

Integritetskontroll av betongdekke

Integrity control of floor divider in concrete

Trondheim Mai 2023

Pedersen, Håkon Bendik
Eide, Vegard Mortensen

Intern veileder:
Arne Mathias Selberg

Ekstern veileder:
Helge Hamnevoll (Yara)

Prosjektnr:
2023-33

Rapporten er ÅPEN



NTNU

Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for konstruksjonsteknikk

Rapporten er ÅPEN

Oppgavens tittel: Integritetskontroll av betongdekke <i>Integrity control of floor divider in concrete</i>	Bacheloroppgave	
	Antall sider: [54] Sider vedlegg: [128]	Dato: [22.05.23]
Studenter: Håkon Bendik Pedersen og Vegard Mortensen Eide		
Veileder: Arne Mathias Selberg	Ekstern veileder: Helge Hamnevoll, Yara Glomfjord	

Problemdefinering/prosjektbeskrivelse og resultatmål

Prosjektet baserer seg på å gjøre beregninger på et betongdekke i et miljø som er syreutsatt. Det skal først og fremst gjøres beregninger på dekket, uavhengig av miljøet det befinner seg i. Det vil si at det skal kontrolleres med tanke på bæreevne, armeringsmengde, dimensjoner og bestemme statisk modell. I denne delen ses det på faktorer som riss, svinn og nedbøyning. Her følges det etter beste evne tegninger og mål fra opprinnelig dimensjonert dekke, som Yara har tilgang til i arkivene sine.

Det som er spesielt for dette prosjektet er miljøet og det området betongen befinner seg i. Yara produserer gjødsel og salpetersyre i fabrikk, noe som gjør at betongen er direkte utsatt for syreangrep fra lekkasjer. Det vil derfor være svært aktuelt å se på relasjonen mellom betong og syre, samt hvordan dekket blir påvirket av miljøet det befinner seg i.

Målet med oppgaven er å kunne bevise at betongdekket er innenfor kravene i henhold til Eurocode 2, eventuelt fastslå at det ikke tilfredsstillers dagens krav. Dersom dekket ikke er innenfor kravene, vil en fremstilling av dette være aktuelt.

Gjennom oppgaven er målet å kunne si noe om hvilken påvirkning syremiljøet har på betongens tilstand og bæreevne.

Stikkord:

Betong
Karbonatisering
Klorid
Livsløpsvurdering
Salpetersyre
Toveisplate

Forord

Bacheloroppgaven er skrevet våren 2023 ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim, ved institutt for konstruksjonsteknikk. Oppgaven er skrevet i forbindelse med avslutningen av det treårige studieløpet innenfor ingeniør, bygg. Omfanget av bacheloroppgaven tilsvarer 20 studiepoeng og er skrevet av to studenter.

Det står i dag flere eldre konstruksjoner rundt om i Norge. Disse konstruksjonene har som regel lite eller ingen dokumentasjon ved at det enten aldri har vært dokumentert noe om konstruksjonen, eller ved at dokumentene er blitt borte. Det er derfor ofte nødvendig å gjøre nye undersøkelser og beregninger for å dokumentere konstruksjonen, og for å kunne planlegge videre utnyttelse av eksisterende konstruksjoner. På bakgrunn av dette mener gruppen at oppgaven er aktuell og fremtidsrettet, da dokumentasjon av eldre konstruksjon fører til større utnyttelse av eldre konstruksjoner.

Gruppen vil begynne med å rette en særlig takk til vår eksterne veileder og oppdragsgiver Helge Hamnevoll i Yara Glomfjord. Det har vært en lærerik og aktuell oppgave med god veiledning og engasjement, samt frie tøyler til å velge oppgavens fordypning selv. Ekstern veileder har vært flink til å legge til rette for en god oppgave og holdt oppe et bra samarbeid fra start til slutt.

Videre ønsker vi å takke intern veileder, sivilingeniør Arne Mathias Selberg ved NTNU. Intern veileder har gitt gode veiledninger og faglige diskusjoner, samt rettet søkelys på viktigheten av å sitte fast med noe for så å løse problemet. Dette har gitt lærdom, mestringfølelse og god kunnskap. Møtene har vært viktige for sluttproduktet av oppgaven, noe vi setter stor pris på.

Vi ønsker også å takke medstudenter og forelesere for gode samtaler og lærdom gjennom hele studieløpet og under bacheloroppgaven.

Trondheim 22.mai 2023

Håkon Bendik Pedersen

Håkon Bendik Pedersen

Vegard Mortensen Eide

Vegard Mortensen Eide

Sammendrag

Bacheloroppgaven er en integritetskontroll av et betongdekke fra 1954, som befinner seg i et aggressivt miljø med fare for syreangrep. Dekket er av armert betong og befinner seg i en fabrikk som fremstiller salpetersyre med inntil 60% konsentrasjon. Bygningen betongdekket befinner seg i er eid av ekstern bedrift og veileder som er Yara Glomfjord. Fra et bærekrafts- og miljøperspektiv er det viktig å ta vare på slike eldre bygninger av betong, og på den måten hindre unødvendig nybygging. Dette kan blant annet gjøres ved å dimensjonere og bygge riktig, samt planlegge for lang levetid under bygningsperioden. Ved å ivareta betongbygg vil betongproduksjonen og den totale miljøbelastningen reduseres. Dette er en viktig faktor for å bidra til å redusere det totale utslippet i byggenæringen, som per nå står for omtrