføres som linjelast på dekkene i ulike lasttilfeller for hver av retningene, se figur 5-7.

Etter punkt 5.2(2)P [48] og 5.2(3) [48] tas det kun hensyn til skjevstillingslasten i bruddgrense og ikke i bruksgrense.



Figur 5-7, utklipp fra FEM-design

5.2.3 Svinn og kryp

Svinn og kryp fører til volumendringer for betongdelene. Svinn forårsakes i hovedsak ved uttørring og i fasthetsutviklingen til betongen. Kryp er derimot volumendringer fra permanente laster. Disse deformasjonene oppstår over lengre tid, bortsett fra fasthetsutviklingen som oppstår i kort tid etter støp.

For å finne svinn og kryp er FEM-design benyttet. Programmet følger ligninger bestemt i tillegg B i standard NS 1992 [48]. Det er benyttet funksjonen *+Shrinkage* for å inkludere svinn i lastberegninger

5	Nytte, altan	Ordinary	Permanent
6	Vind	Ordinary	Permanent
7	Svinn	+Shrinkage	Permanent
8	Deviation Y-	Deviation	Permanent
9	Deviation Y+	Deviation	Permanent

Figur 5-8, utklipp fra FEM-design

og benyttes i henhold til punkt 2.3.2.2 i standard [48] kun til lastkombinasjon i SLS. Det samme gjelder for kryp.

Etter anbefalinger fra Bubbledeck Norway AS benyttes det en økt verdi for svinn og kryptall. Disse settes lik 0.5 for svinn og 2.5 for kryp.

5.3 Variabel påvirkninger

5.3.1 Nyttelast

Nyttelasten bestemmes ut fra *Del 1-1: Allmenne laster–Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger* [44]. Standarden definerer nyttelast på ved at det er «Laster som oppstår under bruk» [44, s. 12]. Dette kan for eksempel være personer, bevegelige gjenstander og lettvegger. *Tabell NA 4.1 – Brukscategorier* plasserer blokk B i kategori A for alle arealer inkludert i oppgaven. Dersom parkeringskjelleren hadde vært inkludert, ville nyttelasten økt for denne etasjen etter *Tabell.6.8 – Nyttelaster på garasjer og trafikkarealer*.

Kategorier	Spesifikk bruk
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter
B	Kontorarealer
C	Arealer der personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B og D)
D	Forretningsarealer

Tabell 5-2 Brukscategorier (Utdrag fra Tabell NA 6.1 i standard) [44]

Selv om alle arealer er i kategori A, deles *Tabell NA.6.2 – Nyttelaster på gulv, balkonger og trapper i bygninger* [44] inn i fire underkategorier. Arealreduksjonsfaktor og etasjereduksjonsfaktor i punkt NA.6.3.1.2(10) og NA.6.3.1.2(11) er ikke benyttet. Karakteristiske nyttelaster plassert i lastmodell:

- Gulv: $q_k = 2.0 \text{ kN/m}^2$
- Balkonger: $q_k = 4.0 \text{ kN/m}^2$

Kategorier	$q_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$	$Q_k \text{ [kN]}$
A		
- Gulv	2.0	2.0
- Trapper	3.0	2.0
- Balkonger og verandaer	4.0	2.0
- Loft med liten takhøyde eller begrenset adgang	1.0	1.5

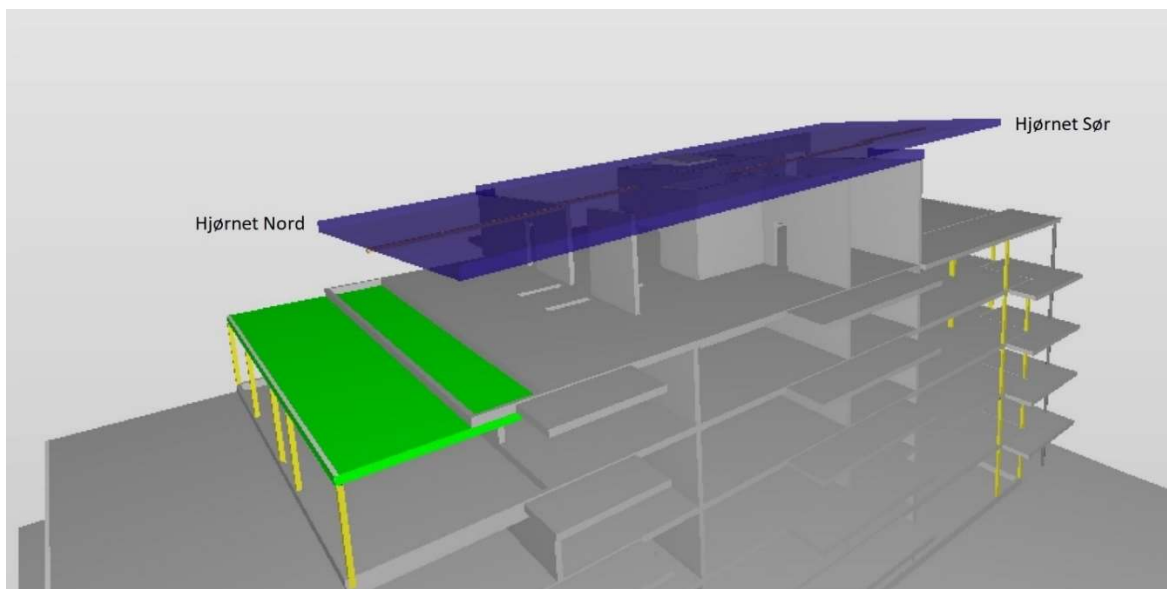
Tabell 5-3 Nyttelaster (Utdrag fra Tabell NA 6.2 i standard) [44]

5.3.2 Snølast

Snølast er beregnet etter retningslinjer i «NS-EN 1991 Del 1-3: Allmenne laster snølast» [45] Standarden viser at lasten i hovedsak varierer etter plassering av bygget og utforming av taket. For blokk B er takkonstruksjonen, altaner og balkonger uten overbygg utsatt for lasten.

Tabell NA.4.1(901) [45, 2. 50] gir utgangspunktet for snølastberegninger. Karakteristisk snølast på mark for alle kommuner og Svalbard er oppgitt i tabellen, i tillegg til en tilleggsverdi ΔS_k som benyttes for steder over høydegrensen H_g . Lerum Brygge ligger ca. 2 meter over havet som er godt under høydegrensen i Sogndal. Grunnverdi for karakteristisk snølast på mark blir derfor benyttet. Standarden tar også hensyn til topografi og termisk påvirkning fra varmegjennomgang i taket. Disse settes til sikker side lik 1,0 i beregningene.

I lastmodell er taket til blokk B forenklet satt til flatt tak. I realiteten er det planlagt en helningsvinkel på $\alpha = 4.0^\circ$ fra toppunkt i hjørnet sør til bunnpunkt i hjørnet nord. Det betyr at taket har en helning i både x- og y-retning. Helningen neglisjeres i forbindelse med formfaktoren, siden tabell 5.2 gir verdi $\mu_1(4.0^\circ) \geq 0.8$ og nasjonalt tillegg gir anbefalt verdi $\mu_1(0^\circ) = 0.8$.



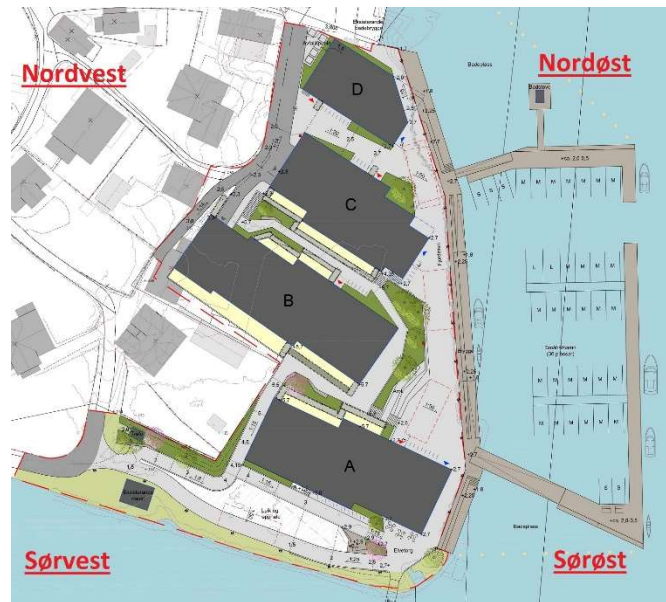
Figur 5-9, utklipp fra Solibri

Full håndberegning av snølast og kontroll i *Lastberegninger OS* finnes i vedlegg B.

$$S_k = \mu_1 * C_e * C_t * S_k = 2.0 \frac{kN}{m^2} \quad (5.1)$$

5.3.3 Vindlast

Vind gir i hovedsak påkjenninger på bygninger gjennom horisontale trykk- og sugkrefter tatt opp av de vertikale flatene og taket til bygget, der en av de vertikale flatene rettet mot vindretning vil oppleve trykkrefter. Dette vil føre til et innvendig overtrykk med luft, siden ingen bygg er helt lufttette. De andre flatene inkludert taket vil som følge få trykk eller sugkrefter, avhengig av form og geometri av bygget. Vind kan også gi krefter i form av friksjon, beskrevet i standarden slik: «Når vinden stryker over store områder av konstruksjonen, kan i tillegg friksjonskrefter som virker tangentielt på overflaten, være betydelige» [58]. Det kan tenkes at disse kreftene kunne vært



Figur 5-10 Plan for Lerum brygge med fire blokker

betydelige for den originale planen av prosjekt Lerum Brygge med fire blokker, se figur 5-2. På grunn av små avstander mellom blokkene ville vindhastigheten akselerere og luftmengden mellom blokkene øke, ettersom at vinden kommer fra sørøst eller nordvestlig retning. Dette øker friksjonskreftene langs de store vertikale flatene, parallelt med langsiden for blokk B, og kreftene kunne vært betydelige. For oppdatert plan av prosjektet er blokk D fjernet, som følge av dette har ført til at avstandene mellom blokkene har økt, og friksjonskraften fra vinden betraktes som ikke betydelige og inkluderes ikke i lastmodell.

Vindlast bestemmes etter flere variabler knyttet plassering, omgivelser og formen på bygget beskrevet i Del 1-4: *Allmenne laster vindlast* i EC 1 [58]. I slutten av standarden [58] gis veiledning for forenklet beregning av vindkasthastighetstrykket som er benyttet i videre beregninger av vindlast. Denne beregningsmetoden har som krav at det er ingen ås, skråning eller terrengendring av betydning rundt byggested. Dette er vist å være tilfelle for Lerum Brygge, på første side av håndberegninger av vindlast, se vedlegg E.1. Helninger til nærliggende terrengendringer er også vist i vedlegg A.1. Største helning fra byggested er til Stedjåsen på 18.63° , som vil virke skjermende etter NA.4.3.3(901.3), [58] og ikke forsterkende etter NA.4.3.3(901.4) [58]. Det gjør at beregninger etter «Veiledning forenklet beregning av vindkasthastighetstrykket» [58] vil være til sikker side.

Beregninger for vindlast er i *vedlegg E*, der de er gjort både for hånd og kontrollert i Ove Sletten Lastberegninger. Høyest beregnet vindtrykk angriper blokken fra Sørøstlig retning på grunn av nærliggende terrengruhetskategori. Den samlede største vindlasten vil derimot komme fra nordøst og sørvest, på grunn av de store overflatene på langsiden til bygget. For disse sidene vil også blokk A og C virke skjermende. Det er valgt å bare bruke et lasttilfelle for vinden. Grunnlaget for dette er at uten å redusere vindlasten på grunn av skjerming fra nærliggende blokker, vil lasten bli for høy. Sonelaster for vegger er vist i *tabell 5-11*.

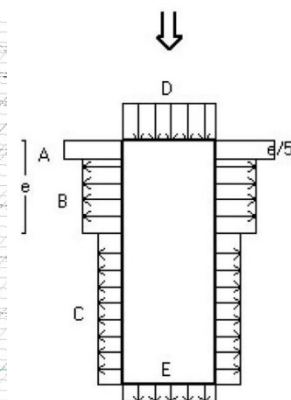
Soner	Sonelaster [kN/m ²]	Lastbredde [m]	Linjelast [kN/m]
A	-1.815	3075	-5.581
B	-1.331	3075	-4.093
C	-0.968	3075	-2.977
D	1.129	3075	3.472
E	-0.807	3075	-2.482

Tabell 5-4, fordeling av vindlast

Lastene multipliseres med etasjehøyde og føres på lastmodell som en linjelast på dekkene i lik het med figur 5-12. Det er valgt til sikker side å ekskludere laster på taket på taket. Dette gjøres siden sug krefter på taket er gunstigst for konstruksjonen, globalt sett. Taket vill heller ikke dimensjoneres i FEM-design.



Figur 5-11, utklipp fra DEM-design. Påsatt linjelaster



Figur 5-12, fordeling av vindlast i bygget

5.4 Ulykkespåvirkninger

Ulykkespåvirkninger utgjør ofte med store størrelser, men påvirker konstruksjonen i korte perioder. Disse påvirkningene kan for eksempel forekomme ved eksplosjoner, ved støt, fra kjøretøyer og jordskjelv. Det må tas hensyn til jordskjelv, hvis konstruksjoner ikke opprettholder utelatelseskriterier beskrevet i NA.3.2.1 [49];

1. $a_g * S = \gamma_1 * (0.8 * a_{g40Hz}) * S < 0.49 \text{ m/s}^2$
2. Konstruksjoner i seismisk klasse 1
3. For lette trekonstruksjoner
4. $S_d(T) < 0.05 * g = 0.49 \text{ m/s}^2$
5. $1.0 * F_b < (1.5 * vind + 1.05 * skjjev) * \left(\frac{\gamma_c \text{ bruddgrense}}{\gamma_{c DCL}}\right)$

Norconsult formidlet at ved deres beregninger ikke innfridde blokk B, for noen av disse kriteriene. Sogndal befinner seg et stykke fra kysten i landet, som gjør at konstruksjon er lite utsatt for jordskjelv. Beliggenheten gjør også at berggrunnens akselerasjon er relativt lav, med en verdi på 0.5 etter figur NA.3(901) [49]. Dette gir gode muligheter for å innfri utelatelseskriteriet 1. Berggrunn for område er satt til grunntype C i geoteknisk rapport og konstruksjonen er i seismiske klasse 2. Med disse verdiene tilfredsstillter blokk B ikke kriteriet.

I et forsøk på å innfri kriteriet ble forskningsstiftelsen Norsar kontaktet. De tilbyr et oppdatert soneringskart med redusert berggrunn akselerasjonsverdier basert på «nye jordskjelvdata, oppdatert forskning, bedre regnemodeller og metoder» [50]. Kartet er godkjent å bruke av direktoratet for byggkvalitet [51]. Norsat sendte gjennomsnittsverdi for Sogndal, og gav samtidig ett ønske om at verdien ikke presenteres i oppgaven. Ved å bruke tilsendt verdi, tilfredsstillter fortsatt ikke blokken utelatelseskriterier.

Det velges å neglisjere ulykkespåvirkninger i resterende del av oppgaven, men det settes fokus på at ved å bruke bubbledeck, vil den seismiske lasten reduseres på grunn av mindre vekt i etasjer.

5.5 Lastkombinering

Kombinering av laster er funnet i FEM-design. Alle laster er lagt inn i *Load cases* og *Load groups*. Ved å utføre dette finner programmet lastkombinasjoner med lastfaktorer på lastene, basert på hvilke grenseverdier som er valgt. Dette er spesielt nyttig for lastmodeller med flere laster, grenseverdier og laster med ulike retninger som fører til en vesentlig økning av antall lastkombinasjoner.

Grensetilstander valgt i FEM-design er valgt etter hva lastmodeller skal brukes til. Dette innebærer dimensjonering av bæresystem i stål og bubbledeck, som gir ligning 6.10a og 6.10b i ULS. I SLS er det valgt å benytte seg av *tilnærmet permanent* med krav lik 1/250, fra tabell NA.A1(904) i standarden (Kilde 3). Alle laster i lastmodeller er vist i figur 5-10 og utdrag fra de totalt 17 lastkombinasjonene i figur 5-11.

No	Name	Type	Duration class (EN 1995 1-1)
1	Snø	Ordinary	Permanent
2	Auto egen	+Struc. dead load	Permanent
3	Påført egen	Ordinary	Permanent
6	Vind	Ordinary	Permanent
7	Deviation Y-	Deviation	Permanent
8	Deviation Y+	Deviation	Permanent
9	Deviation X-	Deviation	Permanent
10	Deviation X+	Deviation	Permanent
11	Svinn	+Shrinkage	Permanent

Figur 5-13, utklipp fra FEM-design

No	Name	Type	Factor	Included load cases	No	Name	Type	Factor	Included load cases
1	6.10a.Y-	U	1.35	Auto egen	15	6.10b.Nytte.X+	U	0.90	Vind
			1.35	Påført egen				1.20	Auto egen
			1.00	Deviation Y-				1.20	Påført egen
			1.05	Snø				1.00	Deviation X+
			1.05	Nytte, gulv				1.50	Nytte, gulv
			1.05	Nytte, altan				1.05	Snø
			0.90	Vind				1.50	Nytte, altan
2	6.10a.Y+	U	1.35	Auto egen	16	6.10b.Vind.X+	U	0.90	Vind
			1.35	Påført egen				1.20	Auto egen
			1.00	Deviation Y+				1.20	Påført egen
			1.05	Snø				1.00	Deviation X+
			1.05	Nytte, gulv				1.05	Nytte, altan
			1.05	Nytte, altan				1.05	Snø
			0.90	Vind				1.05	Nytte, gulv
3	6.10a.X-	U	1.35	Auto egen	17	SLS	Sq	1.50	Vind
			1.35	Påført egen				1.00	Auto egen
			1.00	Deviation X-				1.00	Påført egen
			1.05	Snø				1.00	Svinn
			1.05	Nytte, gulv				0.20	Snø
			1.05	Nytte, altan				0.30	Nytte, gulv
			0.90	Vind				0.30	Nytte, altan
4	6.10a.X+	U	1.35	Auto egen					

Figur 5-14, lastfaktorer. Utklipp fra FEM-design

5.6 Materialvalg

Valg av materialer gjøres for å opprettholde krav til kapasitet og bestandighet for hele brukstiden til konstruksjonen. For betong gjøres dette ved å finne nødvendig eksponeringsklasse, fasthetsklasse og bestandighetsklasse. Dette arbeidet er gjennomført av Norconsult og vist i *figur 5-10*. Klassene tas i betraktning for enhetsprisene på betong og stålglattung av innvendig overflater. For areal behandlet med stålglattung trekkes utvendig areal av dekke over parkeringskjeller fra totalt areal mengde med dekker.

Betong:

- Kloridklasse Cl 0,20 (NS-EN 206+NA)
- Tilslagets største diameter Dupper: 22mm (NS-EN 206+NA)
- "Enkel sikring" mot alkalireaksjoner etter retningslinjer i NBP 21.

- Fasthetsklasse (NS-EN 206+NA):
 - B30 *Innvend. vegger, innv. etasjeskille, 100mm golv på grunn*
 - B35 *Utv. mot parkering (vegg/platten), fundament, platten plan 1, utvending gen.*
 - B45 *Parkeringsdekke, søyler og kaikonstruksjonar (eksl. kaidekke)*
- Bestandighetsklasse: (NS-EN 206+NA):
 - M60 (B30) *innvendig generell*
 - MF45 (B35) *Utvend. eksponerte vegger/flater (dekker/trapper/kaidekke etc.)*
 - M45 (B35) *Fundamenter, banketter, bunnplater, innv. mot garasje, påstøyp platten plan 1*
 - MF40 (B45) *Kaikonstruksjonar*
 - M40 (B45) *Parkeringsdekke og søyler*
- Eksponeringsklasse (NS-EN 1992-1-1+NA):

XC1: <i>Innvend. generell</i>	XC2: <i>Utvendig mot isolasjon</i>
XC3: <i>Fundament, påstøyp platten plan 1</i>	XD1: <i>Vegger/dekke parkering</i>
XD3: <i>Golv parkeringskjellar</i>	XF3: <i>Balkongar /utendørs</i>
XF4: <i>Utv. eksponerte flater</i>	XS3: <i>Kaikonstruksjonar</i>
- Herdeklasse 3
- Overflatebearbeiding:

Gulv:	Stålglatt
Parkeringsdekke:	Brettskurt. Avklarast med byggherre
Utandørs betongdekker:	Brettskurt. Avklarast med byggherre
OK nedre støypeetappe:	Ru overfalte, eksponert tilslag

Figur 5-15, tilsendt rapport fra Norconsult

Stålkvalitet for søyler og bjelker settes til S355 for alle konstruksjonsdeler i stål, siden hulprofiler og UPE-bjelker vanligvis leveres med stålkvalitet S355 [52]. Det samme gjelder for delta-bjelker [53].

6 Dimensjonering og mengdeberegninger

Kapitel presenterer dimensjoner, mengder og enhetspriser brukt i priskalkyler.

6.1 Løsning med stedstøpt dekke

For å finne prisen til stedstøpt dekke er det valgt fire poster i priskalkylen. De regnes ut med hjelp av areal av dekker, mengde betong og mengde armering. Alle enhetspriser i begge kalkylemed unntatt av av bubbledeck er utarbeidet sammen med Kleiven Sogn AS. Enhetspriser gitt for dekke er ført opp i tabell 6-1 og relevante mengder i *tabell 6-2*, der dekke 0 er plassert over parkeringskjeller og dekke 5 er mellom femte og sjetten etasje.

Poster	Enhetspriser
Forskaling betongdekker [m ²]	550 [kr/m ²]
Betong i dekket [m ³]	2300 [kr/m ³]
Armering [kg]	22 [kr/kg]
Stålglatting [m ²]	100 [kr/m ²]

Tabell 6-1, poster med enhetspriser

Dekker	Areal [m ²]	Tykkelse [m]	Volum [m ³]
0	1411	0.27	381
1	809	0.27	218
2	814	0.27	220
3	674	0.27	182
4	677	0.27	182
5	559	0.27	151
SUM	4944		1334

Tabell 6-2, dekker med areal, tykkelse og volum

Som nevnt i kapitel 3 brukes det antagelser på mengder armering ved anbudsrunder i totalentrepriser. Disse antagelsene er ofte basert på erfaring. I den anledning ble armeringsmengde for både stedstøpt dekke og for vegger bestemt sammen med Kleiven Sogn AS. FEM-designmodellen for stedstøpt dekke ble benyttet, der spennvidder, laster, nedbøyning og tykkelse på dekke ble presentert og diskutert.

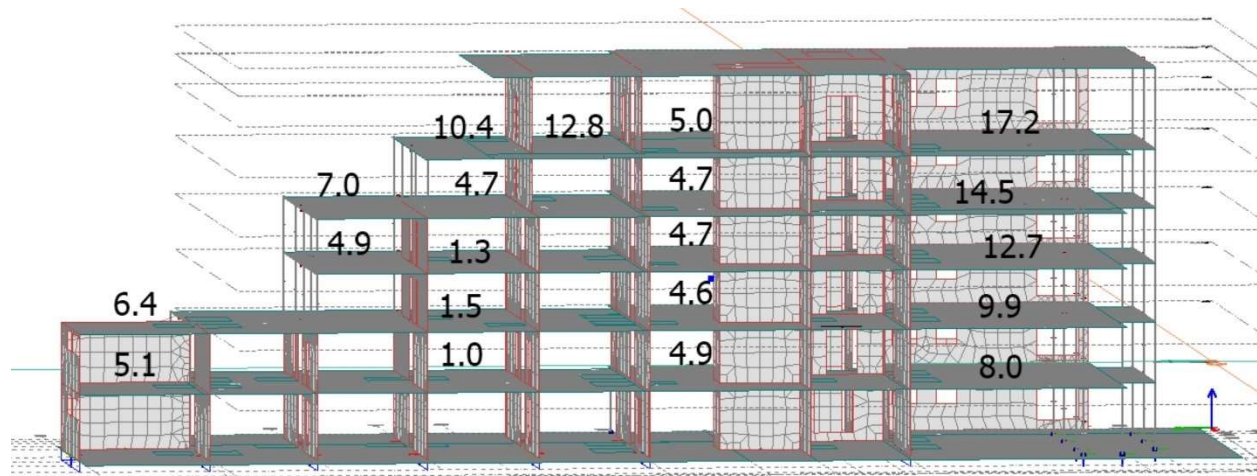
Følgende antagelser for armering er gitt:

- Armering stedstøpt dekke: 130 kg/m^3
- Armering vegger: 90 kg/m^3

Dette gir total armeringsmengde for dekker lik $A_{S_{Tot}} = 1334 \text{ m}^3 * 130 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 173420 \text{ kg}$

Armering er ikke lagt inn i FEM-designmodellen, men det har liten betydning for nedbøyningen til dekkene og kan derfor kontrolleres. Nedbøyning i SLS er vist i figur 6-1 og viser at den største forskyvningen på dekke i 6. etasje, mellom akse 8 og 9, med spenn lik 7,6 meter. Alle forskyvninger er kontrollert med tilhørende spenn og vist utnyttelse er den høyeste verdien.

$$\frac{\frac{17.2}{7600}}{\frac{1}{250}} = 57\% \text{ utnyttelse i SLS (tilnærmet permanent)}$$



Figur 6-1 Nedbøyning for stedstøp. Utklipp fra DEM-design

6.1.1 Vegger

Arealet for vegger som er brukt i priskalkylen, er tatt utgangspunkt i antatt fjernede vegger fra den stedsøpte modellen, kontra bubbledeck-modellen. Beliggenheten til disse er tatt for seg i *kapitel 4.2*.

Arealer er oppgitt i bruttomasser som vil si at utsparinger er inkludert. Dette gjøres på grunn av at ved å redusere arealer med tanke på utsparinger, vil gi en billigere pris på vegger. I realiteten vil en utsparring ved for eksempel ett vindu høyst sannsynlig øke totalprisen for veggen. Enhetspriser og poster for vegger er angitt i *tabell 6.3*.

Poster	Enhetspriser
Forskaling betongvegger [m ²]	450 [kr/m ²]
Betong i vegger [m ³]	2400 [kr/m ²]
Armering i vegger [kg]	21 [kr/m ²]

Tabell 6-3, poster med enhetspriser

I RIB-modellen fra Norconsult er tykkelsen til alle vegger i akse 2,4,5,7 og 8 lik 200 mm. Armering er som sagt i *kapittel 6.1*, satt til 90 kg/m³. Denne verdien tar i utgangspunkt at de fleste av veggene benytter seg av minimumsarmering og minimal bruk av tilleggsarmering. Dette kan med god grunn antas, siden ingen av disse veggene er avstivende og kun ett fåtall har utsparinger.

Akser	Areal [m ²]	Volum [m ³]	Armering [kg]
2	41	8.2	738
4	149	29.8	2682
5 (inkl. vegger i kjeller)	236	47.2	4248
7 (inkl. rømningsjakt)	218	43.6	3924
8	157	31.4	2826
SUM	801	160.2	14418

Tabell 6-4 Mengder vegger for løsning med stedstøpt

6.1.2 Stålsøyler og bjelker

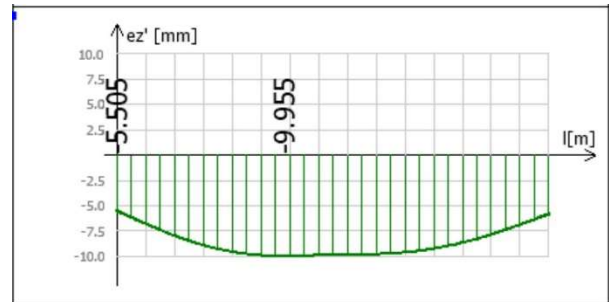
I motsetning til vegger, tas alle stålsøyler og bjelker med i priskalkyler. Grunnen til dette er at alle bjelker fjernes i løsningen med bubbledeck og at alle søyledimensjoner endres. Bæresystem i stål består av 64 søyler og 21 bjelker for løsning med stedstøpt dekke. Stålprofiler valgt av Norconsult er en kombinasjon av rektangulære og kvadratisk hulprofiler for søylene, UPE-bjelker og delta-bjelker.

All dimensjonering av stål er gjort i *steel-design* i FEM-design. Programmet kan automatisk dimensjonere all stål etter valgt utnyttingsgrad og profil, med funksjonen *auto design*. Første gang denne ble brukt valgte programmet totalt 64 ulike dimensjoner for de 64 ulike søylene. Siden dette kan føre til økt pris fra entreprenører, er det bestemt å avgrense til totalt syv ulike søyledimensjoner for hver av løsningene. Det er testet med flere ulike kombinasjoner av søyledimensjoner for å finne den med minst total mengde stål, og samtidig opprettholder krav i ULS. Utnyttelsen på søylene varierer fra 60% til 94% i ULS. Det er også tatt hensyn til god kraftoverføring fra bjelker til søyler og motsatt. For gjemte søyler i vegger er dimensjoner valgt for å ikke være større enn tykkelsen av veggen. Dette er mer relevant for søyler i løsningen med bubbledeck. I FEM-design er det først gjennomført en elastisk ikke-lineær analyse, deretter en andreordens analyse. Dette er gjort for å ta høyde for deformasjoner og gi søylene en eksentrisitet. *Tabell 6-5* viser beregnede dimensjoner og mengder..

Profiler / dimensjoner	Lengde [m]	Forholdstall [kg/m]	Mengde [kg]	Enhetspris
UPE 300	116.4	45.3	5272.9	28 [kr/kg]
Delta 30-300	132.8			4800 [kr/m]
SHS 60x5	29.21	8.7	254.4	60 [kr/kg]
RHS 100x50x5	65.7	11.1	729.7	55 [kr/kg]
SHS 100x4	16.4	12.2	200.2	50 [kr/kg]
SHS 100x6.3	18.4	18.8	345.7	50 [kr/kg]
RHS 150x100x5	23.4	19.1	446.9	45 [kr/kg]
RHS 250x150x6.3	22.6	39	881.4	35 [kr/kg]
RHS 250x150x12.5	24.9	71.5	1782.3	30 [kr/kg]

Tabell 6-5 dimensjoner, mengder og enhetspriser for bæring av stål i stedstøpt

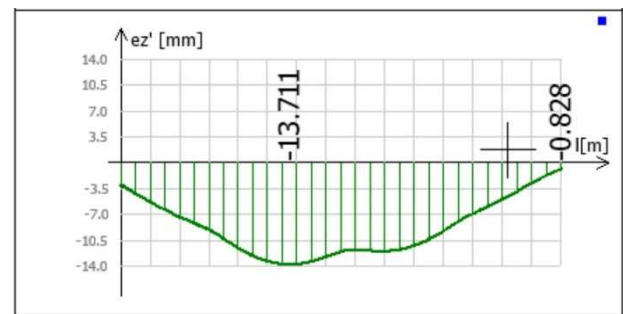
For valg av bjelkedimensjoner er utforming av tilhørende konstruksjonsdeler og nedbøyning i SLS vurdert. For UPE-bjolkene er det valt UPE 300. Dette for å passe overens med dekketykkelsen på 270 mm. Maks nedbøyning for disse bjolkene er lokalisert i akse 11, i 5. etasje. Lengden på bjelken er på 11 meter. Det gir en utnyttning lik:



Figur 6-2 nedbøyning av UPE-bjelke, utklipp fra FEM-design

$$\frac{\frac{10}{11000}}{\frac{1}{250}} = 22.7 \% \text{ utnyttelse i SLS (tilnærmet permanent)}$$

Deltabjelker ga flere problemer knyttet til tilhørende konstruksjonsdeler. Ønskelig dimensjon på bjolkene er D26-300 eller D26-400. Disse er 265 mm høye og dermed 5 mm lavere enn dekketykkelsen. I ULS hadde disse dimensjonene en utnyttelse på over 100%, på grunn av skjærkraften fra opplager på søyle, i akse 9C. Det ble forsøkt å gi omkringliggende søyler høyere stivhet ved å øke dimensjoner, for å ta opp en større del av kreftene i bjelken. Dette reduserte utnyttelsen i bjelken, men ikke nok. Det er derfor valgt å bruke dimensjoner D30-300 som er 40 mm høyere enn dekket. Tiltak for oppbygging av gulv må derfor gjennomføres for å forhindre en kant tvers gjennom leiligheter i den sørøstlige delen av bygget. Maks utnyttelse for deltabjelker i SLS er lik:



Figur 6-3 nedbøyning av deltabjelke, utklipp fra FEM-design

$$\frac{\frac{13.711}{18200}}{\frac{1}{250}} = 19 \% \text{ utnyttelse i SLS (tilnærmet permanent)}$$

Deltabjelker under trappesjakt, vist i *kapittel 4.2.1* er antatt med samme dimensjoner i priskalkyle. Dette er lite realistisk, siden krefter over disse bjolkene er mye høyere enn for bjolkene i akse 9. Antagelsen vil derimot ikke gi store skilnader i priskalkylen.

6.2 Løsning med bubbledeck

For å finne en realistisk dekkeløsning for blokk B med bubbledeck, ble det opparbeidet en FEM-designmodell inkludert lastkombinasjoner. Denne ble sendt til Bubbledeck Norway AS. Pristilbudet fra bedriften lå på 2241 kr/m², der valgt leveringsform er *type 3 – filigree* elements. Kostnader for ferdig levering på byggeplass var 1099 kr/m². Dette inkluderer plattendekker med plastkuler, armering, prosjektering og fortjeneste, i tillegg til transport fra fabrikk i Bø i Vestfold og Telemark til Sogndal. Den resterende enhetssummen på 1142 kr/m² er kostnader knyttet arbeid på byggeplass, det vil si montasje, påstøp på 180 mm, plasslagt tilleggsarmering og fortjeneste til entreprenør. Dekket er dimensjonert av Bubbledeck Norway AS for å opprettholde krav til maks krefter i ULS, nedbøyning i SLS og riss.

Prosjekt		BD 250		Prosjektert areal BD:		4500 m2	
				Pris pr m2			
		Ant. / Kg	kr pr ant./kg				
Plattendekke 7cm				320 kr/m ²		1 440 000 kr	
Tilleg utsp				kr/m ²			
Tillegg Betongkvalitet				kr/m ²			
Armering min. kg/m ²	16,8	9,50		160 kr/m ²		718 200 kr	
Armering ekstra kg/m ²	1,9	9,50		18 kr/m ²		81 172 kr	
Tilleggsarmering kg/m ²	0,5	13,00		7 kr/m ²		29 250 kr	
Gitterdrager kg/m ²	3,2	12,00		39 kr/m ²		174 420 kr	
Total armering	18,7			223 kr/m ²		1 003 042 kr	
Armering Bole, stk.	800	50		9 kr/m ²		40 000 kr	
Armering transport				33 kr/m ²		150 000 kr	
Plastkuler ink. transp				184 kr/m ²		827 580 kr	
Royalty				4 kr/m ²		18 000 kr	
SUM produksjon				773 kr/m ²		3 478 622 kr	
Fortjeneste	10 %			77 kr/m ²		347 862 kr	
SUM element				850 kr/m²		3 825 000 kr	
Transport	41	17158		156 kr/m ²		703 478 kr	
Prosjektering	415	1 000		92 kr/m ²		415 000 kr	
SUM tilbud				1 099 kr/m ²		4 943 478 kr	
Plasslagt armering	3,96	11		44 kr/m ²		195 896	
SUM ferdig støpt dekke				2 241 kr/m ²		10 082 852 kr	

Figur 6-4 Tilsendt prisbud fra Bubbledeck Norway AS

6.2.1 Vegger

Det er ikke satt noen poster i priskalkylen for vegger i løsning med bubbledekke. Dette er på grunn av at det ikke finnes noen eksklusive vegger i bæresystemet. Det antas at vegger som er i begge bæresystemene forblir med samme tykkelse og armeringsmengde.

6.2.2 Stålsøyler og bjelker

Dimensjonering er gjort likt som for søyler i løsning med stedstøpt dekke. Mengder og enhetspriser er oppgitt i *tabell 6-6*.

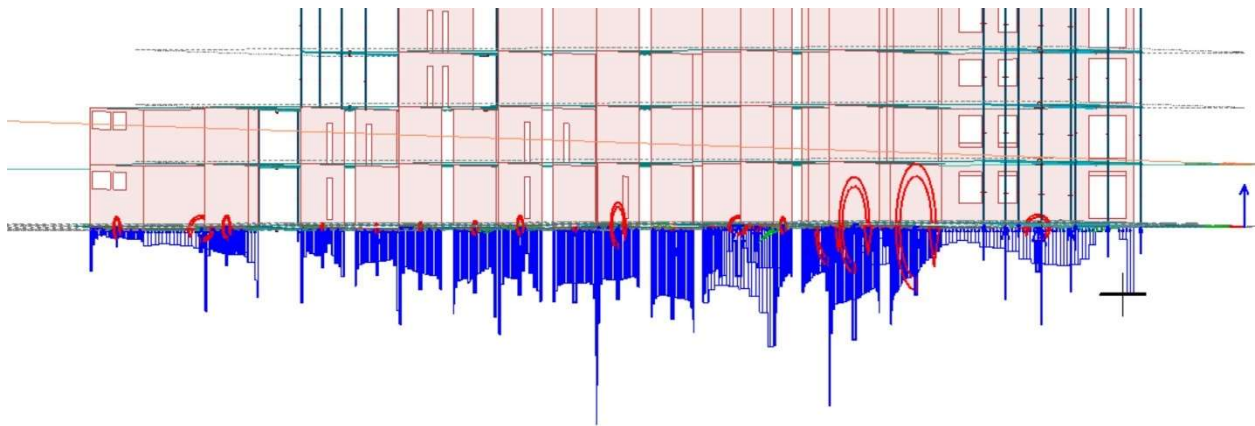
Profiler / dimensjoner	Lengde[m]	Enhet [kg/m]	Mengde [kg]	Enhetspris
SHS 70x5	21.8	10.3	224.6	60 [kr/kg]
SHS 80x8	51.6	18.2	939.8	55 [kr/kg]
SHS 120x5	42.8	18.4	787.5	50 [kr/kg]
SHS 140x8	146.3	33.6	4917.0	50 [kr/kg]
SHS 180x8	32.1	43.9	1410.9	45 [kr/kg]
SHS 200x10	18.5	60.5	1121.7	35 [kr/kg]
SHS 250x10	6.2	76.5	472.8	30 [kr/kg]

Tabell 6-6 dimensjoner, mengder og enhetspriser for bæring i stål i løsning med bubbledeck

6.2.3 Parkeringskjeller og fundamentering

Parkeringskjeller og fundamentering ble først ekskludert i oppgaven og ble derfor ikke tatt med i lastmodell. Ettersom at reduksjonen av vekten er så betydelig med bruk av bubbledeck, er det bestemt at reduksjon av fundamentering må inkluderes i priskalkyler. Fundamentering til blokk B består av pæler og for bæring i parkeringskjeller er det benyttet betongsøyler. Endring av bæring i parkeringskjeller er vist i vedlegg B og C.

For å finne reduksjon i fundamentering er opplagerkreftene for de to løsningene undersøkt i FEM-design. I løsningen med stedstøpt dekke er den totale opplagerkraften på 70 926 kN, mens for løsningen med bubbledeck reduseres denne til 53 551 kN. Dette utgjør en reduksjon på 24.5 %. Antallet pæler bestemmes også ut ifra formen til bygget, der det må være tilstrekkelig med fundamentering under søylerader og vegger i parkeringskjeller. Det er valgt å anta en reduksjon av fundamentering med 20 %, som er en reduksjon på $0.2 * 95 = 19$ pæler. Priser for banketter er ikke inkludert. Priser for ekstra fundamentering legges til som post på priskalkyle for løsning med stedstøp dekke.



Figur 6-5 Utklipp fra FEM-design, viser opplagerkrefter for løsning med massivt dekke.

6.3 Bygningsfysiske forhold

6.3.1 Lyd

Lyd kan defineres som trykkvariasjoner i luften [40]. Trykkvariasjonene brer seg som svingninger og vil for mennesket oppleves som lyd eller vibrasjoner. For at sansene våre skal være i stand til å oppfatte svingningene, må de ligge på et intervall mellom ca. 20 – 20000 ganger i sekundet. Dette blir kalt for frekvens, som betyr antall svingninger i sekunder, og måles i hertz (Hz).

Det er en nødvendig forutsetning å ta hensyn til akustikk ved dimensjonering av bygg. Uønsket lyd og vibrasjoner skal på best mulig måte dempes til ett nivå som ikke oppleves belastende for brukeren av bygget. Med bakgrunn i dette setter TEK17 krav til lyd og vibrasjoner i bygninger. Kravet tilfredsstilles ved å oppfylle klasse C. De relevante lydkravene for blokk B vil være gitt i *tabell 6-7*. Disse tar for seg krav til etasjeskillere med tanke på luftlydisolasjon og trinnlydnivå.

LYDKRAV	
	For å tilfredsstille Klasse C
Luftlydisolasjon 1. etasje	> 60 dB
Luftlydisolasjon 2. – 6. etasje	> 55 dB
Trinnlydnivå 1. etasje	< 48 dB
Trinnlydnivå 2. – 6. etasje	< 53 dB

Tabell 6-7, lydkrav for å tilfredsstille klasse C for luftlydisolasjon og trinnlydnivå

Massivt stedsstøpt dekke med 270 mm tykkelse vil på grunn av materialet og tykkelsen alene tilfredsstille kravet med god margin. For å kontrollere massivt stedsstøpt dekke for luftlydisolasjon, tar vi utgangspunkt i tabellen angitt fra «The engineer toolbox», gitt under.

De horisontale verdiene viser betongens masse per m^2 , mens de lottrette verdiene viser støy målt i dB. Tabellen kan fungere som ett hjelpemiddel for å bestå lydkravene.



Figur 6-6 antall dB som lar seg stoppe av en andel betong basert på kg/m^2 [54]

For Bubbledeck er det gitt egne verdier på leverandørens nettsider.

LYD	
Tykkelse dekke	Lydreduksjonstill R_w
230 mm	55 dB
280 mm	57 dB
340 mm	59 dB

Tabell 6-8, lydinformasjon for gitte bubbledecktykkelser

For at bubbledecket skal oppfylle kravene kan det eventuelt støypes ekstra, eller benytte andre løsninger. Kostnadene for eventuelle tiltak for bubbledecket for å tilfredsstille kravene til lyd i TEK17, er ikke tatt med i priskalkylene på grunn av at tiltakene vil bli minimale sett fra et økonomisk perspektiv.

6.3.2 Brann

I TEK17 §11 stilles det generelle krav til sikkerhet ved brann. Det finnes fire brannklasser for bygninger, som er stilt ut ifra hvor store konsekvenser en eventuell brann vil være.

Til grunn for valget ligger det hvor stor skade det kan gjøre for «liv, helse, samfunnsmessige interessert og miljøet [40]». Ved bestemmelse av brannklasse for blokk B skal det tas hensyn til at bygget skal benyttes som leiligheter og at det dermed brukes til overnatting. Antall etasjer skal også tas hensyn til. Det kan derfor være skade for både liv og helse. Blokk B er i tillegg plassert imellom de andre leilighetene i Lerum Brygge; blokk A og blokk C, i tillegg til bebyggelse vest for bygget. Det er derfor fare for spredning. Samfunnsmessige interesser og miljøet bør dermed også vurderes.

Brannklasse	Konsekvens
1	Liten
2	Middels
3	Stor
4	Særlig stor

Figur 6-7 vurdering av brannklasse

For vegger gjelder 520.322 fra Byggforskserien. Tabell 62 tar for seg brannmotstanden for de ikke-bærende veggene. For å oppnå maksimum brannmotstand, EI 240, må veggen være minst 175 mm. Siden samtlige ikke-bærende vegger er 200 mm vil kravet for EI 240 være oppnådd, og veggene vil derfor tåle brannkrav i 240 minutter, det vil si 4 timer.

Brannmotstand	Minste veggtykkelse (mm)
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

Figur 6-8 bestemmelse av brannmotsatnd

Krav til brannmotstand for dekker er satt i 520.321. Stedsstøpt dekke er gitt i tabell 62, mens bubbledeck vil gå under tabell 63; betongdekker understøttet av søyler. Begge dekkene vil klassifiseres med brannmotstand REI 240.

For stål avhenger den kritiske temperaturen av stålets kapasitetsutnyttelse. Allerede ved en temperatur på 500 grader celsius vil stålet ha mistet 50 % av sin fasthet [41]. For ubeskyttede stålkonstruksjoner kan brannmotstanden ikke oppnås noe høyere enn mellom 10 og 15 minutter [42]. Det velges for stålsøylene å brannbeskytte med Conlite 300, tykkelse 20 mm. Conlite består av ubrennbare plater som bidrar med å senke oppvarmingen av materialet ved en eventuell brann [43]. Kostnadene for å brannisolere er høye, og inkluderes derfor i priskalkyler.

7 Sammenligning

7.1 Økonomi

De to kalkylene vises prisene for de ulike dekketyper, bæring av stål, fundamentering og betongvegger. Ekstra kostnader knyttet til bæring med vegger og fundamentering er lagt til i priskalkyle for løsning med stedstøpt dekke. Ved å sammenligne de to løsningene presenteres bubbledekket som den rimeligste løsningen. Kalkylene viser at løsning med bubbledekk reduserer kostnader til bygget med 1 933 017 kr sammenlignet med løsning for stedstøpt dekke, se *figur 7-1* og *figur 7-2*

Postnummer	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Postsum	Delsum
1	Bæring Stålsøyler. RHS 60 x 60 x 5	kg	254.4	60	15264	
2	Bæring Stålsøyler. RHS 100 x 50 x 5	kg	729.7	55	40133.5	
3	Bæring Stålsøyler. RHS 100 x 100 x 4	kg	200.2	50	10010	
4	Bæring Stålsøyler. RHS 100 x 100 x 6.3	kg	345.7	50	17285	
5	Bæring Stålsøyler. RHS 150 x 100 x 5	kg	446.9	45	20110.5	
6	Bæring Stålsøyler. RHS 250 x 150 x 6.3	kg	881.4	35	30849	
7	Bæring Stålsøyler. RHS 250 x 150 x 12.5	kg	1782.3	30	53469	
8	Bæring Stålbjelker. UPE 300	kg	5272.9	28	147641.2	
9	Bæring Stålbjelker. DELTA 30-300	meter	132.8	4800	637440	
10	Brannisolering stål- Conlite 300. Tykkelse 20mm	m2	160	500	80000	
						kr 1,052,202.20
12	Pæler 345x345 x 30 meter	Antall	19	50000	950000	
						kr 950,000.00
13	Forskaling betongvegger. (Brutto masser). Areal vegger x2	m2	1602	450	720900	
14	Betong i vegger. (Brutto masser). Areal vegg x 0,20m	m3	160.2	2400	384480	
15	Armering i vegger	kg	14418	21	302778	
						kr 1,408,158.00
16	Forskale betongdekker	m2	4944	550	2719200	
17	Betong i dekket/Støp. Areal x 0,27m	m3	1334	2300	3068200	
18	Armering betongdekket. Antatt 130 kg/m3 betong.	kg	173420	22	3815240	
19	Stålglatting	m2	4944	100	494400	
						kr 10,097,040.00
					Sum	kr 13,507,400.20

Figur 7-1, priskalkyle for stedstøpt dekke

Postnummer	Beskrivelse	Enhet	Mengde	Enhetspris	Postsum	Delsum
1	Bæring Stålsøyler. RHS 70 x 5	kg	224.6	60	13476	
2	Bæring Stålsøyler. RHS 80 x 8	kg	939.8	55	51689	
3	Bæring Stålsøyler. RHS 120 x 5	kg	787.5	50	39375	
4	Bæring Stålsøyler. RHS 140 x 8	kg	4917	45	221265	
5	Bæring Stålsøyler. RHS 180 x 8	kg	1411	35	49385	
6	Bæring Stålsøyler. RHS 200 x 10	kg	1121.7	30	33651	
7	Bæring Stålsøyler. RHS 250 x 10	kg	472.8	28	13238.4	
8	Brannisolering stål- Conlite 300. Tykkelse 20mm	m2	182	400	72800	
						kr 494,879.40
9	Bubbledekk. T = 250mm.	m2	4944	2241	11079504	
						kr 11,079,504.00
					Sum	kr 11,574,383.40

Figur 7-2, priskalkyle for bubbledekk

7.2 Miljø

Utslippene i de to løsningene bestemmes basert på hvor mye total sement som benyttes. Det tas utgangspunkt i at det er 750 kg med CO²-utslipp per 1000 kg sement som blir produsert [55], som er presentert i kapittel 2 for betong. Mengde stål som vil være benyttet i konstruksjonen vil for de løsningene være så like at det neglisjeres i miljødelen, vist i *tabell 6-5 og tabell 6-6*. Videre vil antallet betong både for stedsstøpt og bubbledeck bli presentert og sammenlignet.

	Betong [m ³]	Sement [kg]	Utslipp CO ² [kg]
Volum bobler	301.9	96608	72456
Dekke høyde	98.9	31648	23736
Vegger	160.2	51264	38448
Pæler	67.8	21696	16272
SUM	628.8	201216	150912

Tabell 7-1, forskjell på antall CO²-utslipp for de to dekkeløsningene

Den totale forskjellen CO²-utslipp for de to dekkene blir på nesten totalt 151.000 kg. Til sammenligning har norske bilister ett årlig utslipp på ca. 1,6 tonn [57]. Dersom Lerum brygge blokk B istedenfor hadde inneholdt bubbledeck, ville de totale utslippene kunne sammenlignes med at nesten 100 norske billister hadde droppet bruk av bilen sin i 1 år.

For massiv stedsstøpt ganges antall kvadratmeter med tykkelsen på dekket. Tykkelsen under baderomskabinen blir også tatt i betraktning.

For bubbledeck blir det antatt 20 plastikkuler per m², der hver kule har en diameter på 180 mm [56]. For å finne det totale antallet med betong, trekkes det volumet plastikkulen fyller, fra i rekestykket. Under baderomskabinene vil det ikke plasseres plastikkuler, og dette området blir derfor likt som for massiv stedsstøpt dekke.

Det er viktig å nevne at bubbledekkene skal fraktes fra Bø, i Vestfold og Telemark fylke. Det vil være nødvendig med mellom 30 og 40 turer med frakt av dekkene fra Bø til Sogndal. De totale rammene for utslippsforskjellene for de to bæresystemene blir derfor noe annerledes.

8 Konklusjon

Oppgaven omhandler å finne en alternativ dekketype for blokk B i boligprosjektet Lerum Brygge. Målet var at valgt dekke skulle bli billigere enn den opprinnelige løsningen. Dekkeløsningene ble også sammenlignet med tanke på utslipp av CO².

Endringer av RIB-modell ble gjennomført hvor endringene er gjort etter krav til utforming fra arkitekttegningene. Dimensjonering, masseberegninger, enhetspriser og antagelser dannet grunnlaget for priskalkyler som ga det endelige svaret. Ifølge kalkylen kunne blokk B bygges 1.933.017 kr billigere ved å benytte bubbledeck med endret bæresystem og redusert fundamentering. Ettersom at det er flere faktorer som spiller inn på priskalkuleringen av en konstruksjon, ville det nok ikke vært denne eksakte summen som hadde blitt spart i praksis. Prisreduksjonen er derimot såpass høy at det kan konkluderes med at bubbledeck mest sannsynlig ville vært en mer gunstig, økonomisk løsning for blokk B.

Ved å studere delsummene i priskalkyler, viser det at bubbledeck i seg selv er ca. 1 million kr dyrere enn stedstøpt dekke. For at bubbledeck skal lønne seg, er det derfor helt nødvendig å utnytte dekkets egenskaper. Det har lavere totalvekt som reduserer mengden nødvendig bæring og fundamenter, men også egenskapene bubbledeck har som et flattdekke. Dette reduserer kostnader i form av å droppe bjelker i bæresystemet. For blokk B benyttes det deltabjelker som er en kostbar bjelkeprofil å benytte seg av. Det konkluderes videre at løsning med bubbledeck bør vurderes for prosjekter med kostbar fundamenterings- og bæresystemløsning.

Det er ikke utenkelig at det i nærmere fremtid vil komme tiltak for å redusere betongbruk ytterligere i byggebransjen. Ettersom reduksjonen på CO²-utslippene var på 151 tonn, er det også en fremtidsrettet løsning.

Kilder

- [1] Nordr. «Lerum brygge», U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.nordr.no/boliger-til-salgs/lerum-brygge/til-salgs/galleri>
- [2] P. Lindberg. «Syltetøyfabrikk kan bli boliger». 2013. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.bt.no/nyheter/okonomi/i/4b4n6/syltetoeyfabrikk-kan-bli-boliger>
- [3] Statistisk sentralbyrå, «Arealbruk i tettsteder,» 2020. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.ssb.no/statbank/table/04859/tableViewLayout1/>
- [4] O. G. Krakhellen, «Detaljreguleringsplan Lerum brygge – endring», 2019, s. 3. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sogndal.kommune.no/getfile.php/4500079.1687.znlstqlpautzjk/Saksframlegg.Lerum.Brygge.pdf>
- [5] O. G. Krakhellen, «Detaljreguleringsplan Lerum Brygge – endring», 2019, s. 6 [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sogndal.kommune.no/getfile.php/4500079.1687.znlstqlpautzjk/Saksframlegg.Lerum.Brygge.pdf>
- [6] Arkitektkontoret 4B AS, «Revisjon av detaljplan for Lerum brygge». Sogndal, Norge, 18.11.2020, s. 2. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sogndal.kommune.no/getfile.php/4777573.2665.nijnjwjsbauuu/Omtale+av+endring.pdf>
- [7] «Planbeskrivelse for Lerum brygge». Sogndal, Norge. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fsogndal.custompublish.com%2Fgetfile.php%2F4149734.1687.qt7lw7zzwijzjw%2FPlanomtale%2BLerum%2Bbrygge.pdf&psig=AOvVaw2wUSVAPhY7JYhacZ5PkUNd&ust=1621639176119000&source=images&cd=vfe&ved=0CA0QjhqxqFwoTCNCR2eyy2fACFQAAAAAdAAAAABAD>
- [8] G. Widing, «Solgte for 142 mill den første dagen», 14.07.2020. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.estatinyheter.no/solgte-for-142-mill-den-forste-dagen/266930>
- [9] Nordr, 2021. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.nordr.no/boliger-til-salgs/lerum-brygge/til-salgs/boligvelger> , Hentet 20. mai.
- [10] J. V. Thue. «dekke (bygningsteknikk)». Snl.no. [Online]. Tilgjengelig:
https://snl.no/dekke_-_bygningsteknikk
- [11] J. Revfem. «Vær tro mot ideen og strategien du har». Tu.no. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.tu.no/artikler/vaer-tro-mot-ideen-og-strategien-du-har/442113>
- [12] Fabeko. Plattendekker. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://fabeko.no/betongdekker/plattendekker/>
- [13] G. Mishra. «Bubble deck slab – types, material specification, installation, and advantages”. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://theconstructor.org/structural-engg/bubble-deck-slab-types-material-advantages/8341/>
- [14] Betong og entreprenør. «Bubbledeck». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.betong-entreprenor.no/produkter-tjenester/betong-element/bubbledeck>

- [15] Store norske leksikon. «flatdekke». 2019. [Online]. Tilgjengelig:
<https://snl.no/flatdekke?web=1&wdLOR=cB881515E-8E40-44A2-B2A7-694BB485D4D9>
- [16] G. Mishra. «Bubble deck slab – types, material specification, installation, and advantages”. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://theconstructor.org/structural-engg/bubble-deck-slab-types-material-advantages/8341/>
- [17] G. Mishra. «Bubble deck slab – types, material specification, installation, and advantages”. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://theconstructor.org/structural-engg/bubble-deck-slab-types-material-advantages/8341/>
- [18] J. Revfem. «Vær tro mot ideen og strategien du har». Tu.no. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.tu.no/artikler/vaer-tro-mot-ideen-og-strategien-du-har/442113>
- [19] Byggforskserien. “Dekker av betong – og lettbetongelementer» U.D. [Online]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/346/522881_dekker_av_betong_og_lettbetongelementer
- [20] C. R. Gagg. «Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis”. 2013. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630714000387>
- [21] C. R. Gagg. «Cement and concrete as an engineering material: An historic appraisal and case study analysis”. 2013. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630714000387>
- [22] R. M. Andrew. “Global CO2 emissions from cement production, 1928-2018”. 2019. [Online]. Tilgjengelig:
<https://essd.copernicus.org/articles/11/1675/2019/>
- [23] G. Mishra. “13 types of cement and their uses”. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://theconstructor.org/concrete/types-cement-applications/5974/>
- [24] NMRCA Publication number 2PCOC. “Concrete CO2 fact sheet”. 2008. [Online] Tilgjengelig:
https://www.greenconcrete.info/downloads/11_ConcreteCO2.pdf
- [25] Norsk betongforening. “Visste du dette om betong og miljø?” 2016, s. 4. [Online]. Tilgjengelig:
<https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf>
- [26] L. Biørnstad. “Kan vi bruke betong med god klimasamvittighet?” 2016. [Online]. Tilgjengelig:
<https://forskning.no/bygningsmaterialer-klima/kan-vi-bruke-betong-med-god-klimasamvittighet/379248>

- [27] Statens vegvesen. Vegdirektoratet. “Bærekraftige betongkonstruksjoner”. 2017. s. 12. [Online]. Tilgjengelig:
https://www.vegvesen.no/fag/fokusomrader/miljo+og+omgivelser/klima/klimagassreduksjoner-i-anlegg-og-drift/attachment/2458416?ts=16653a1f170&fast_title=B%C3%A6rekraftige+betongkonstruksjoner
- [28] Norsk stålforbund. “Miljø”. U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.stalforbund.no/miljo/>
- [29] Byggforsk. “Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner”. [Online]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staalkonstruksjoner
- [30] Strusoft., FEM-design. «FEM-design helps engineers worldwide to get full control over their structural analysis” U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://strusoft.com/products/fem-design>
- [31] Høgskulen på Vestlandet. «MAS207 Elementmetode (FEM)». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.hvl.no/studier/studieprogram/emne/mas207>
- [32] T. English. «What is finite element analysis and how does it work”? Entireesting engineering. 2019. [Online]. Tilgjengelig:
<https://interestingengineering.com/what-is-finite-element-analysis-and-how-does-it-work>
- [33] Store norske leksikon. “Node”. [Online]. Tilgjengelig:
<https://snl.no/node>
- [34] Mathcad. «PTC Mathcad Prime 7». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.mathcad.com/en/whats-new>
- [35] Probad. «Fremtidens baderom». 2021, s.10 [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.probad.no/cms-enkel/resources/dokumenter/probad-grensesnitt-mottak-og-montasje-2021.pdf>
- [36] P. Harstad. “Erfaringer med prefabrikkerte baderomsmoduler” Sintef. 2019. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.sintef.no/siste-nytt/2019/erfaringer-med-prefabrikkerte-baderomsmoduler/>
- [37] R. Ramsdal. «Måtte rive 284 prefabrikkerte bad etter at de begynte å ruste». TU.no. 2019. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.tu.no/artikler/matte-rive-284-prefabrikkerte-bad-etter-at-de-begynte-a-ruste/456172>
- [38] Probad. «Fremtidens baderom». 2021, s.16. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.probad.no/cms-enkel/resources/dokumenter/probad-grensesnitt-mottak-og-montasje-2021.pdf>

- [39] Bubbledeck Norway AS. «Lettere konstruksjon og større frihet med Bubbledeck». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://bubbledeck.no/testing>
- [40] Guttorm Liebe. Store norske leksikon. «brannklassifisering». 2020. [Online]. Tilgjengelig:
<https://snl.no/brannklassifisering>
- [41] Byggforskserien. «Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staalkonstruksjoner
- [42] Byggforskserien. «Brannbeskyttelse av stålkonstruksjoner». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
https://www.byggforsk.no/dokument/314/brannbeskyttelse_av_staalkonstruksjoner
- [43] Rockwool. «Conlit 300». U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.rockwool.no/produkter/passiv-brannsikring/conlit-300-1/?selectedCat=brosjyrer>
- [44] Eurocode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger = Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings (Norsk Standard). Oslo: Standard Norge, 2008.
- [45] Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-3: Allmenne laster. Snølaster = Eurocode 1: Action on structures. Part 1-3: General actions, Snow loads (Norsk Standard). Oslo: Standard Norge, 2008.
- [46] Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner = Eurocode: Basis of structural design (Norsk Standard). Oslo: Standard Norge, 2016.
- [47] Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner = Eurocode: design of steel structures: part 1-1 : general rules and rules for buildings: Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger (Norsk standard). Oslo: Norsk standard, 2015.
- [48] Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner. Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger = Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings (Norsk standard). Oslo: Norsk standard, 2008.
- [49] Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning. Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger = Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (Norsk standard). Oslo: Norsk standard, 2008.
- [50] A. E. Mjelva. «Forskning for et sikkert Norge: Jordskjelvsonering gir store besparelser». Norsar, U.D. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.norsar.no/i-fokus/forskning-for-et-sikkert-norge-jordskjelvsonering-gir-store-besparelser>

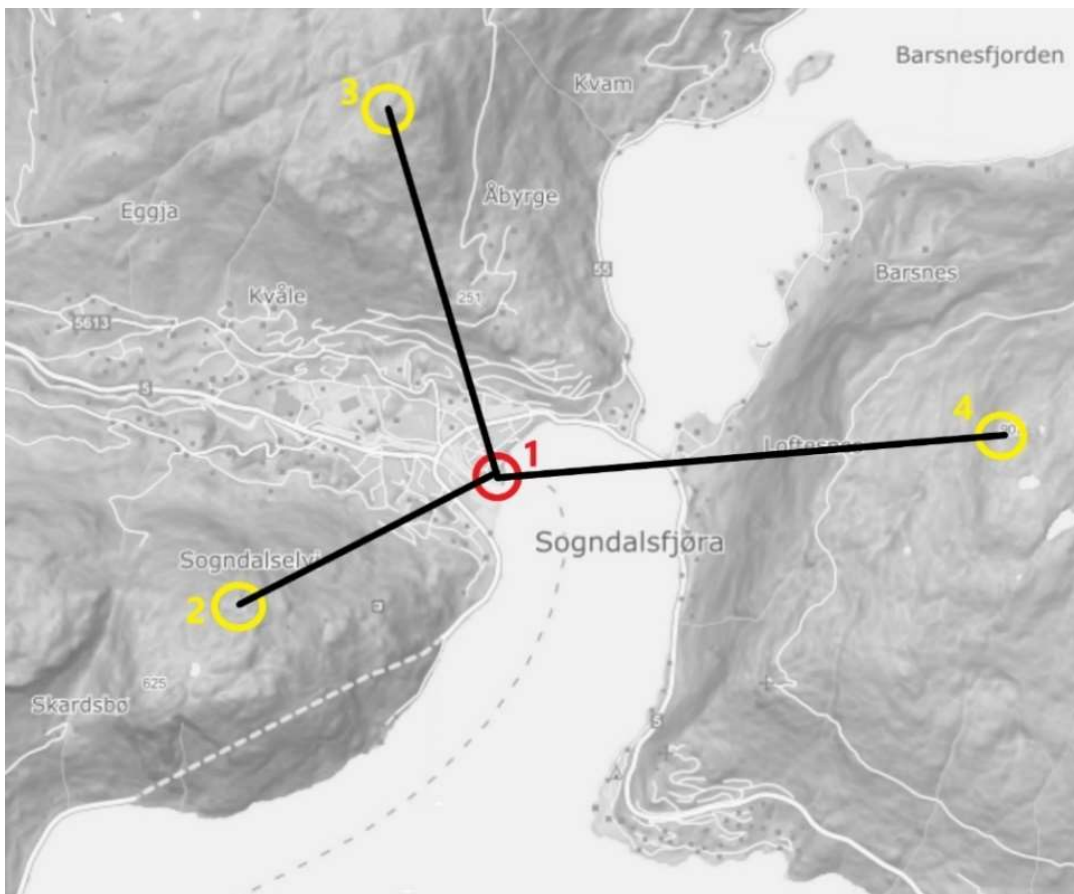
- [51] Direktoratet for byggkvalitet. «Nye jordskjervkart kan benyttes ved prosjektering». 2020.
[Online]: Tilgjengelig:
https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/nye-jordskjelvkart-kan-benytted-ved-prosjektering/?_t_id=1B2M2Y8AsgTpgAmY7PhCfg%3D%3D&_t_q=Jordskjelv&_t_tags=language%3Ano%2Csiteid%3Aa8fed669-6208-4354-8fe6-9c93cb91a133&_t_ip=128.39.12.138%3A39042&_t_hit.id=EPiServer_Templates_DIBK_PageTypes_ArticlePageType%2F_9d7f5da2-00e5-4e26-bfd6-1521c5026111_no&_t_hit.pos=1&fbclid=IwAR1kNmr9o4CRZ4S6MFLOItPdUe-7rwJkm0V8Yi0IDAepT4XqDyc9YTA7OA
- [52] Norsk stål. [Online]. Tilgjengelig:
<https://www.norskstaal.no/produktkategorier>
- [53] Peiokko group “Teknisk manual” 2015. [Online]. Tilgjengelig:
<https://d76yt12idvq5b.cloudfront.net/file/dl/i/A6-R3Q/eHQ9tP7pwk0VhwW0JNE38Q/DELTABEAMSamvirkebjelkenTekniskManual001.pdf?fbclid=IwAR2HJpbEex37jPxf9N6xw8UUq4TEWoZCJudpkbmBAtZjRxM1I752GudFGaE>
- [54] The engineering toolbox. “Sound transmission through massive walls of floors”. [Online]:
Tilgjengelig:
https://www.engineeringtoolbox.com/sound-transmission-massive-walls-d_1409.html
- [55] Norsk betongforening. “Visste du dette om betong og miljø?” s. 4. [Online]: Tilgjengelig:
<https://betong.net/wp-content/uploads/17966-Visste-du-dette-om-betong-og-milj%C3%B8-WEB.pdf>
- [56] Bubbledeck “Teknisk data”. [Online]. Tilgjengelig:
<https://bubbledeck.no/projects>
- [57] B. Helleborg. «Hvor mye drivhusgass slippes ut når vi kjører bil». 2018. [Online]: Tilgjengelig:
<https://www.om-verden.com/hvor-mye-drivhusgass-slippes-ut-na-vi-kjorer-bil/>
- [58] Eurokode 1: Laster på konstruksjoner. Del 1-4: Allmenne laster = Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions (Norsk standard). Oslo: Standard Norge, 2009

Vedlegg

Vedlegg A – Lerum Brygge.....	1
A.1 Plassering og omgivelser.....	1
A.2 Arkitekt tegninger.....	4
Vedlegg B – Massivt stedstøpt dekke.....	11
D.1 RIB Modell.....	11
D.2 RIB Plan.....	13
Vedlegg C – Bubbledeck.....	17
E.1 RIB Modell.....	17
E.2 RIB Plan.....	19
Vedlegg D – Snølast.....	23
B.1 Håndberegninger.....	23
B.2 Focus Ove Sletten lastberegninger.....	24
Vedlegg E – Vindlast.....	25
C.1 Håndberegninger.....	25
C.2 Focus Ove Sletten lastberegninger.....	37

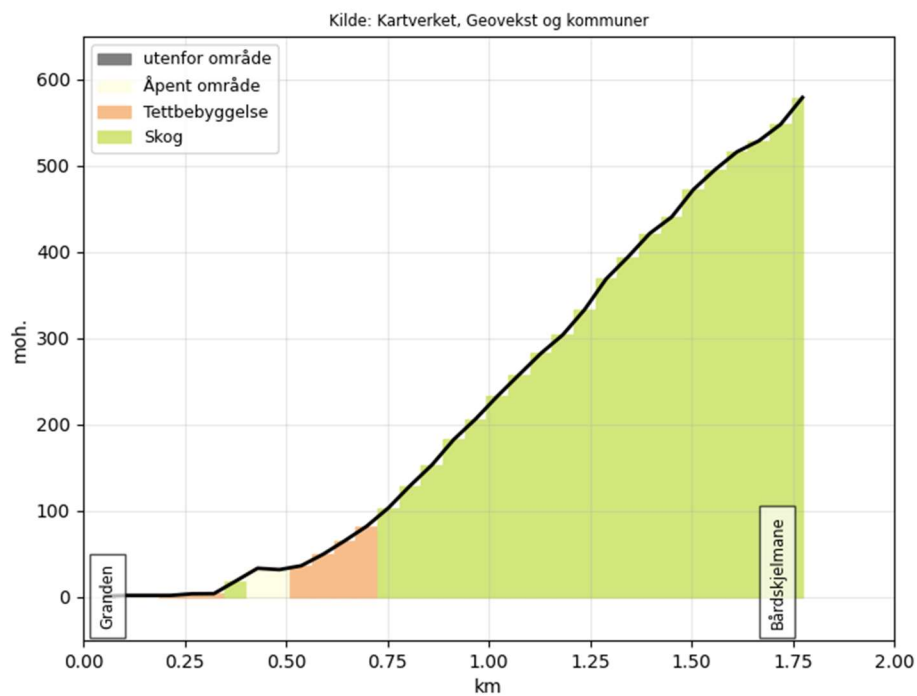
Vedlegg A – Lerum Brygge

A.1 Plassering og omgivelser

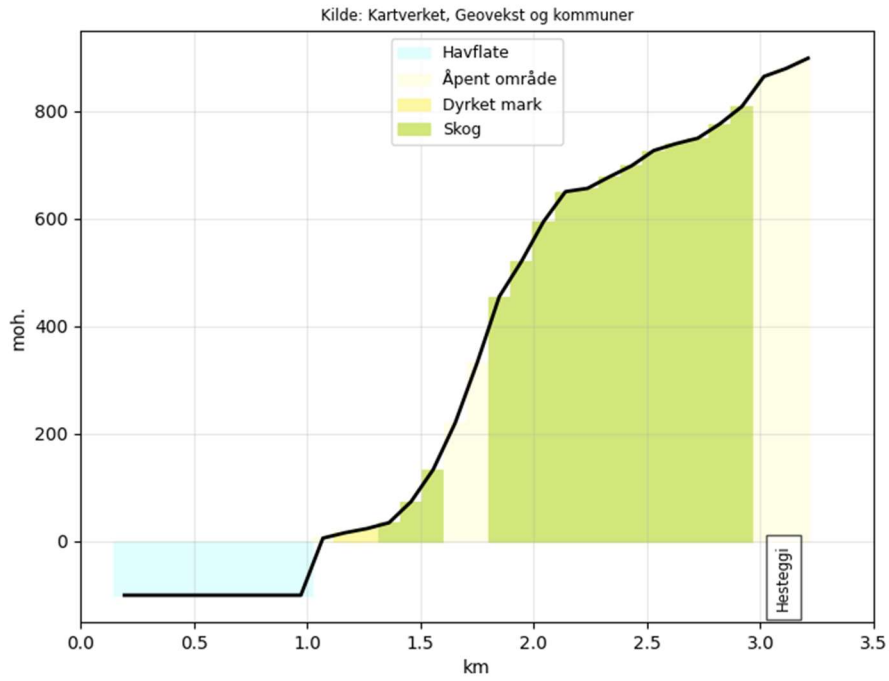


		Moh.	Lengde	Helning
1	Lerums Brygge	2 meter		
4	Hesteggi	907 meter	3200 meter	$\tan^{-1} * \left(\frac{907}{3200} \right) = 15.82^\circ$
2	Stedjåsen	590 meter	1750 meter	$\tan^{-1} * \left(\frac{590}{1750} \right) = 18.63^\circ$
3	Skjeggen	738 meter	2400 meter	$\tan^{-1} * \left(\frac{738}{2400} \right) = 17.1^\circ$
4	Hesteggi	907 meter	3200 meter	$\tan^{-1} * \left(\frac{907}{3200} \right) = 15.82^\circ$

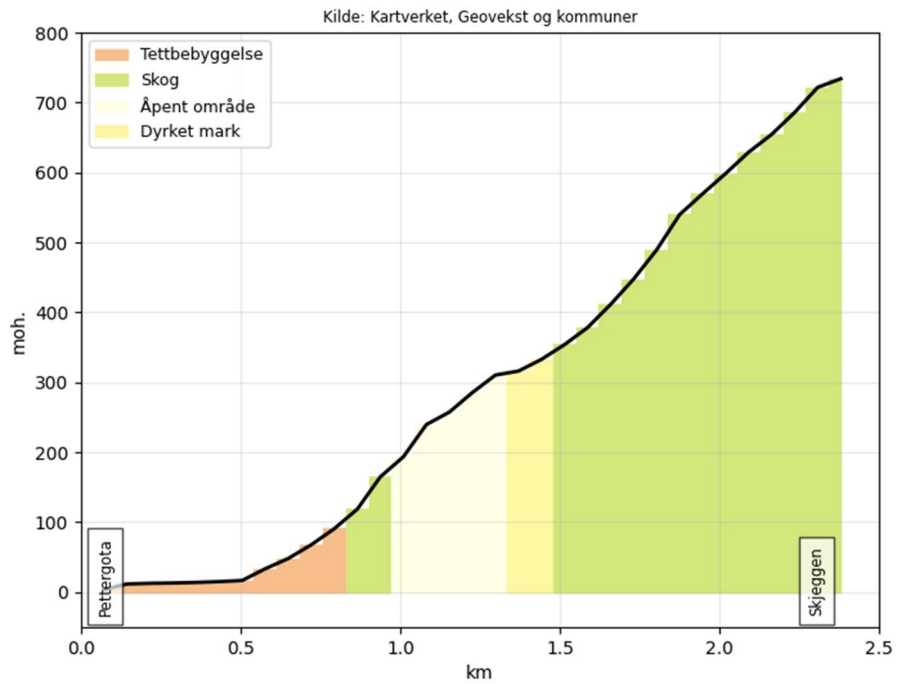
Stedjåsen



Hesteggi

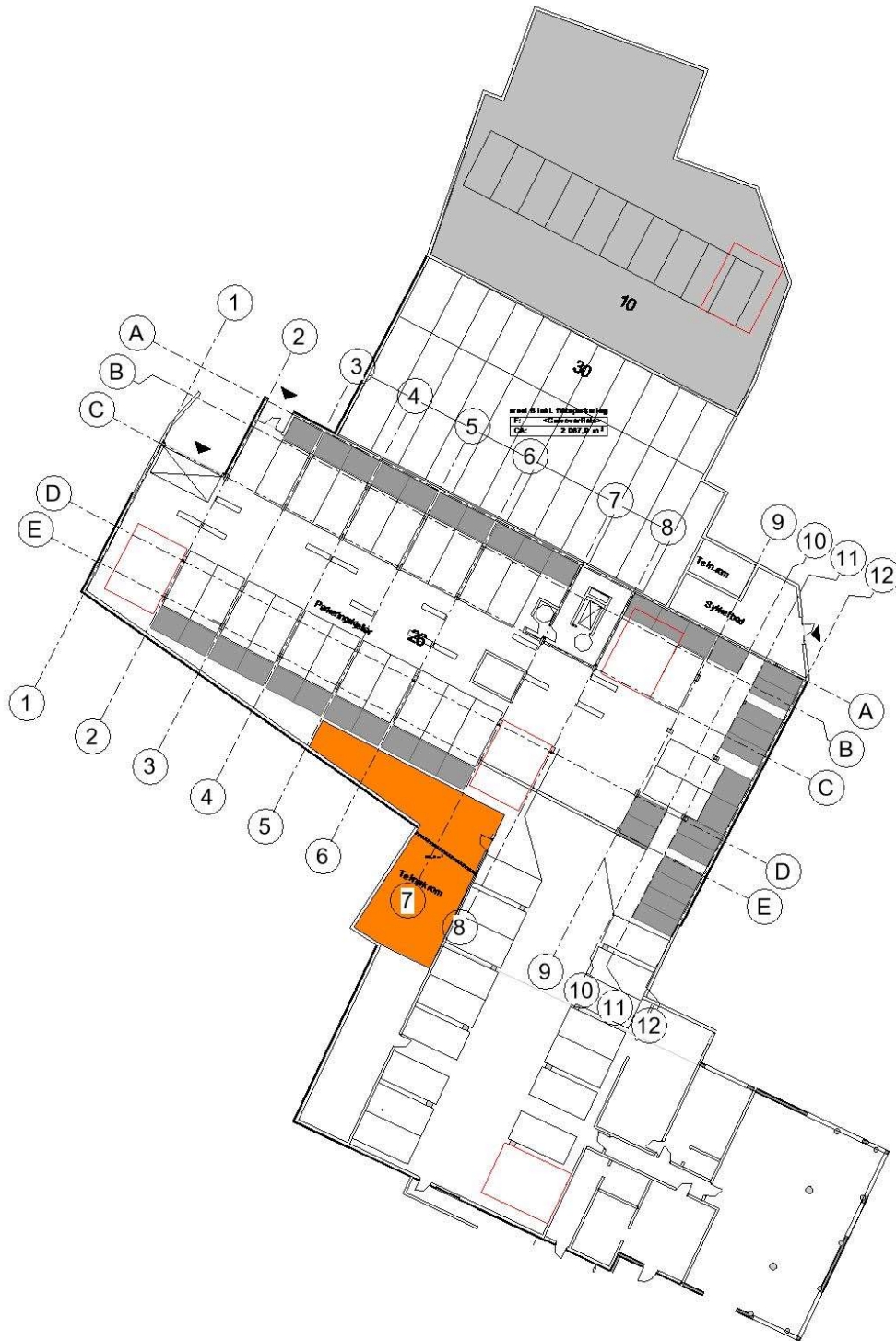


Skjeggen

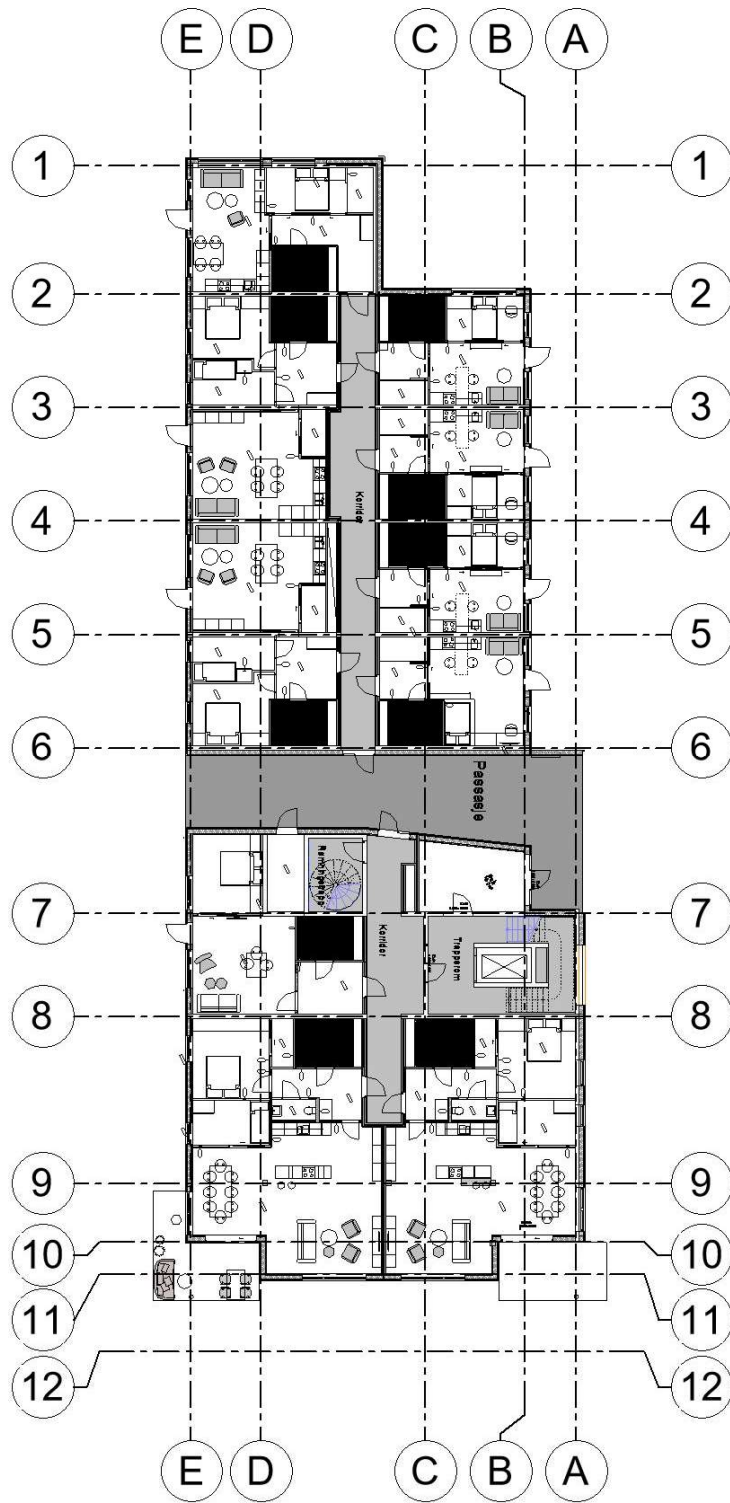


A.2 Arkitekt tegninger

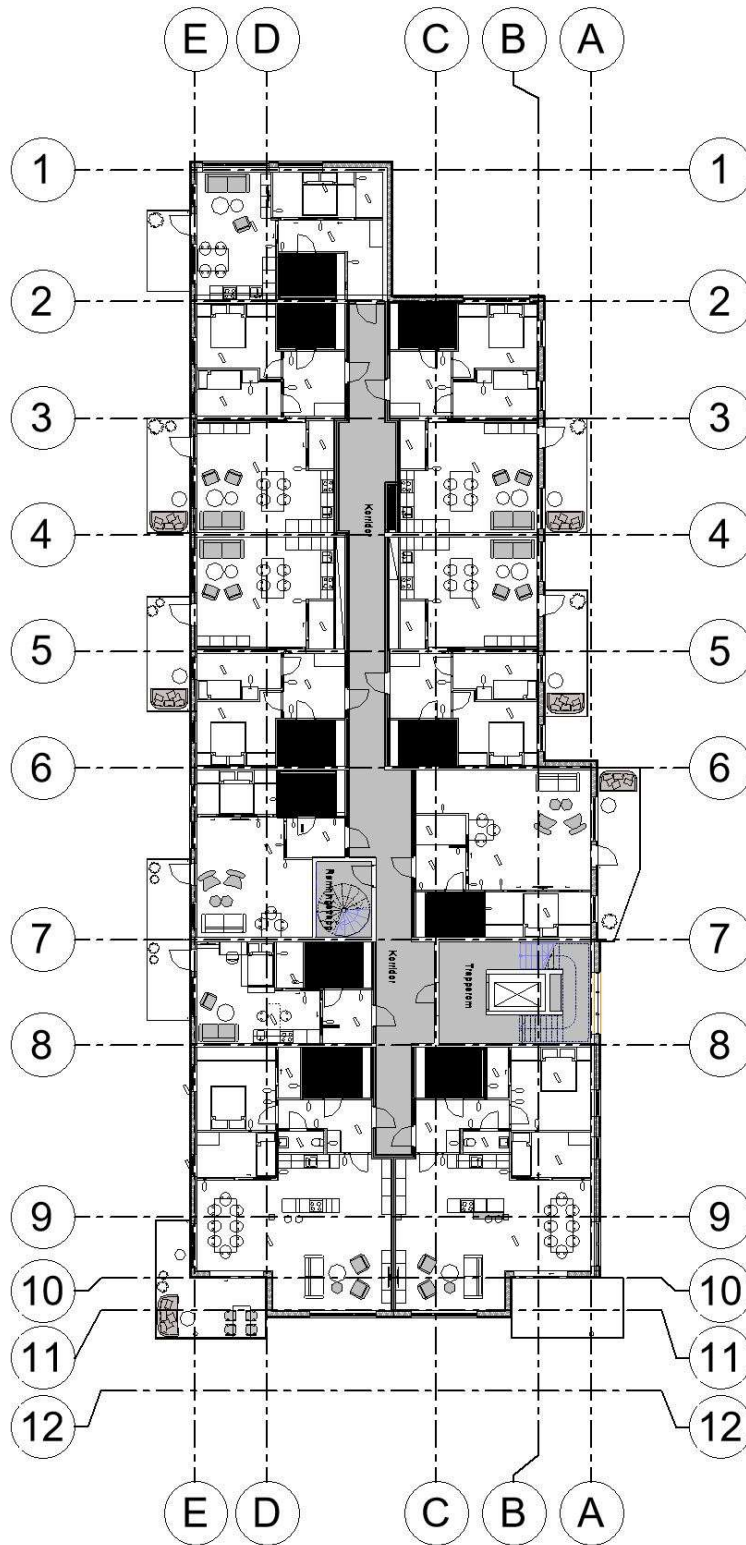
Parkeringskjeller



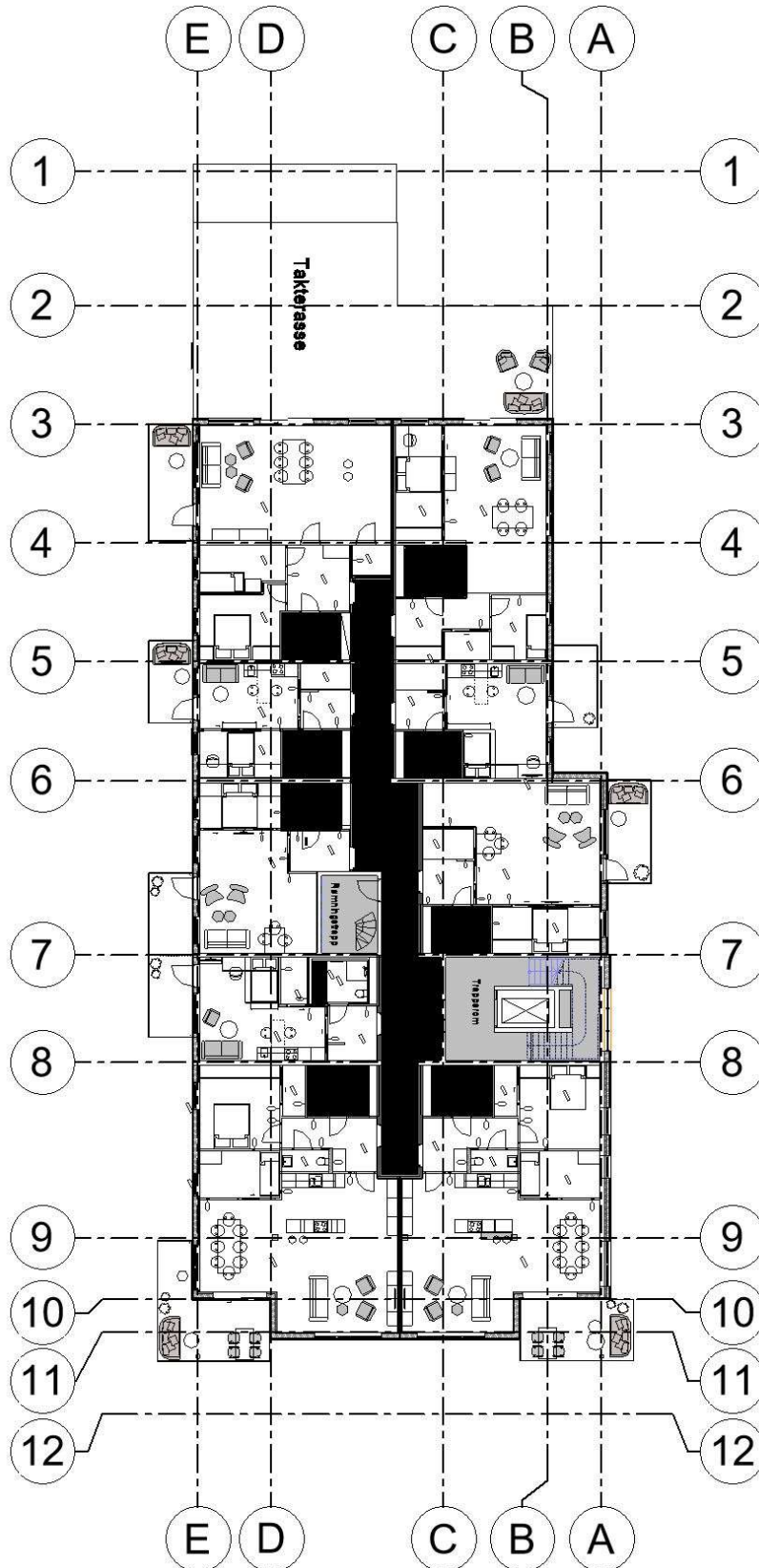
1.Etasje



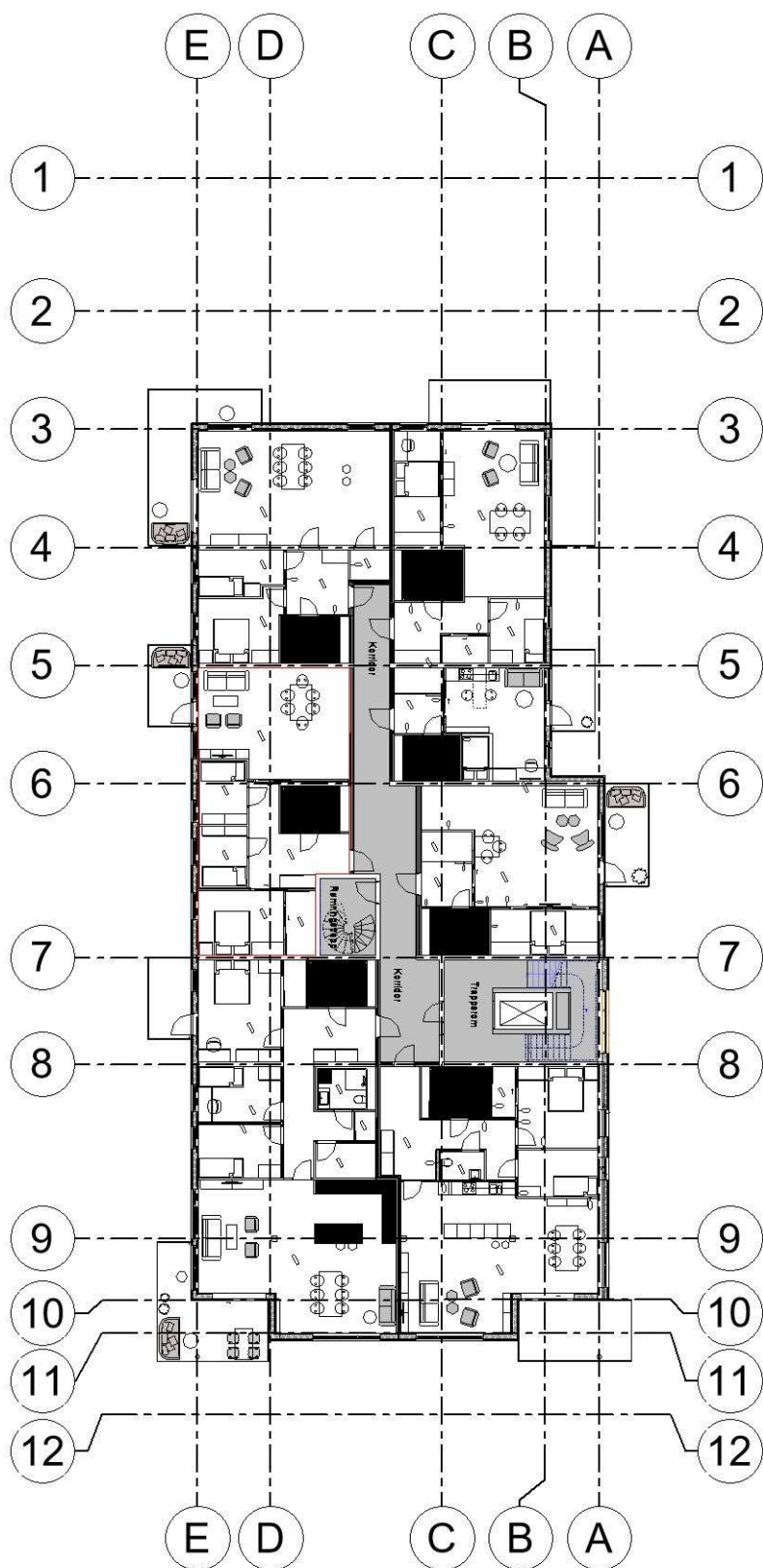
2.Etasje



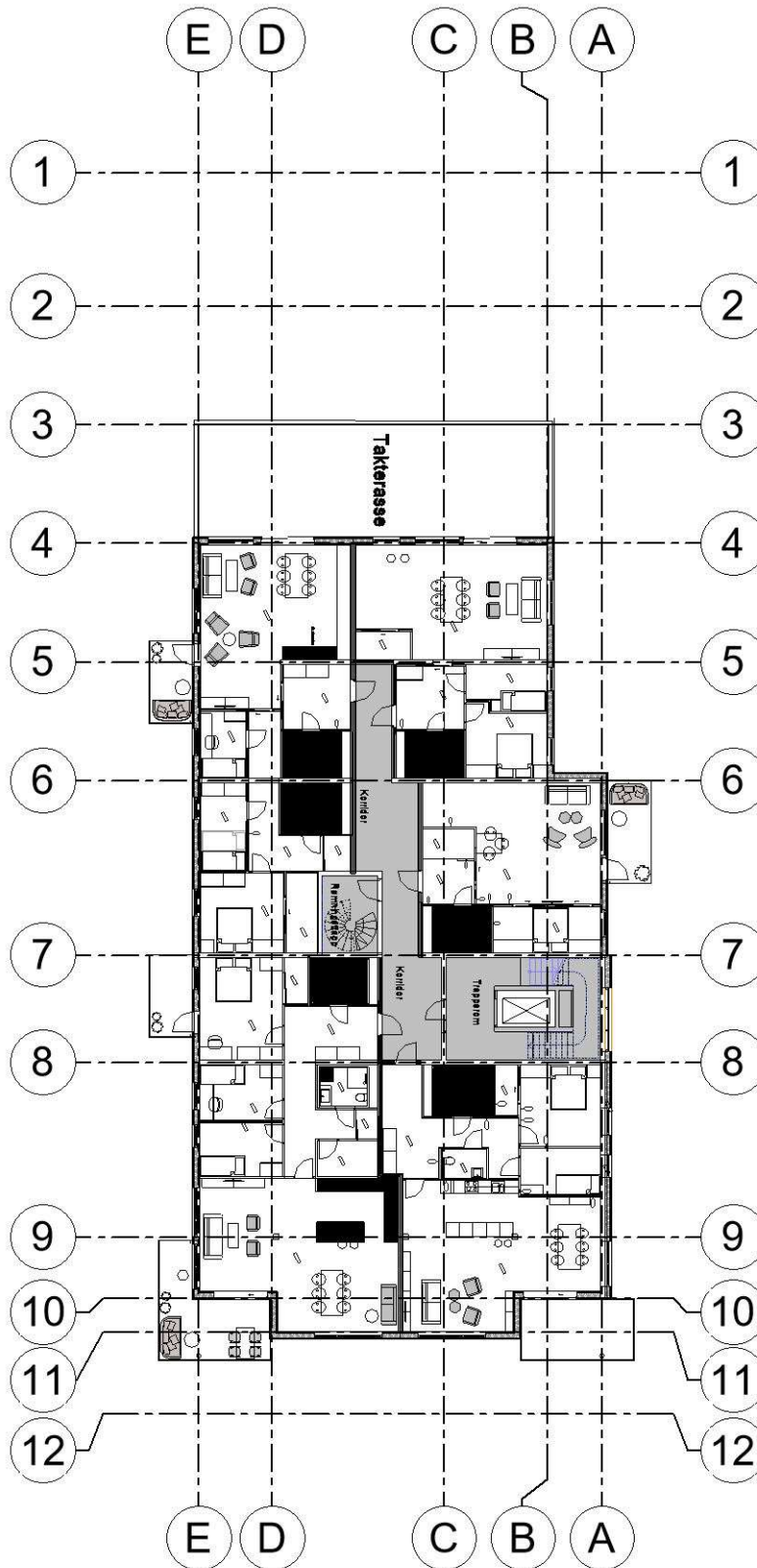
3.Etasje



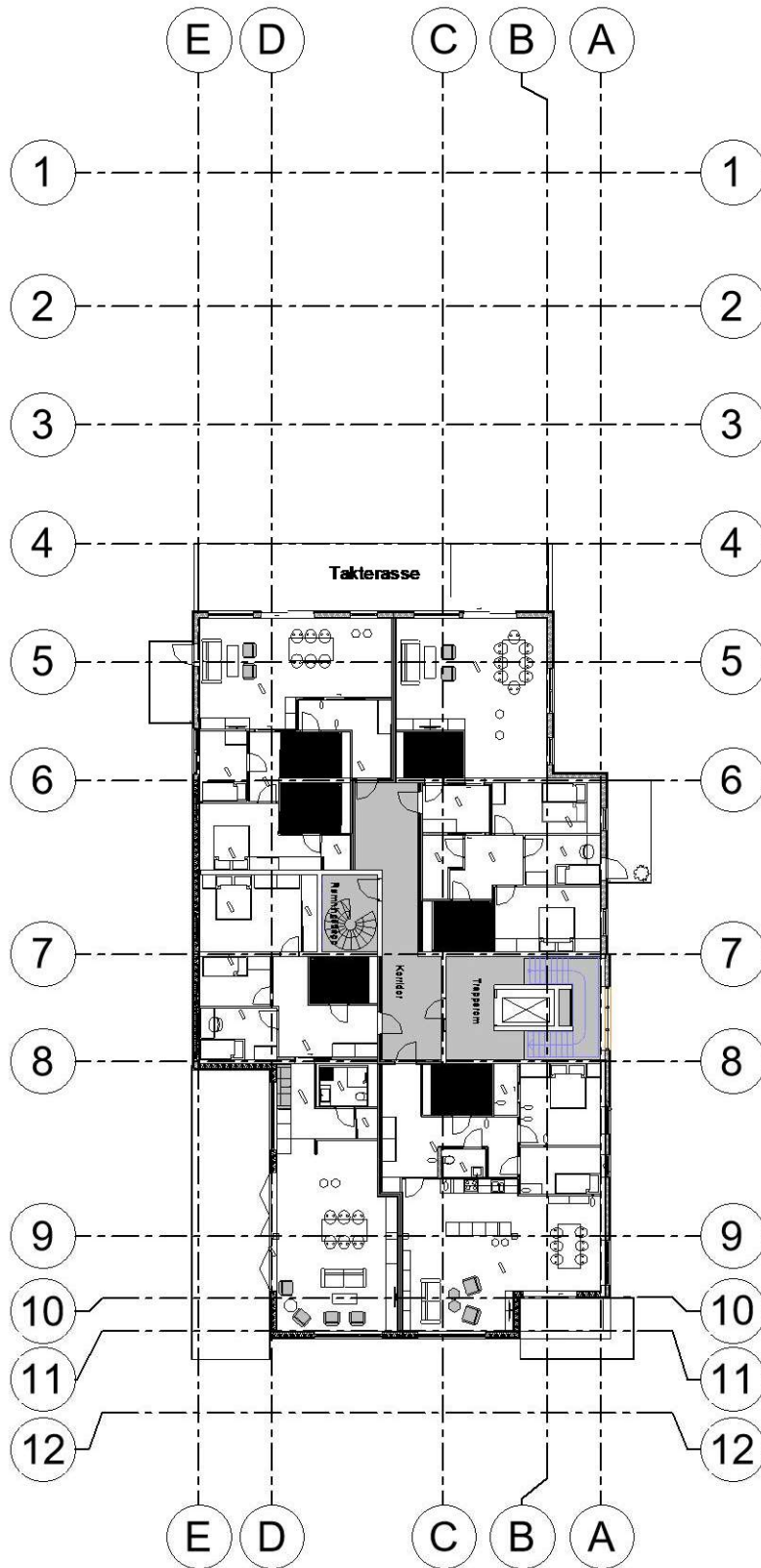
4.Etasje



5.Etasje



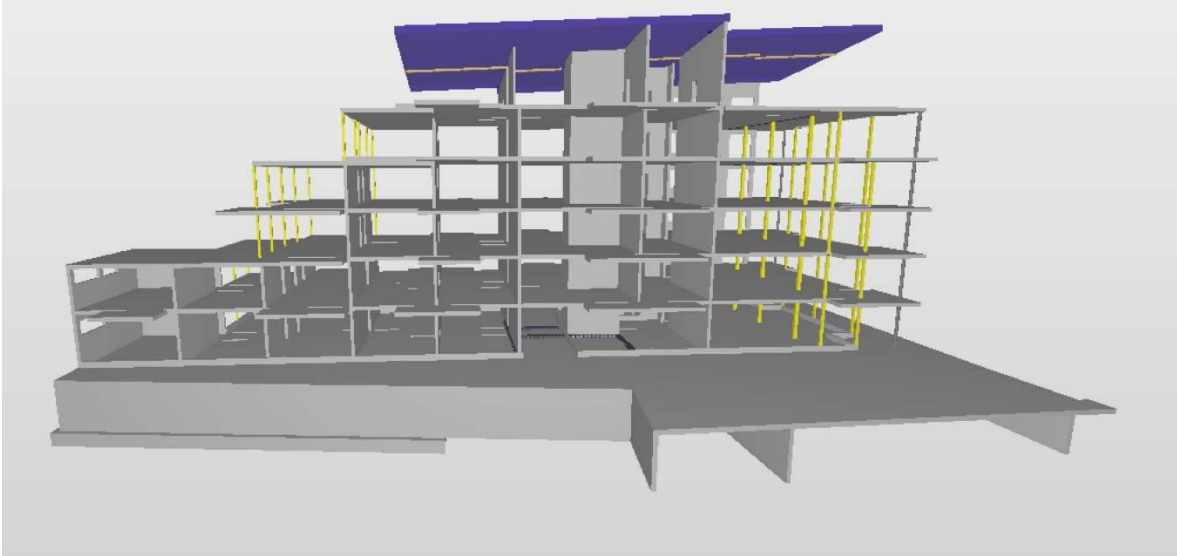
6. Etasje



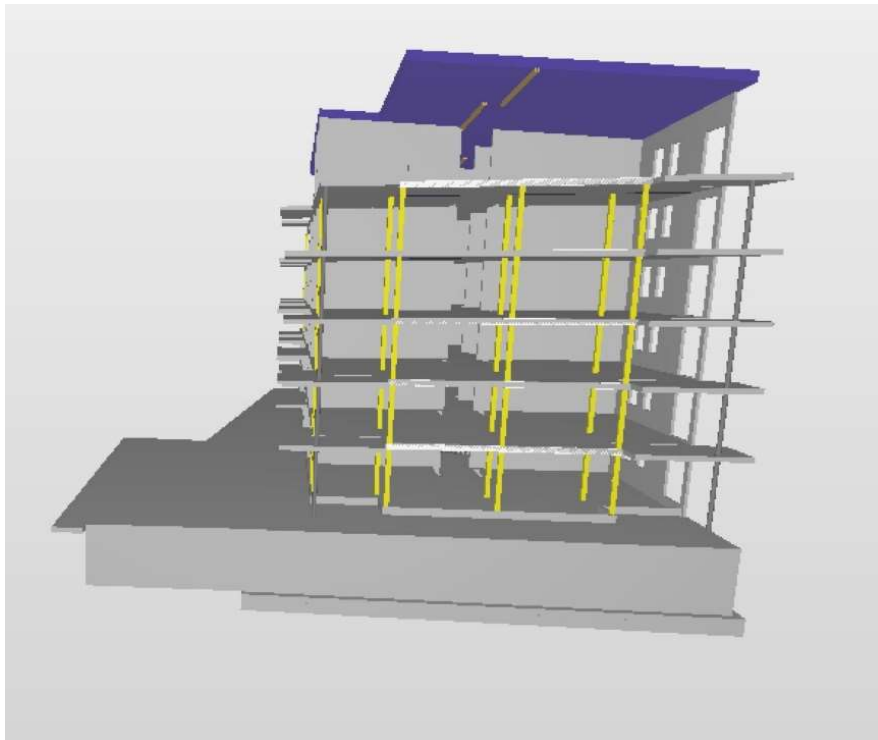
Vedlegg B – Massivt stedstøpt dekke

D.1 RIB Modell

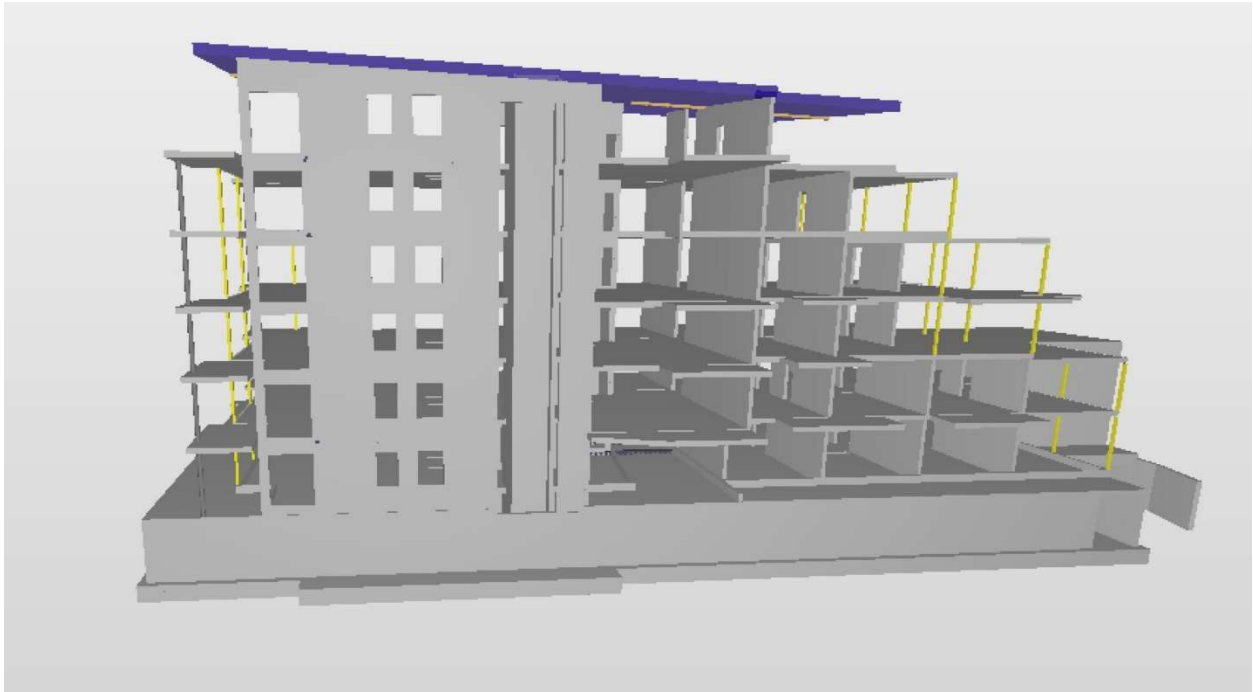
Sørvest



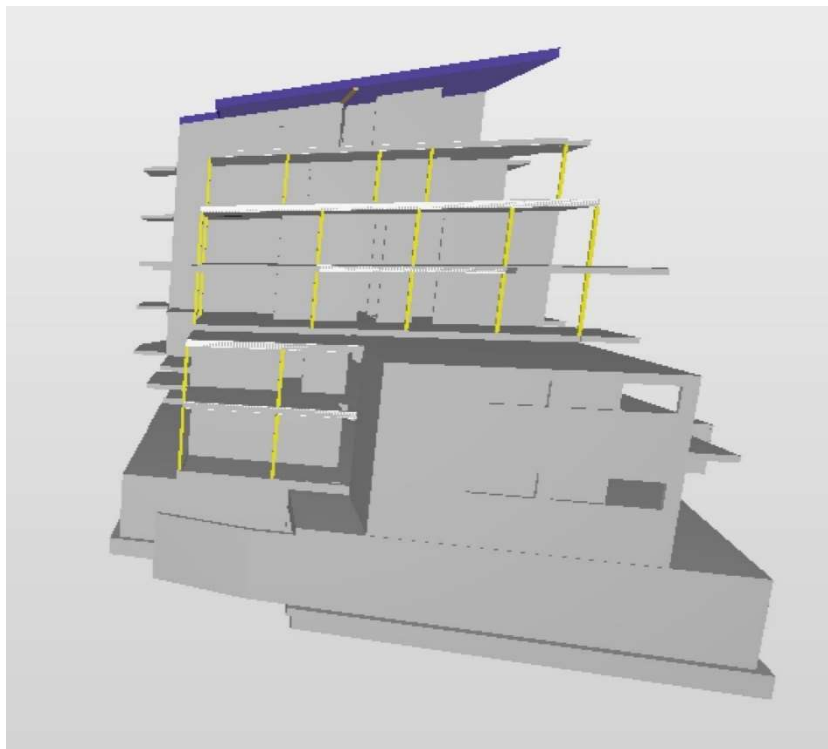
Sørøst



Nordøst

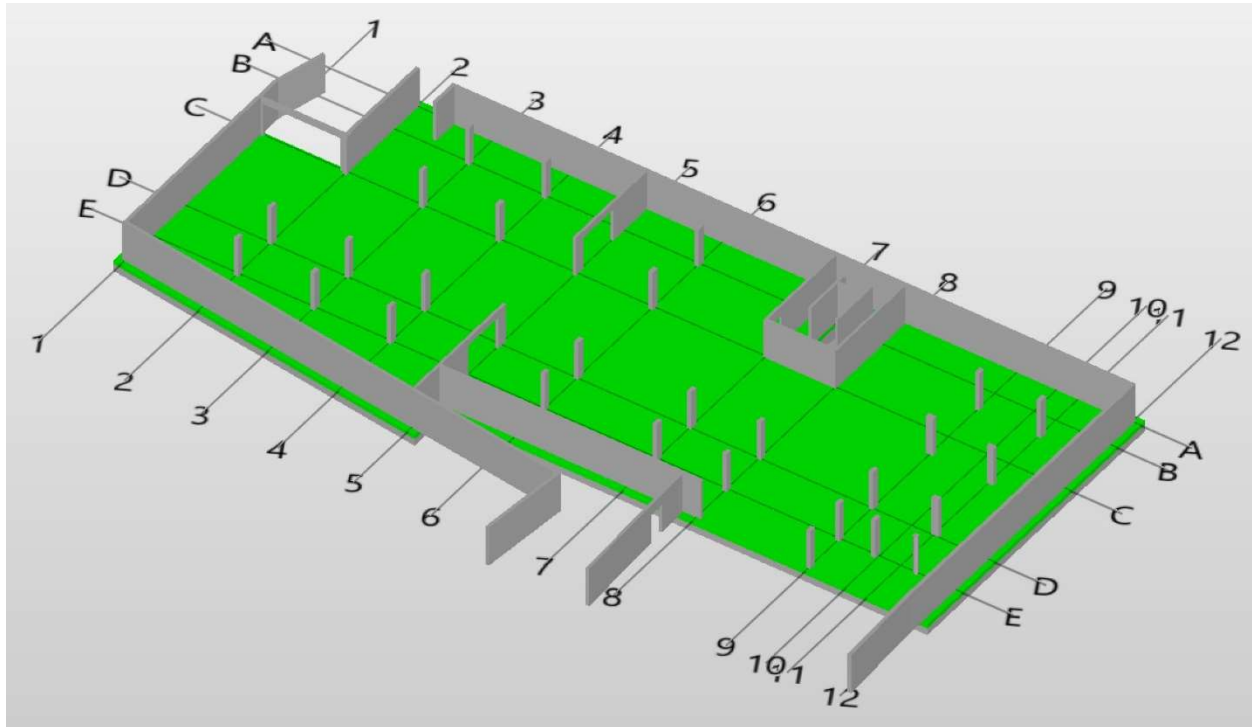


Nordvest

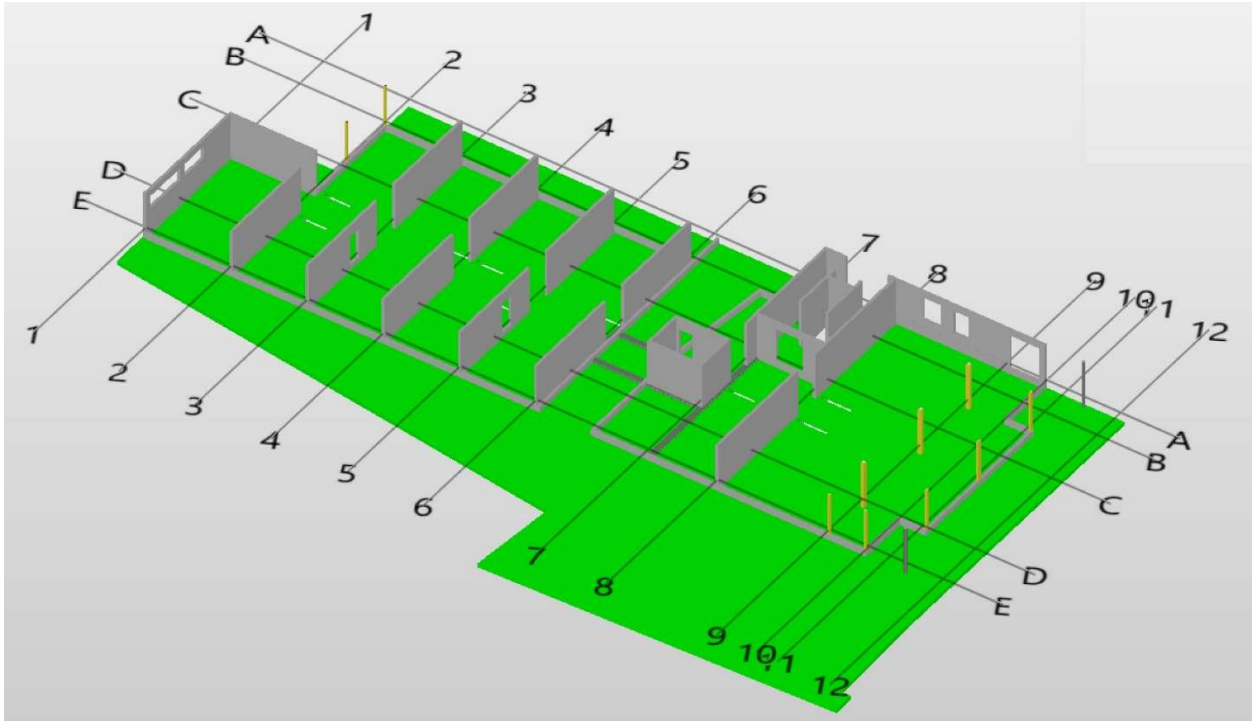


D.2 RIB Plan

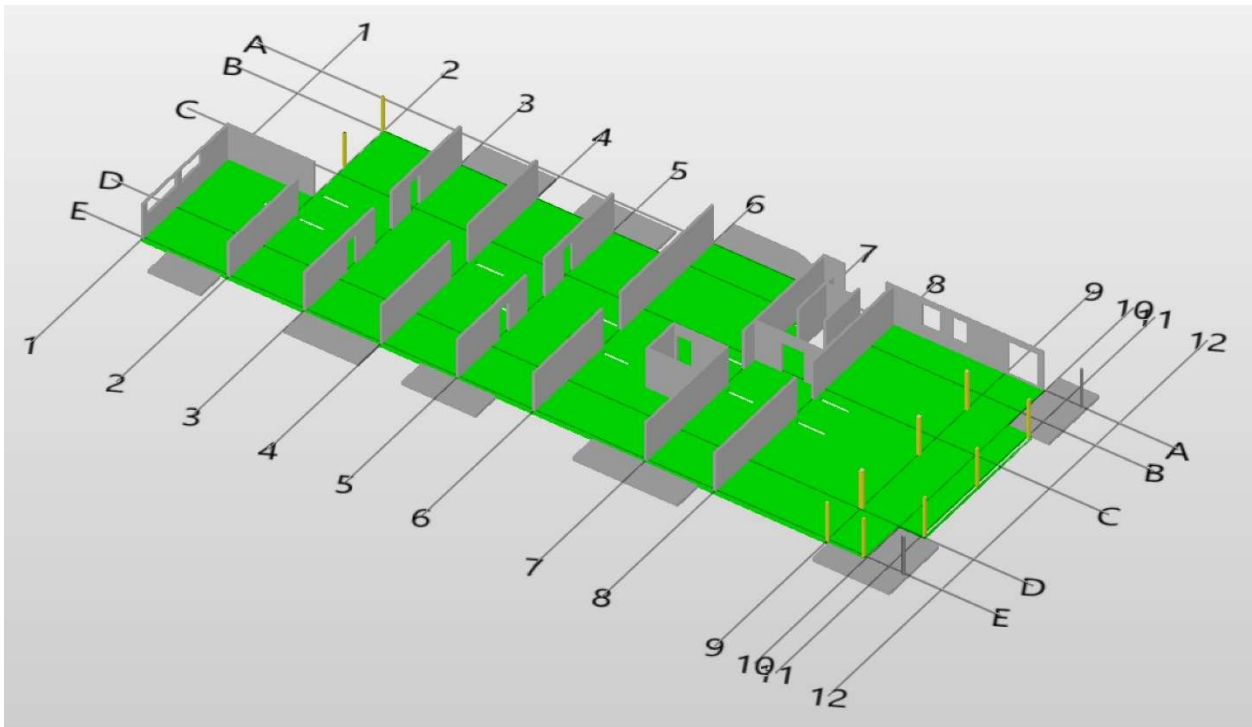
Parkeringskjeller



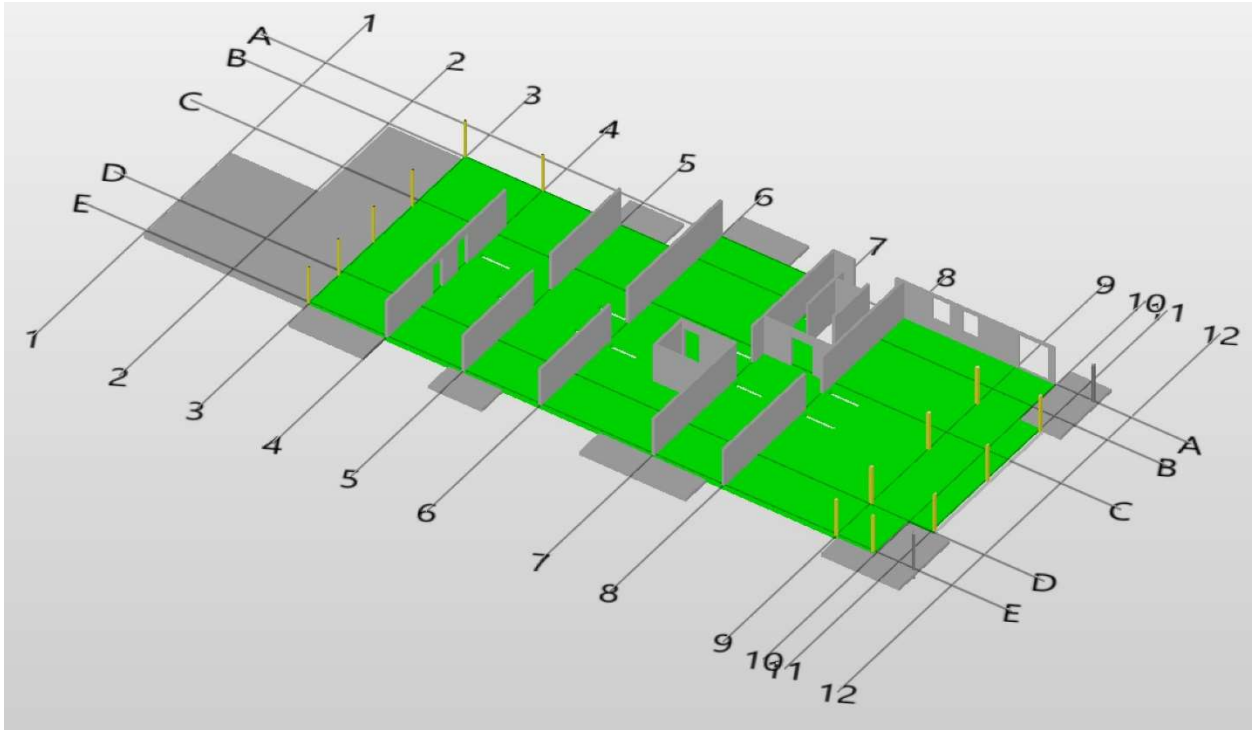
1. Etasje



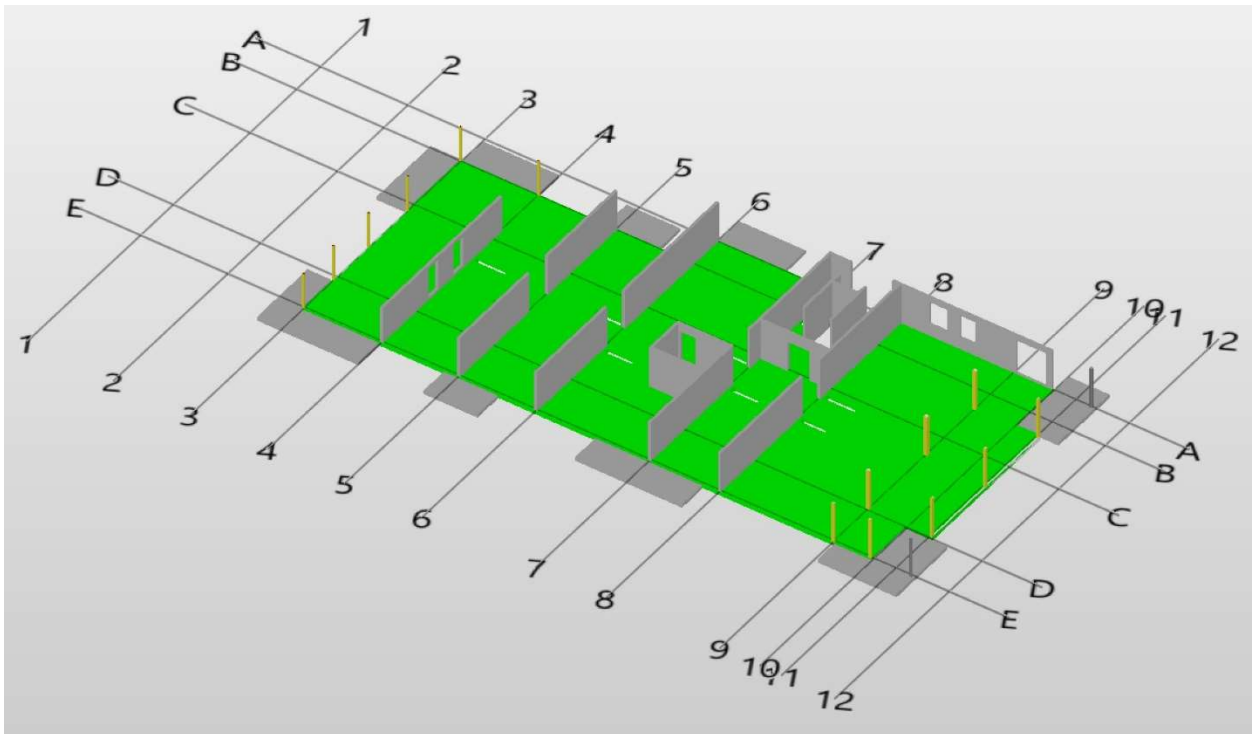
2. Etasje



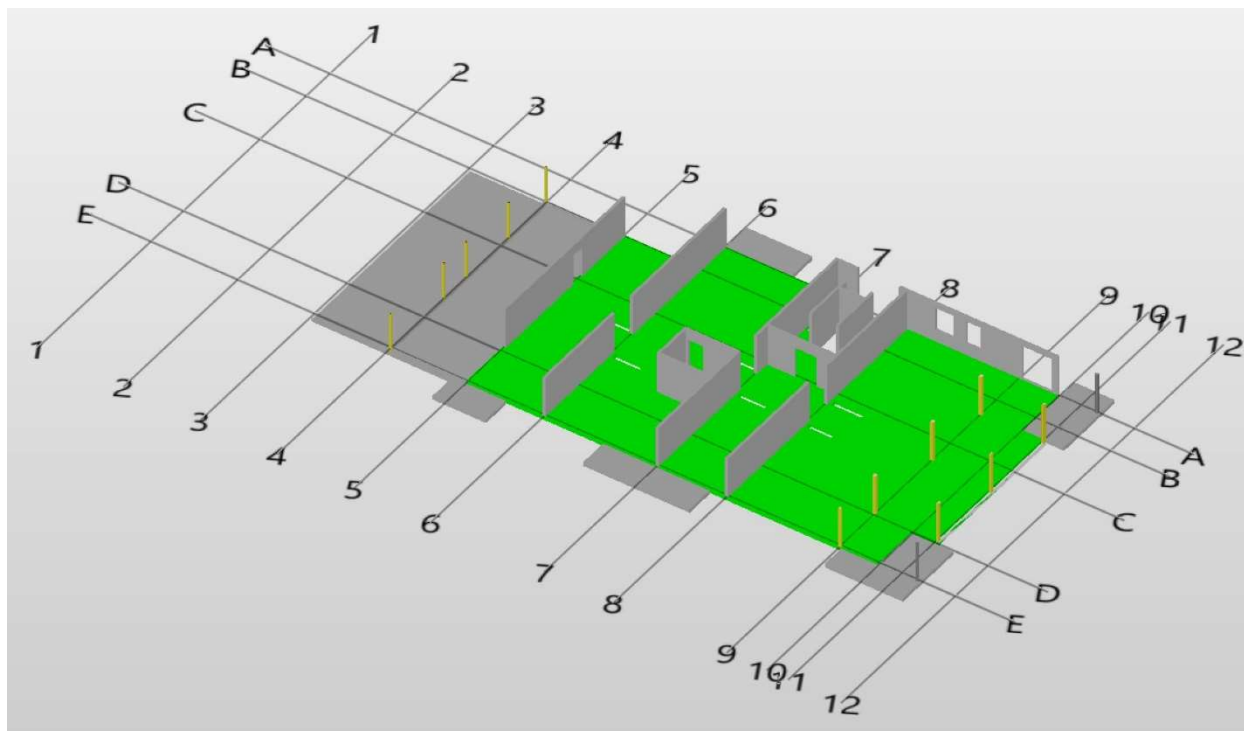
3. Etasje



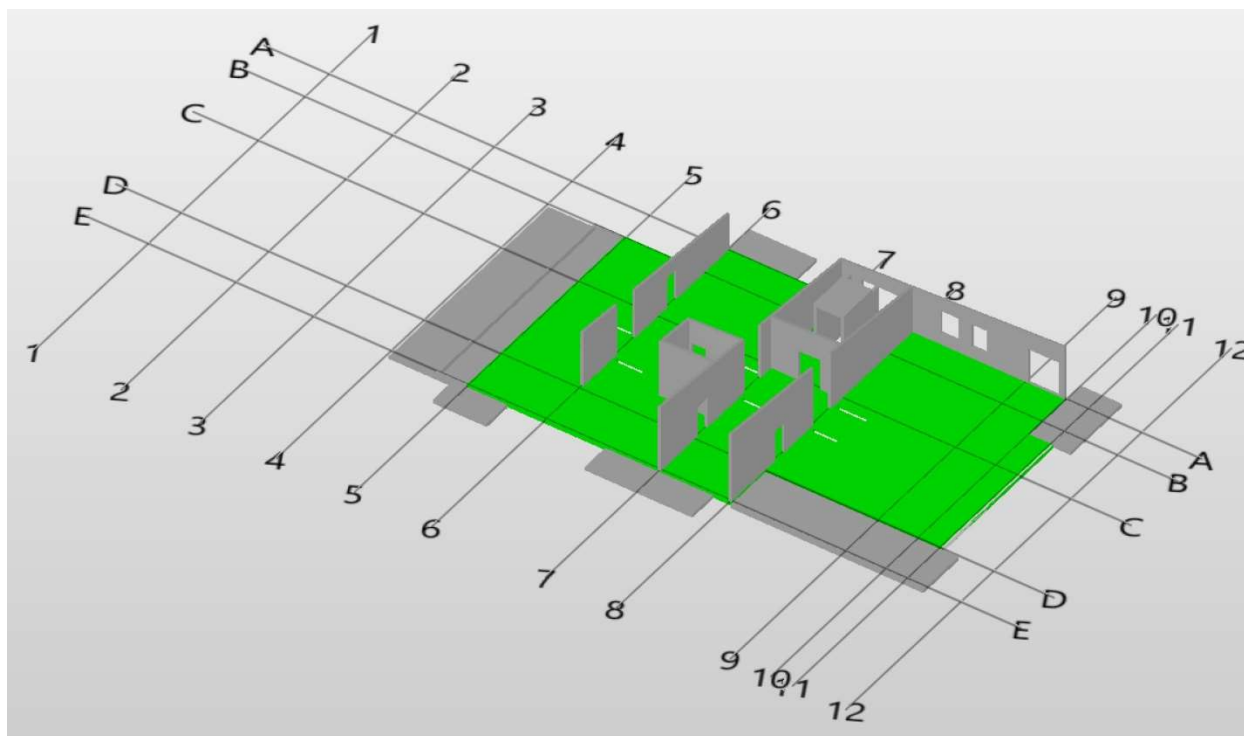
4. Etasje



5. Etasje



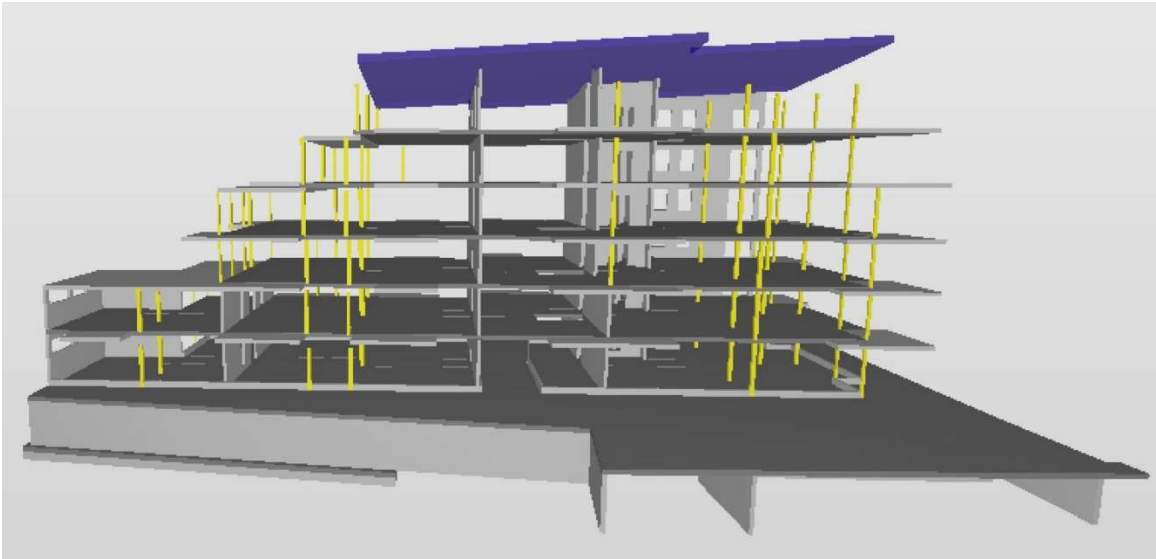
6. Etasje (mangler søyler i akse 5, 9 og 11)



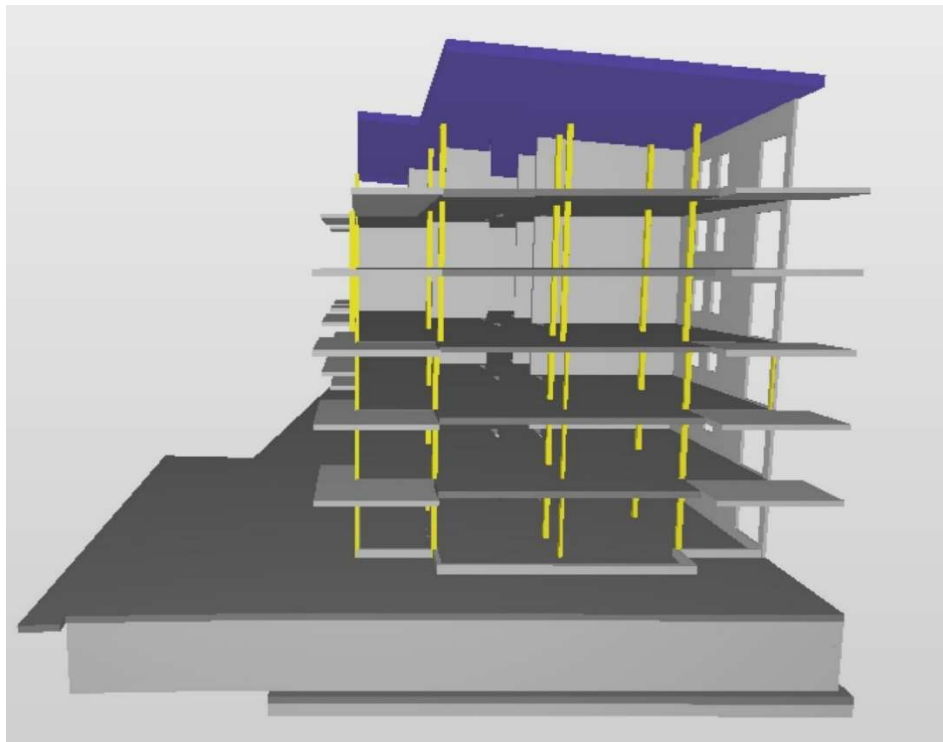
Vedlegg C – Bubbledeck

E.1 RIB Modell

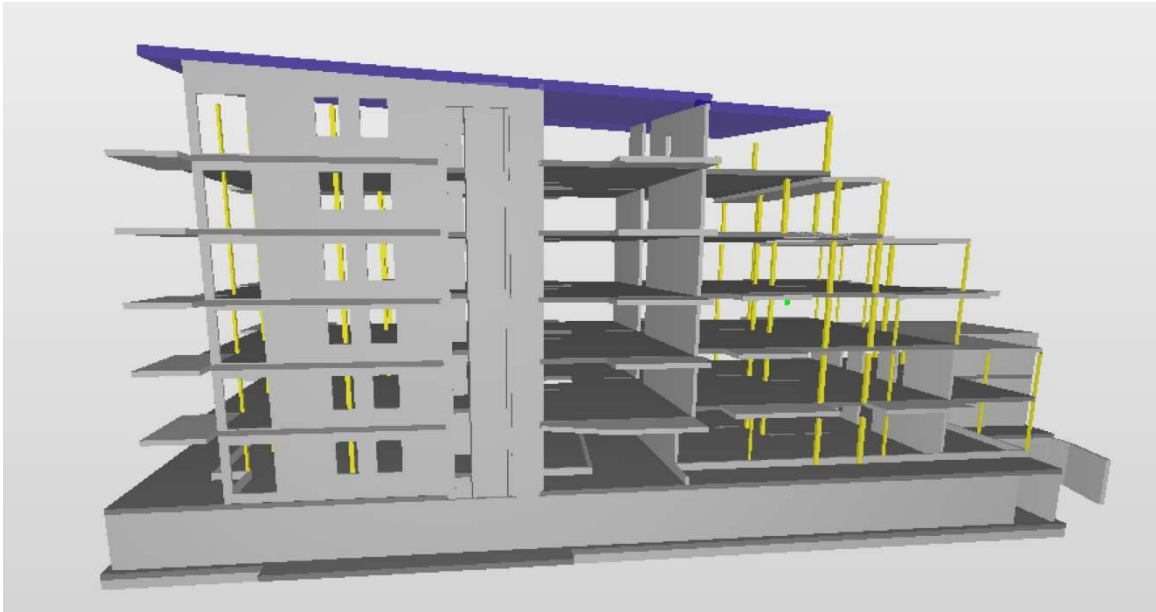
Sørvest



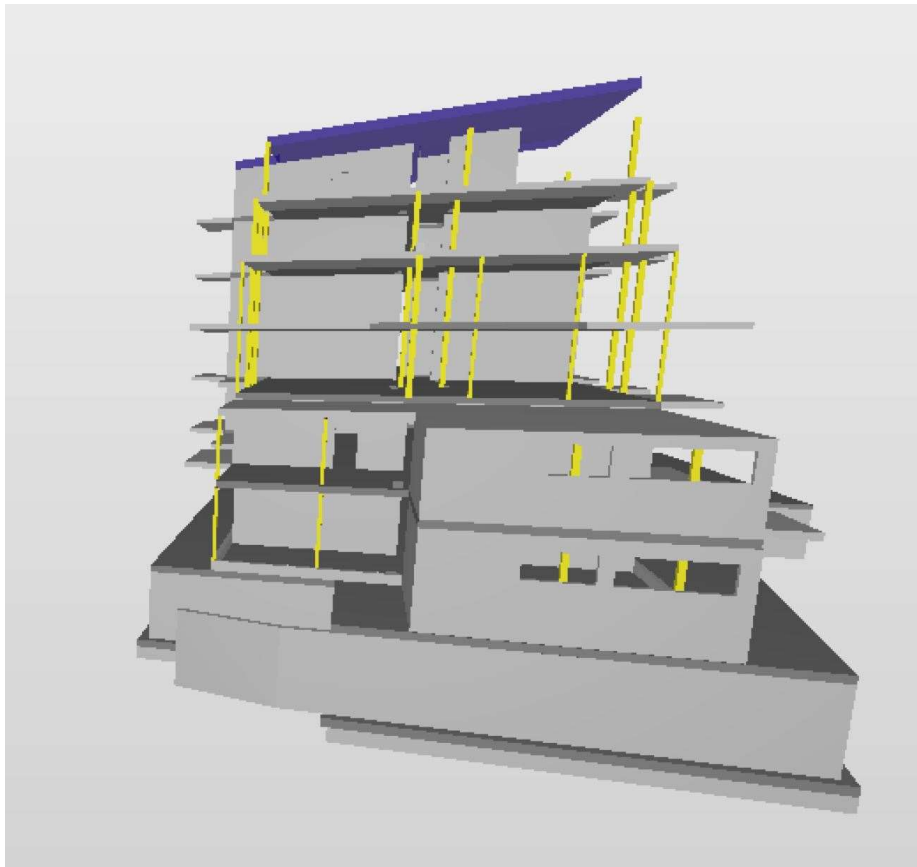
Sørøst



Nordøst

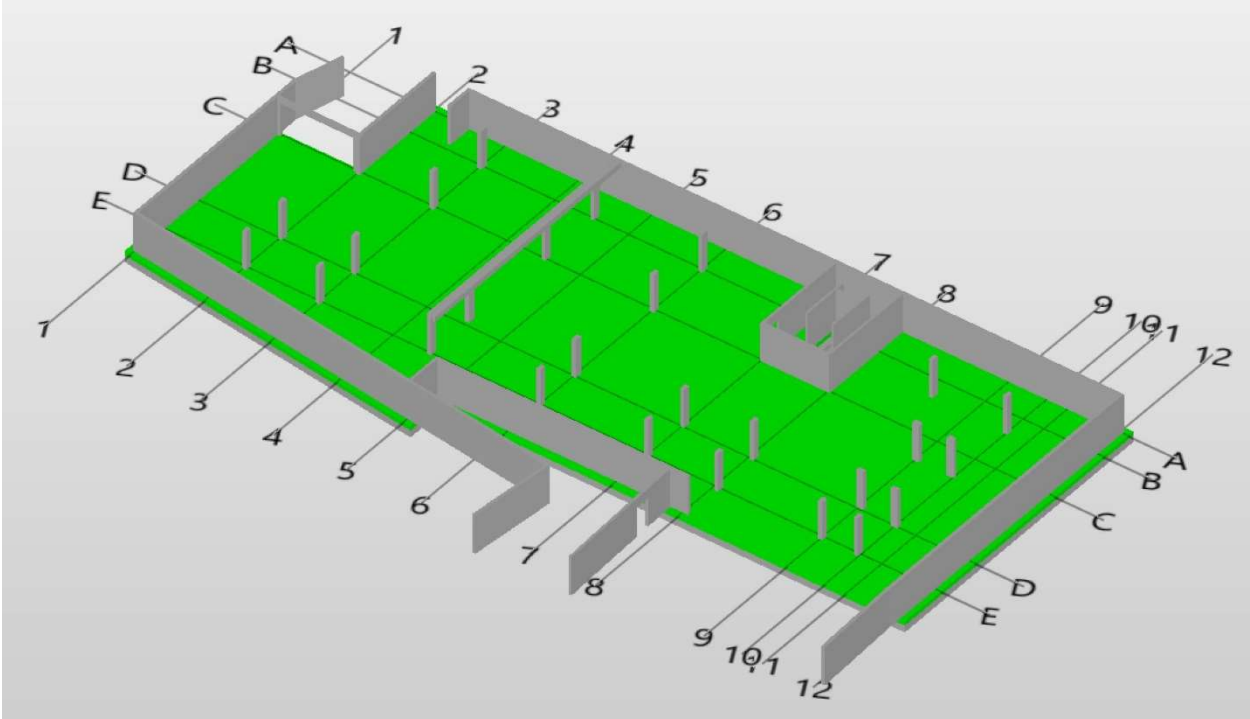


Nordvest

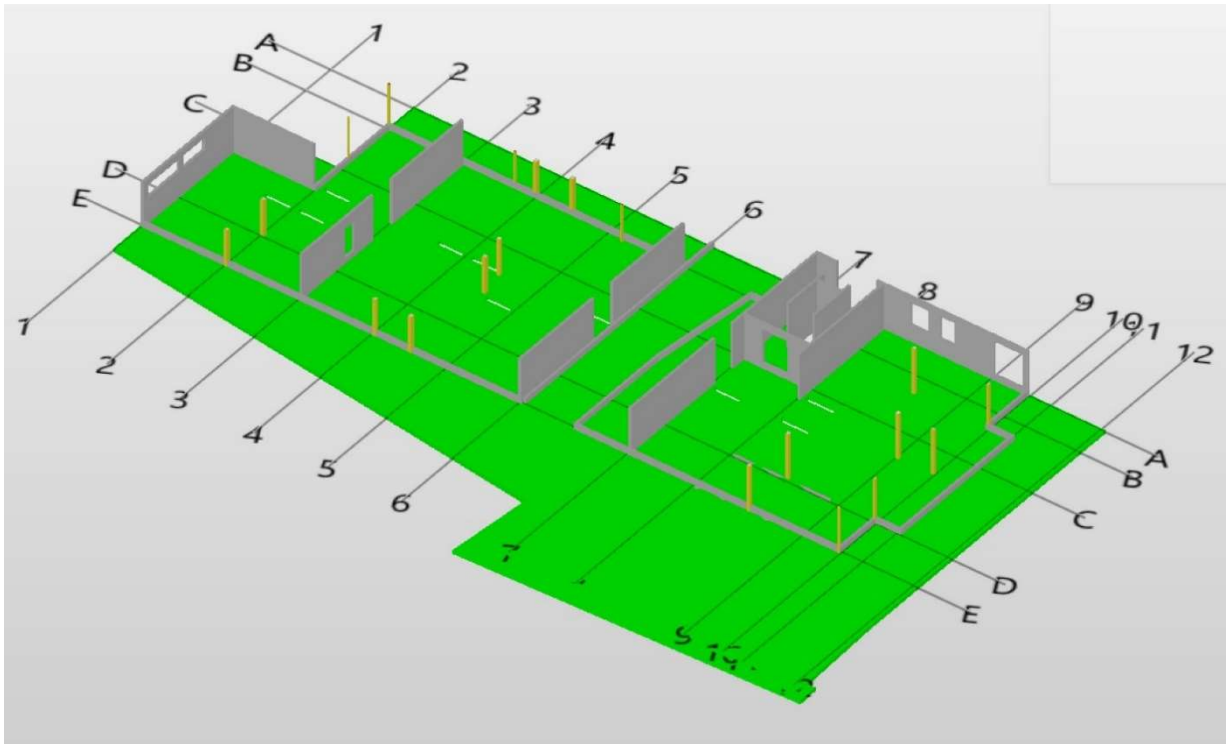


E.2 RIB Plan

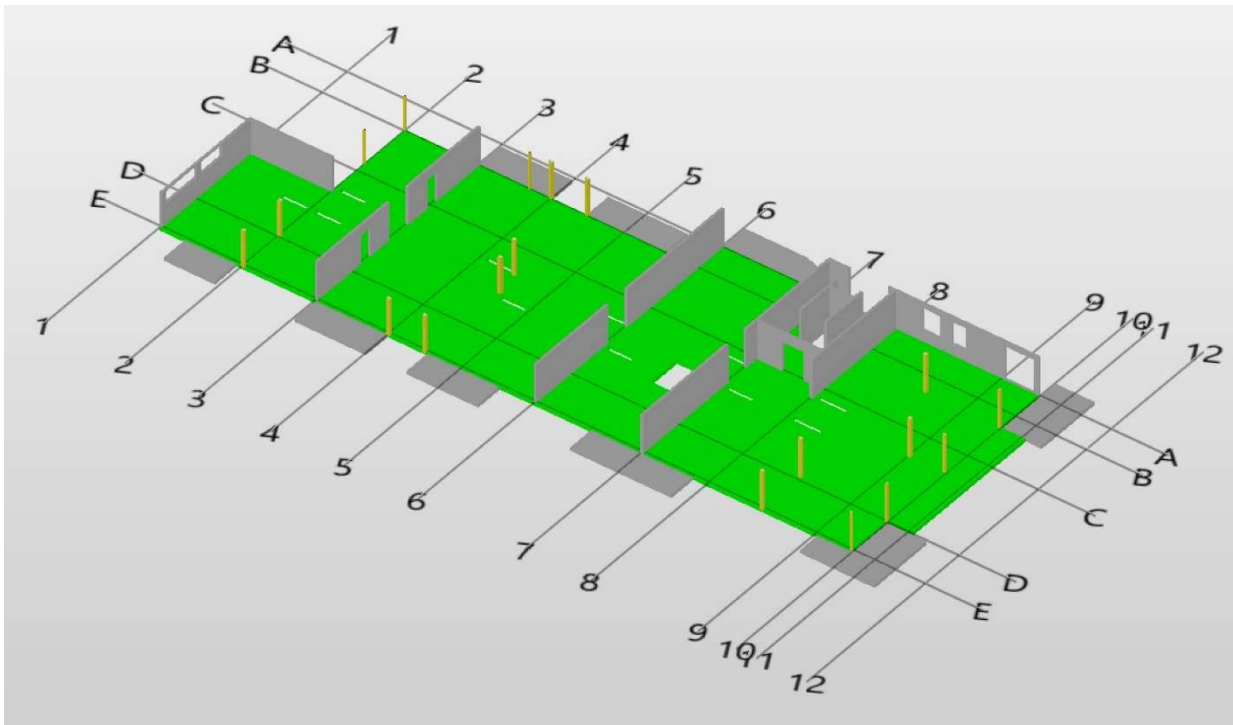
Parkeringskjeller



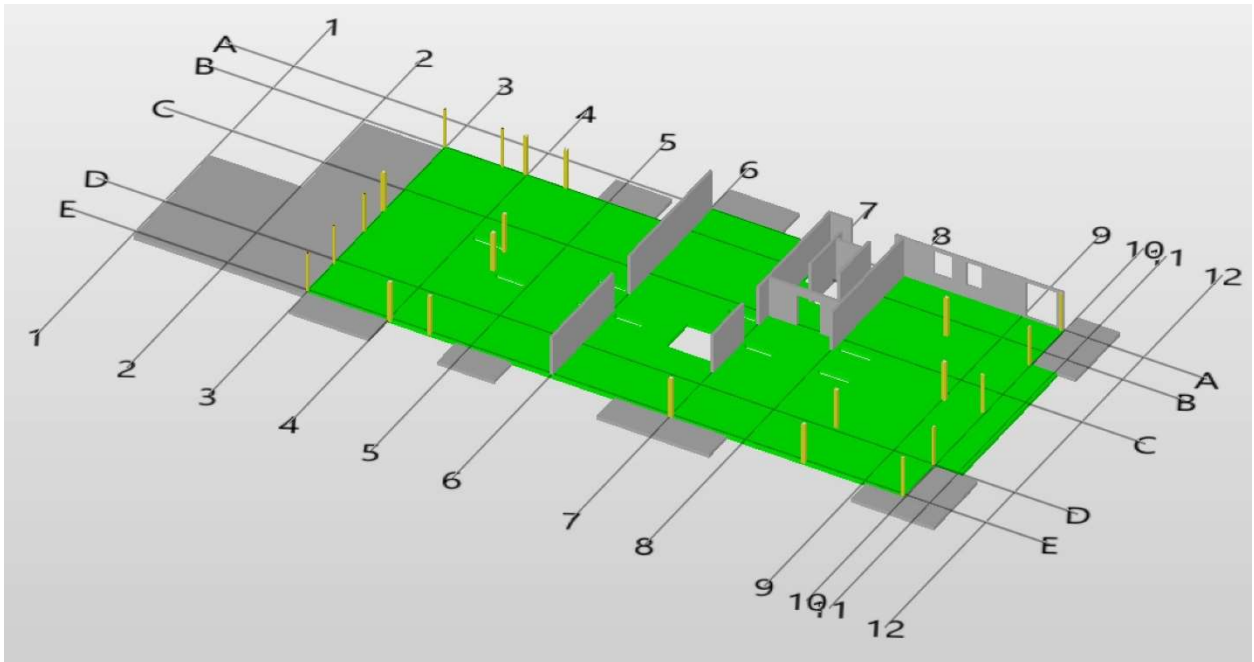
1. Etasje



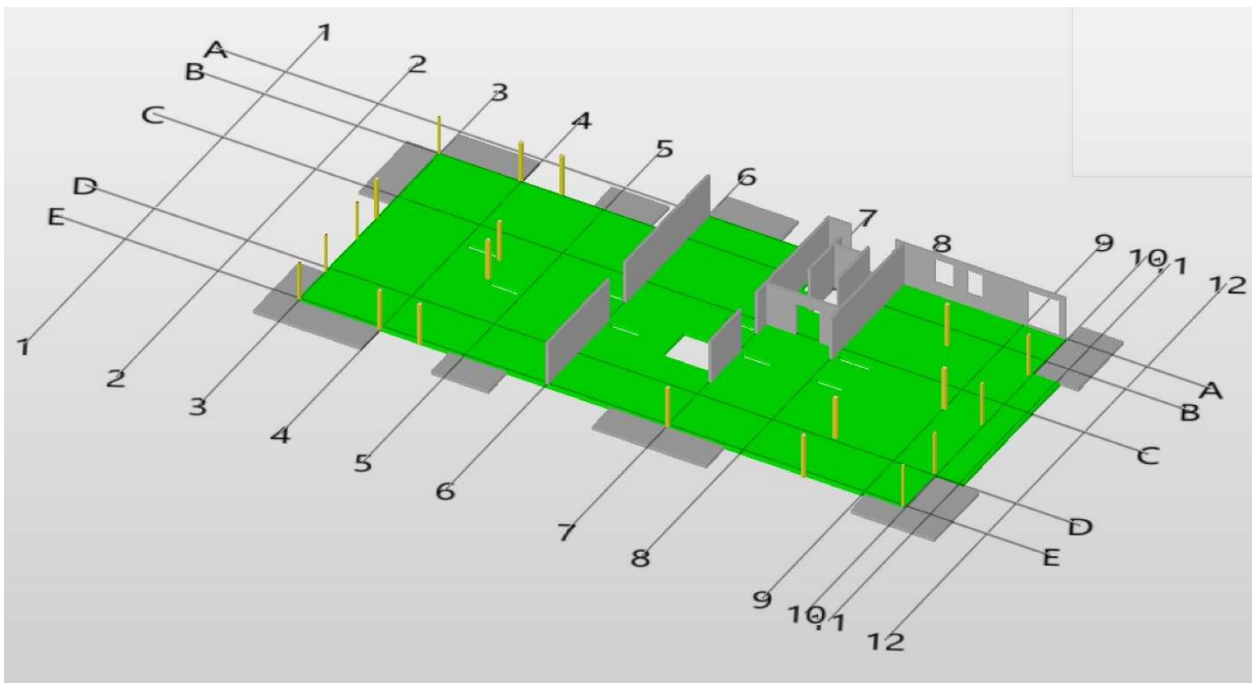
2. Etasje



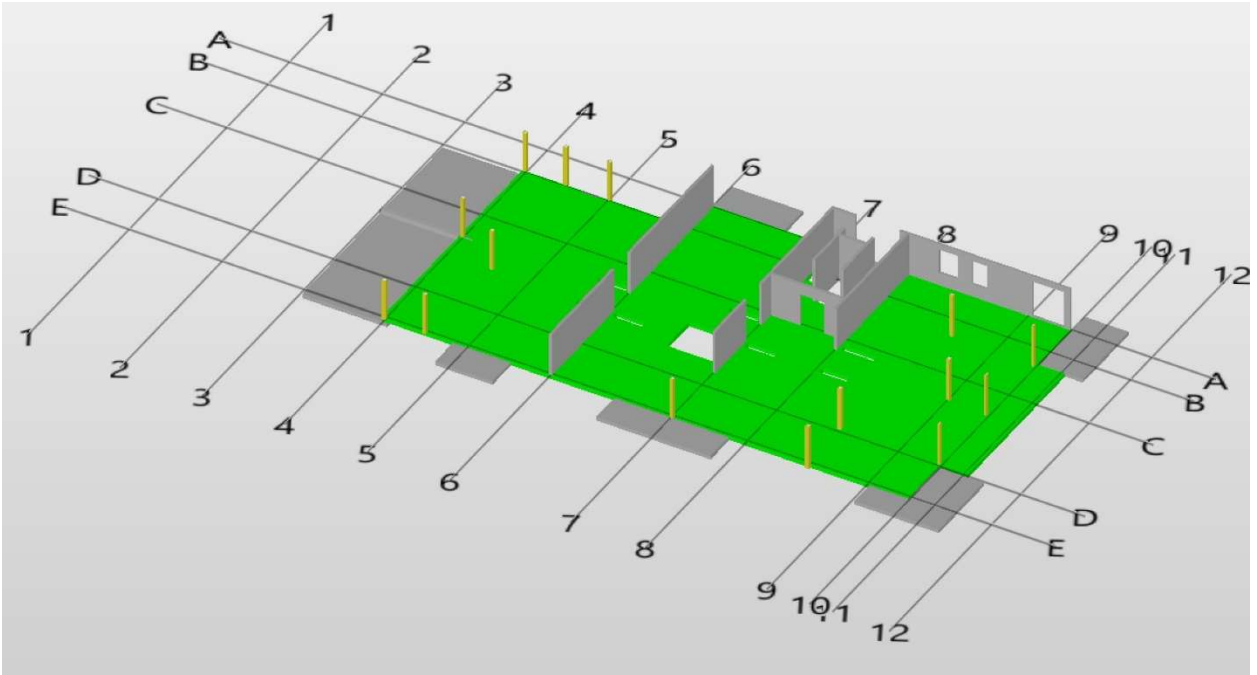
3. Etasje



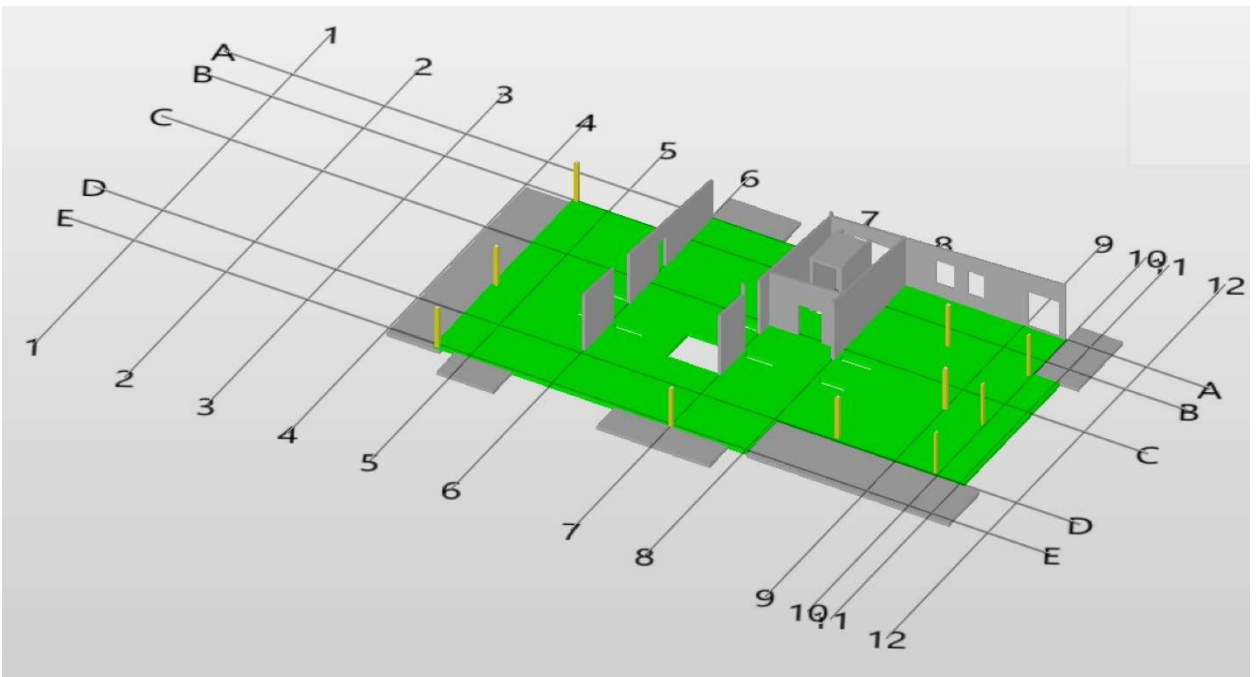
4. Etasje



5. Etasje



6. Etasje



Vedlegg D – Snølast

B.1 Håndberegninger

NS-EN 1991-1-3:2003+A1:2015+NA:2018 Snølaster

5.3.1 Tabell 5.2: Formfaktorer for snølast

$$\mu_1 := 0.8 \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$$

5.2 Tabell 5.1: Anbefalte verdier for forskjellige topografier

$$C_e := 1.0 \quad (\text{Til sikker side, kunne valgt } 0.8)$$

5.2 (8) Den termiske koeffisienten

$$C_t := 1.0 \quad (\text{Anbefalt verdi, ikke høy varmegjennomgang})$$

NA.4.1 Tabell NA.4.1(901) - Karakteristisk snølast på mark for kommuner

$$\text{Sogndal:} \quad S_{k,0} := 2.5 \text{ kN/m}^2 \quad H_g := 150 \text{ m} \quad \Delta S_k := 1.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Høyde Lerum Brygge:} \quad H := 2 \text{ m}$$

$$S_k := S_{k,0} = 2.5 \text{ kN/m}^2 \quad \text{siden} \quad H < H_g$$

5.2 (3)P a) Snølast på tak

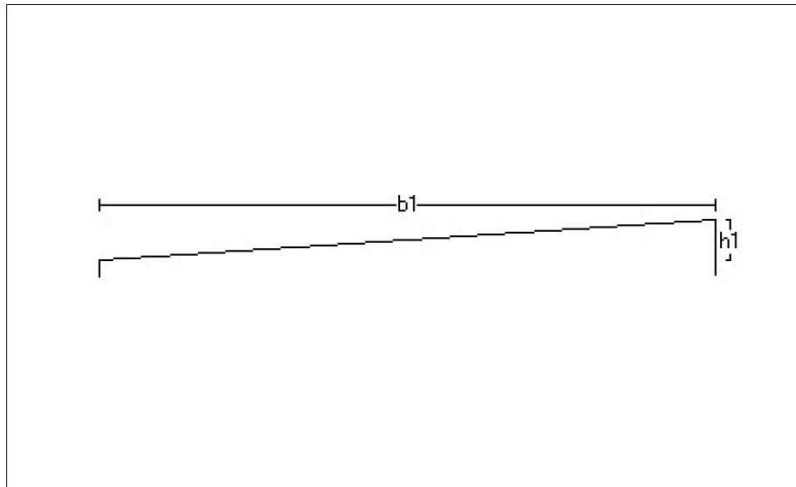
$$S := \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (5.1)$$

B.2 Focus Ove Sletten lastberegninger

Tittel Snølast			Side 1
Prosjekt Lerum Brygge	Ordre	Sign	Dato 11-03-2021

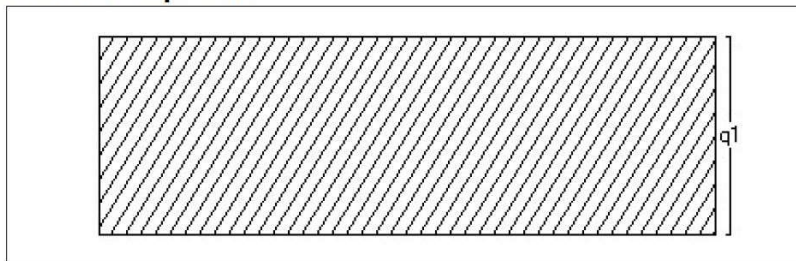
Dataprogram: LastBeregning versjon 7.1.1 Laget av Sletten Byggdata AS
Standard NS-EN 1991-1-3: Snølaster

1. Geometri



b_1 37210 mm
 h_1 2530 mm

2. Snølast på tak



Last nr.:1
 q_1 2.00 kN/m²

3. Snølastdata

Fylke	Sogn og Fjordane
Kommune	Sogndal
Sted	
Byggets plassering (moh)	
Eksponeringskoeffisient C_e	1
Termisk koeffisient C_t	1
Snølast, S :	2.5 kN/m ²

Vedlegg E – Vindlast

C.1 Håndberegninger

NS-EN 1991-1-4:2005+NA:2009 Vindlaster

Helning til nærliggende fjelltopper

Lerum brygge er plassert i sogndalsfjæra rett ved sogndals fjorden, omringet av tre fjelltopper. Hesteggi øst for bygget, Stedjåsen i sørvest og Skjeggen i nord. Helning mellom toppene og byggested må sjekkes om de er mindre enn 30° for å benytte forenklet metode.

NA.4.3.3(901.4) Byggested på lesiden av bratt terreng med fall større en 30 grader i vindretningen

Lerum Brygge: $H_{Lerum.Brygge} := 2 \text{ m}$

Hesteggi: $H_{Hesteggi} := 907 \text{ m}$ $L_{Hesteggi} := 3200 \text{ m}$

$$\theta_{Hesteggi} := \text{atan} \left(\frac{H_{Hesteggi} - H_{Lerum.Brygge}}{L_{Hesteggi}} \right) = 15.792 \text{ deg}$$

Skjeggen: $H_{Skjeggen} := 738 \text{ m}$ $L_{Skjeggen} := 2400 \text{ m}$

$$\theta_{Skjeggen} := \text{atan} \left(\frac{H_{Skjeggen} - H_{Lerum.Brygge}}{L_{Skjeggen}} \right) = 17.049 \text{ deg}$$

Stedjåsen: $H_{Stedjåsen} := 590 \text{ m}$ $L_{Stedjåsen} := 1750 \text{ m}$

$$\theta_{Stedjåsen} := \text{atan} \left(\frac{H_{Stedjåsen} - H_{Lerum.Brygge}}{L_{Stedjåsen}} \right) = 18.572 \text{ deg}$$

Det er ikke bratt terreng (*helning* < 30°) rundt byggested, forenklet metode kan benyttes.

Vindtrykk

Tabell NA.4(901.1) - Referansevindhastighet for sogndal kommune

Sogndal: $V_{b,0} := 24 \frac{m}{s}$

NA.4.2(2)P Merknad 2: Basisvindhastigheten

$C_{dir} := 1.0$ (konservativt)

$C_{season} := 1.0$ (konservativt)

$C_{prob} := 1.0$ (50 år)

$C_{alt} := 1.0$ (Under tregrensnivået)

$V_b := C_{dir} \cdot C_{season} \cdot C_{alt} \cdot C_{prob} \cdot V_{b,0} = 24 \frac{m}{s}$ (NA.4.1)

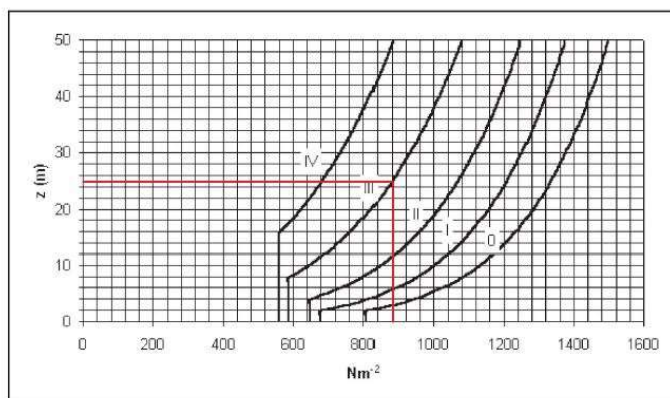
Forenkling gjør at Basisvinden = Referansevind.

Tabell NA.4.41 - Terrengruhetskategorier og tilhørende parametere

Sammenhengende småhusbebyggels ---> Kategorinummer III

Høyde $Z := 25 \text{ m}$ T.S.S for alle sider av bygget.

V.3 b) Beregning av $q_{p,0}$



$q_{p,0} := 0.88 \frac{kN}{m^2}$

b) Grunnverdi for hastighetstrykk fra vindkast $q_{p0}(z)$ for $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$

V.6 Bestemmelse av overgangssonefaktoren k_3

Y-retning:

Nordøst:

Terrengruhetskategori trær ---> Kategorinummer II (NA.4.1)

Avstand $X_B := 1 \text{ km}$

$$\Delta n_{BA} := 3 - 2 = 1$$

Siden avstand til kategorinummer II er $X_B := 1 \text{ km}$, må det interpolere mellom 0.5 og 2.5

$$X_1 := 0.5 \quad F_1 := 1.1 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

$$X_2 := 2.5 \quad F_2 := 1.0 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

$$k_{3,NØ} := F_1 + (F_2 - F_1) \cdot \frac{(X_B - X_1)}{(X_2 - X_1)} = 1.075$$

Sørvest:

Terrengruhetskategori trær ---> Kategorinummer II (NA.4.1)

Avstand $X_B := 0.75 \text{ km}$

$$\Delta n_{BA} := 3 - 2 = 1$$

Siden avstand til kategorinummer II er $X_B := 0.75 \text{ km}$, må det interpolere mellom 0.5 og 2.5

$$X_1 := 0.5 \quad F_1 := 1.1 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

$$X_2 := 2.5 \quad F_2 := 1.0 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

$$k_{3,SV} := F_1 + (F_2 - F_1) \cdot \frac{(X_B - X_1)}{(X_2 - X_1)} = 1.088$$

X-retning:

Nordvest:

Terrengruhetskategori Landbruksområde, område med spredte små bygninger eller trær ---> Kategorinummer II (NA.4.1)

Avstand $X_B := 2 \text{ km}$

$$\Delta n_{BA} := 3 - 2 = 1$$

Siden avstand til kategorinummer II er $X_B := 2 \text{ km}$, må det interpolere mellom 0.5 og 2.5

$$X_1 := 0.5 \quad F_1 := 1.1 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

$$X_2 := 2.5 \quad F_2 := 1.0 \quad (\text{Tabell V.1 a})$$

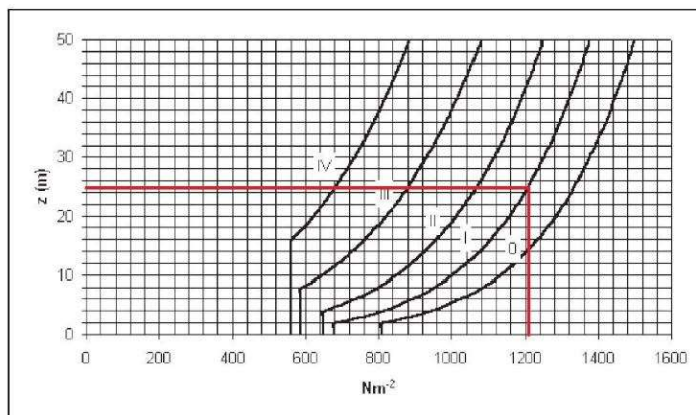
$$k_{3,NV} := F_1 + (F_2 - F_1) \cdot \frac{(X_B - X_1)}{(X_2 - X_1)} = 1.025$$

Sørøst:

Terrengruhetskategori fjord ---> Kategorinummer I (NA.4.1)

Siden $X_B \leq 0.5 \text{ km}$ sier standard følgende antas:

- Ved positiv Δn_{BA} kan de verdier for $q_{p,0}$ som gjelder i sone A brukes uten justering for virkningen av sone B



b) Grunnverdi for hastighetstrykk fra vindkast $q_{p0}(z)$ for $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$

$$q_{p,0,SØ} := 1.21 \quad \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

V.2 Beregning av q_p (Vindtrykk)

$$k_1 := 1 \quad k_2 := 1 \quad C_{dir} := 1 \quad C_{alt} := 1 \quad C_{season} := 1 \quad C_{prob} := 1$$

Dette gir forenklet ligning V.1:

$$\text{Nordøst:} \quad q_{p.NØ} := k_{3.NØ} \cdot q_{p.0} = 0.946 \quad \frac{kN}{m^2} \quad (\text{V.1})$$

$$\text{Sørvest} \quad q_{p.SV} := k_{3.SV} \cdot q_{p.0} = 0.957 \quad \frac{kN}{m^2} \quad (\text{V.1})$$

$$\text{Nordvest} \quad q_{p.NV} := k_{3.NV} \cdot q_{p.0} = 0.902 \quad \frac{kN}{m^2} \quad (\text{V.1})$$

$$\text{Sørøst} \quad q_{p.SØ} := q_{p.0.SØ} = 1.21 \quad \frac{kN}{m^2} \quad (\text{V.1})$$

Vindtrykk varierer fra hvilken retning vinden kommer fra. Vind fra retning Sørøst gir høyest vindtrykk på grunn av fjorden. Kunne brukt verdi $q_{p.SØ}$ for alle retningene till sikker side.

Formfaktorer

7.2 Formfaktorer for bygninger

7.2.2 Vertikale vegger på rektangulære bygninger

Y-retning:

Nordøst:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 50 \text{ m} \quad d := 19 \text{ m} \quad (\text{Figur 7.5})$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 50 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = 1.316$$

$d < e < 5 \cdot d$ ---> Dette gir fire soner: A, B, D, E

$$C_{pe.NØ.A} := -1.2 \quad C_{pe.NØ.B} := -0.8 \quad C_{pe.NØ.D} := 0.8 \quad (\text{Tabell 7.1})$$

Merknad 1: For mellomliggende verdier av h/d kan lineær interpolasjon anvendes.

$$C_{pe.NØ.E} := -0.5 + (-0.7 - (-0.5)) \cdot \frac{(1.316 - 1)}{(5 - 1)} = -0.516$$

Sørvest:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 50 \text{ m} \quad d := 19 \text{ m} \quad (\text{Figur 7.5})$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 50 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = 1.316$$

$d < e < 5 \cdot d$ ---> Dette gir fire soner: A, B, D, E

$$C_{pe.SV.A} := -1.2 \quad C_{pe.SV.B} := -0.8 \quad C_{pe.SV.D} := 0.8 \quad (\text{Tabell 7.1})$$

Merknad 1: For mellomliggende verdier av h/d kan lineær interpolasjon anvendes.

$$C_{pe.SV.E} := -0.5 + (-0.7 - (-0.5)) \cdot \frac{(1.316 - 1)}{(5 - 1)} = -0.516$$

X-retning:

Nordvest:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 19 \text{ m} \quad d := 50 \text{ m} \quad (\text{Figur 7.5})$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 19 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = 0.5$$

$e < d$ ---> Dette gir fem soner: A, B, C, D, E

$$C_{pe.NV.A} := -1.2 \quad C_{pe.NV.B} := -0.8 \quad C_{pe.NV.C} := -0.5 \quad (\text{Tabell 7.1})$$

Merknad 1: For mellomliggende verdier av h/d kan lineær interpolasjon anvendes.

$$C_{pe.NV.D} := 0.7 + (0.8 - 0.7) \cdot \frac{(0.5 - 0.25)}{(1 - 0.25)} = 0.733$$

$$C_{pe.NV.E} := -0.3 + (-0.5 - (-0.3)) \cdot \frac{(0.5 - 0.25)}{(1 - 0.25)} = -0.367$$

Sørøst:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 19 \text{ m} \quad d := 50 \text{ m} \quad (\text{Figur 7.5})$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 19 \text{ m} \quad \frac{h}{d} = 0.5$$

$e < d$ ---> Dette gir fem soner: A, B, C, D, E

$$C_{pe.SØ.A} := -1.2 \quad C_{pe.SØ.B} := -0.8 \quad C_{pe.SØ.C} := -0.5 \quad (\text{Tabell 7.1})$$

Merknad 1: For mellomliggende verdier av h/d kan lineær interpolasjon anvendes.

$$C_{pe.SØ.D} := 0.7 + (0.8 - 0.7) \cdot \frac{(0.5 - 0.25)}{(1 - 0.25)} = 0.733$$

$$C_{pe.SØ.E} := -0.3 + (-0.5 - (-0.3)) \cdot \frac{(0.5 - 0.25)}{(1 - 0.25)} = -0.367$$

7.2.9 Innvendig vindtrykk

$$C_{pi.O} := -0.3 \quad (\text{merknad 2})$$

$$C_{pi.U} := 0.2 \quad (\text{merknad 2})$$

7.2.3 Flate tak

(1) Flate tak er definert som å ha en takvinkel α på $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$

Vinkel på tak for Lerum Brygge = 3.89°

Bruker derfor verdier for flate tak men antar skarp takavslutning til sikker side

$$C_{pe.F} := -1.8 \quad (\text{Tabell 7.2})$$

$$C_{pe.G} := -1.2 \quad (\text{Tabell 7.2})$$

$$C_{pe.H} := -0.7 \quad (\text{Tabell 7.2})$$

$$C_{pe.I.O} := -0.2 \quad (\text{Tabell 7.2})$$

$$C_{pe.I.U} := 0.2 \quad (\text{Tabell 7.2})$$

Sonelaster og -fordeling

Vegger:

Y-retning:

Nordøst:

$$A := (C_{pe.NØ.A} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -1.419 \frac{kN}{m^2}$$

$$B := (C_{pe.NØ.B} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -1.041 \frac{kN}{m^2}$$

$$D := (C_{pe.NØ.D} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.NØ} = 0.946 \frac{kN}{m^2}$$

$$E := (C_{pe.NØ.E} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -0.772 \frac{kN}{m^2}$$

Sørvest:

$$A := (C_{pe.SV.A} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -1.436 \frac{kN}{m^2}$$

$$B := (C_{pe.SV.B} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -1.053 \frac{kN}{m^2}$$

$$D := (C_{pe.SV.D} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.SV} = 0.957 \frac{kN}{m^2}$$

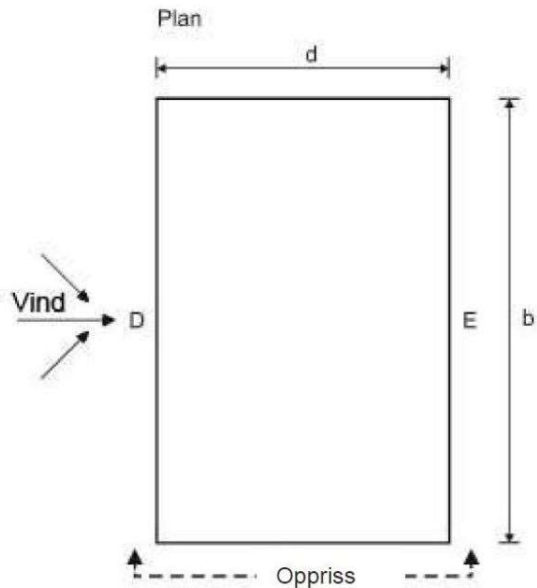
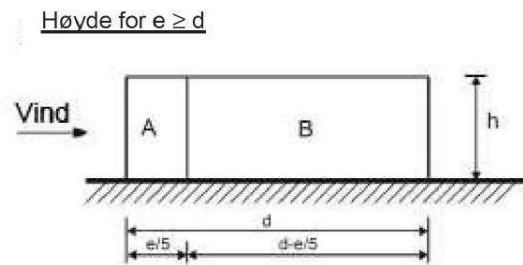
$$E := (C_{pe.SV.E} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -0.781 \frac{kN}{m^2}$$

Sonefordeling for Nordøst og Sørvest:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 50 \text{ m} \quad d := 19 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 50 \text{ m}$$

$$\frac{e}{5} = 10 \text{ m} \quad d - \frac{e}{5} = 9 \text{ m}$$



X-retning:

Nordvest:

$$A := (C_{pe.NV.A} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -1.353 \frac{kN}{m^2}$$

$$B := (C_{pe.NV.B} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -0.992 \frac{kN}{m^2}$$

$$C := (C_{pe.NV.C} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -0.722 \frac{kN}{m^2}$$

$$D := (C_{pe.NV.D} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.NV} = 0.842 \frac{kN}{m^2}$$

$$E := (C_{pe.NV.E} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -0.601 \frac{kN}{m^2}$$

Sørøst:

$$A := (C_{pe.SØ.A} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -1.815 \frac{kN}{m^2}$$

$$B := (C_{pe.SØ.B} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -1.331 \frac{kN}{m^2}$$

$$C := (C_{pe.SØ.C} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -0.968 \frac{kN}{m^2}$$

$$D := (C_{pe.SØ.D} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.SØ} = 1.129 \frac{kN}{m^2}$$

$$E := (C_{pe.SØ.E} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -0.807 \frac{kN}{m^2}$$

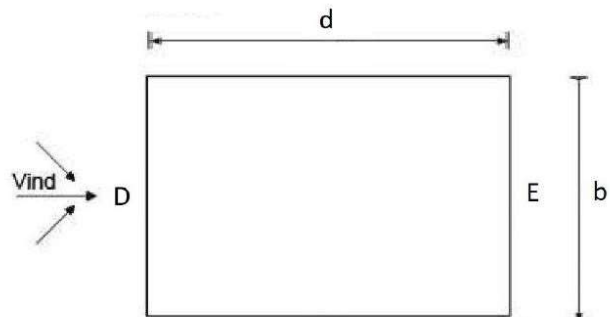
Sonefordeling for Nordvest og Sørøst:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 19 \text{ m} \quad d := 50 \text{ m}$$

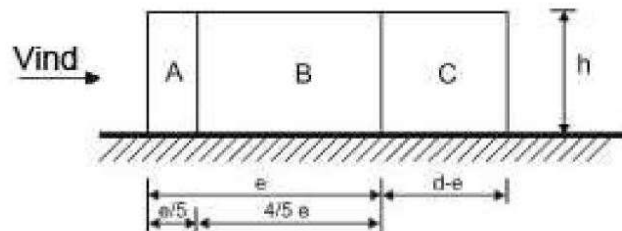
$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 19 \text{ m}$$

$$d - e = 31 \text{ m} \quad \frac{e}{5} = 3.8 \text{ m}$$

$$\frac{4}{5} \cdot e = 15.2 \text{ m}$$



Høyde for e < d



Tak:

Y-retning:

Nordøst:

$$F_{NØ} := (C_{pe.F} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -1.987 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{NØ} := (C_{pe.G} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -1.419 \frac{kN}{m^2}$$

$$H_{NØ} := (C_{pe.H} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NØ} = -0.946 \frac{kN}{m^2}$$

Sørvest:

$$F_{SV} := (C_{pe.F} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -2.01 \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{SV} := (C_{pe.G} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -1.436 \frac{kN}{m^2}$$

$$H_{SV} := (C_{pe.H} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SV} = -0.957 \frac{kN}{m^2}$$

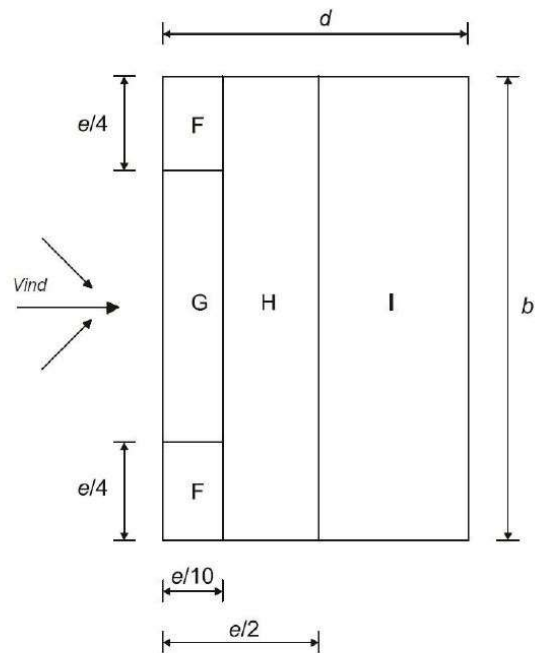
Sonefordeling for Nordøst og Sørvest:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 50 \text{ m} \quad d := 19 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 50 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = 25 \text{ m} \quad \frac{e}{4} = 12.5 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = 5 \text{ m}$$

Ingen sone I siden $\frac{e}{2}$ er større enn d



X-retning:

Nordvest:

$$F_{NV} := (C_{pe.F} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -1.894 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{NV} := (C_{pe.G} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -1.353 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$H_{NV} := (C_{pe.H} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -0.902 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{O.NV} := (C_{pe.I.O} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.NV} = -0.451 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{U.NV} := (C_{pe.I.U} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.NV} = 0.361 \quad \frac{kN}{m^2}$$

Sørøst:

$$F_{SØ} := (C_{pe.F} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -2.541 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$G_{SØ} := (C_{pe.G} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -1.815 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$H_{SØ} := (C_{pe.H} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -1.21 \quad \frac{kN}{m^2}$$

$$I_{O.SØ} := (C_{pe.I.O} + C_{pi.O}) \cdot q_{p.SØ} = -0.605 \quad \frac{kN}{m^2}$$

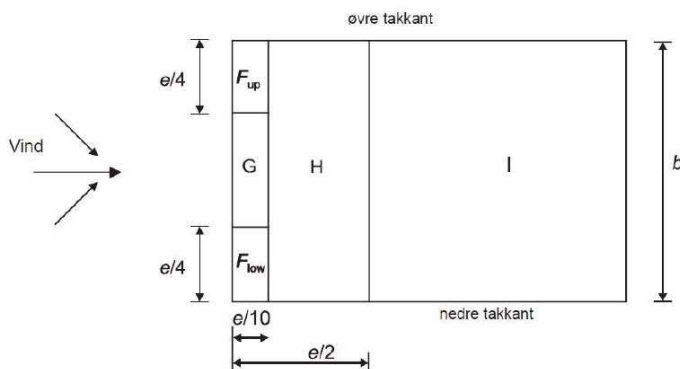
$$I_{U.SØ} := (C_{pe.I.U} + C_{pi.U}) \cdot q_{p.SØ} = 0.484 \quad \frac{kN}{m^2}$$

Sonefordeling for Nordvest og Sørøst:

$$h := 25 \text{ m} \quad b := 19 \text{ m} \quad d := 50 \text{ m}$$

$$e := \min(b, 2 \cdot h) = 19 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = 9.5 \text{ m} \quad \frac{e}{4} = 4.75 \text{ m} \quad \frac{e}{10} = 1.9 \text{ m}$$

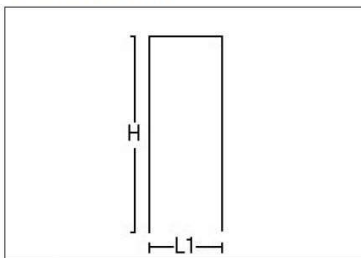


C.2 Focus Ove Sletten lastberegninger

Tittel Vindlast			Side 1
Prosjekt Lerum Brygge	Ordre	Sign	Dato 11-03-2021

Dataprogram: LastBeregning versjon 7.1.1 Laget av Sletten Byggdata AS
Standard NS-EN 1991-1-4: Vindlaster
Data er lagret på fil:

1. Geometri



H 25000 mm
L1 19000 mm

Byggets lengde, L2: 50000 mm
Takvinkel : 0.00 (grader)

Vertikalsnitt

2. Vindhastighet

Fylke: Sogn og Fjordane Kommune: Sogndal Referansevindhastighet: 24 m/s
Byggested, høyde over havet (m): 2 Calt: 1
Returperiode (år):50 Cprob: 1
Årstidsfaktoren, Cseason: 1 hele året
Vindretning (region):Bruker retningsfaktoren C-ret: 1
Basisvindhastighet: 24 m/s
Høyde Z over grunnivået: 25 m

BYGGESTEDETS TERRENGDATA

Terrengruhetskategori III: Sammenhengende småhusbebyggelse industriområder eller skogsområder.
Terrengruhetsfaktoren K_t : 0.22 Ruhetslengden Z_o (m): 0.3 Z_{min} (m): 8 V_m (m/s): 23.35 C_r : 0.97

OVERGANGSONE

Terrengruhetskategori I: Kystnær, opprørt sjø. Åpne vidder og strandsoner uten trær eller busker.
Terrengruhetsfaktoren K_t : 0.17 Ruhetslengden Z_o (m): 0.01 Z_{min} (m): 2 V_m (m/s) : 31.92 C_r : 1.33
Avstand mot vindretning fra byggested til grense for terrengkategorierendring X_b (m): 20
Overgangsonedefaktor $C_s(X_b)$: 1.64 $V_m(z)$: 38.4(lign NA.4(901.2/3))

TOPOGRAFI: Ingen topografisk påvirkning.

Terrengformfaktor $C_o(z)$: 1 Turbulensfaktor K_i : 1

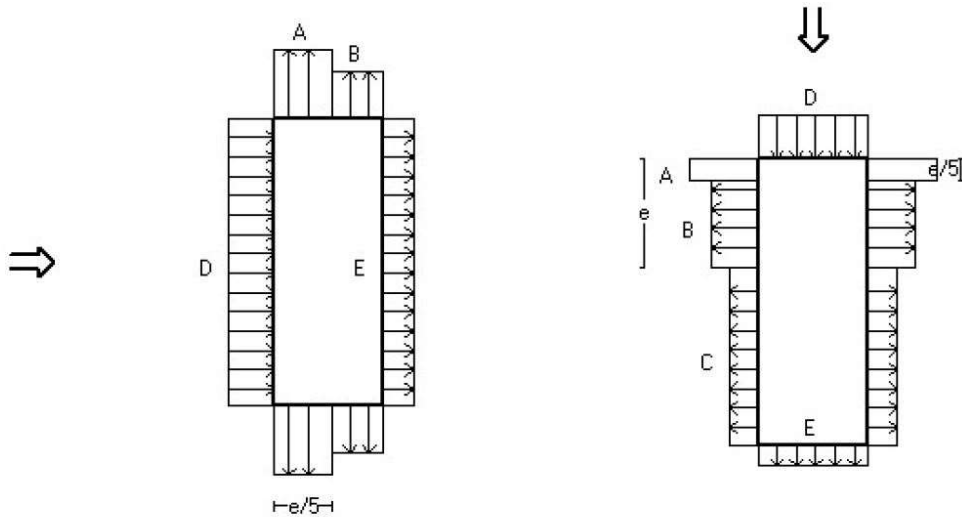
V_{kast} : 43.95 m/s

Q_{kast} : 1.207 kN/m²

Tittel Vindlast			Side 2
Prosjekt Lerum Brygge	Ordre	Sign	Dato 11-03-2021

3. Yttervegger

3.1 Utvendig vindlast



Vindretning 0 grader. $e=50000$ mm

Vindretning 90 grader. $e=19000$ mm

Vindinnfallsretning på 0 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1.20	-0.80		0.80	-0.52
Utvendig last (kN/m ²)	-1.45	-0.97		0.97	-0.62
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1.40	-1.10		1.00	-0.52
Utvendig last (kN/m ²)	-1.69	-1.33		1.21	-0.62
Utsrekning (mm)	10000	9000		50000	50000

Vindinnfallsretning på 90 grader.

	A	B	C	D	E
Formfaktor $C_{pe,10}$	-1.20	-0.80	-0.50	0.73	-0.37
Utvendig last (kN/m ²)	-1.45	-0.97	-0.60	0.89	-0.44
Formfaktor $C_{pe,1}$	-1.40	-1.10	-0.50	1.00	-0.37
Utvendig last (kN/m ²)	-1.69	-1.33	-0.60	1.21	-0.44
Utsrekning (mm)	3800	15200	31000	19000	19000

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.

3.2 Innvendig vindlast

Bygning uten dominerende vindfasade

Beregn innvendig vindlast for $u=0.2$ overtrykk og $u=-0.3$ (undertrykk)

	Undertrykk	Overtrykk
Formfaktor	-0.30	0.20
Innvendig last (kN/m ²)	-0.36	0.24

Tittel Vindlast		Side 3	
Prosjekt Lerum Brygge	Ordre	Sign	Dato 11-03-2021

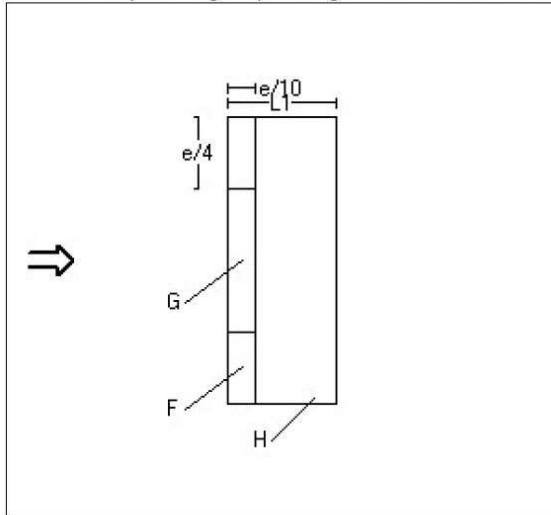
4 Overside av tak

Taktype: Flatt tak

L1=19000 mm L2=50000 mm

C_{pe,10} Gjelder for hele bygget. (>=10m²)

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.



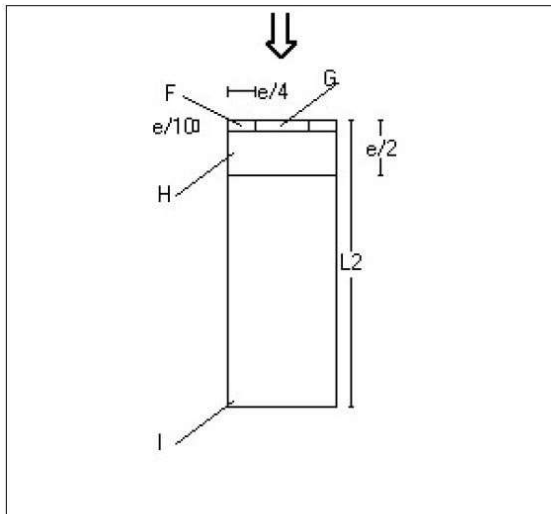
Utstrekning (mm)

e=50000

e/4=12500

e/10=5000

	C _{pe,10}	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon (mm)
F	-1.80	-2.17	12500x5000
G	-1.20	-1.45	25000x5000
H	-0.70	-0.84	50000x14000



Utstrekning (mm)

e=19000

e/4=4750

e/10=1900

	C _{pe,10}	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon (mm)
F	-1.80	-2.17	4750x1900
G	-1.20	-1.45	9500x1900
H	-0.70	-0.84	19000x7600
I	+/-0.20	+/-0.24	19000x40500

Titel Vindlast			Side 4
Prosjekt Lerum Brygge	Ordre	Sign	Dato 11-03-2021

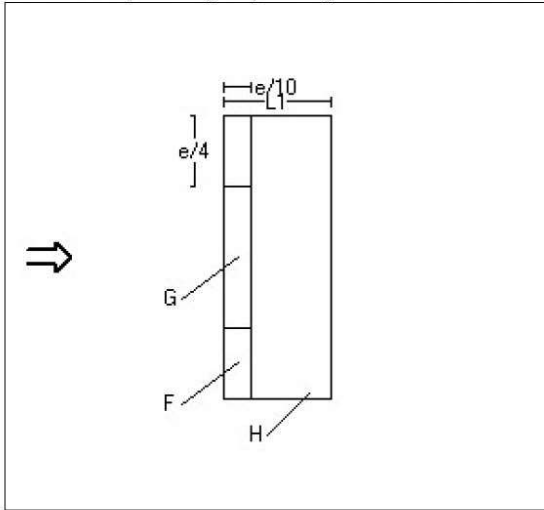
Taktype: Flatt tak

L1=19000 mm L2=50000 mm

$C_{pe,1}$ Gjelder for en lokal flate på 1m². Benyttes ved dimensjonering av limfuger, spikring, båndstål o.l.

Interpoleringsformel for belastet areal A mellom 1 og 10 m² : $C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) * \log_{10}A$

Positiv verdi for last gir trykk. Negativ verdi hvis last er sug.



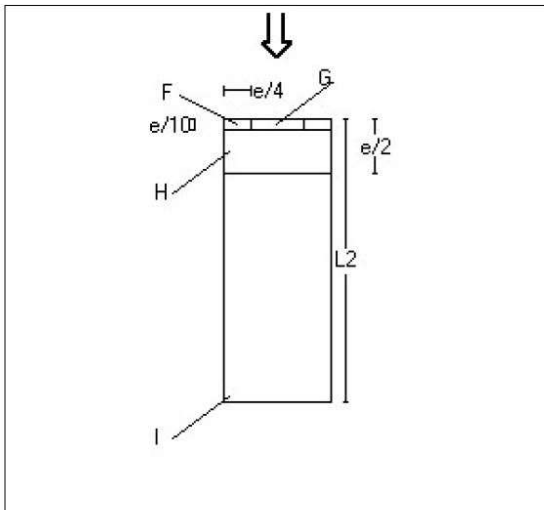
Utstrekning (mm)

e=50000

e/4=12500

e/10=5000

	C _{pe,1}	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2.50	-3.02	12500x5000
G	-2.00	-2.41	25000x5000
H	-1.20	-1.45	50000x14000



Utstrekning (mm)

e=19000

e/4=4750

e/10=1900

	C _{pe,1}	Last (kN/m ²)	Hor.projeksjon(mm)
F	-2.50	-3.02	4750x1900
G	-2.00	-2.41	9500x1900
H	-1.20	-1.45	19000x7600
I	+/-0.20	+/-0.24	19000x40500

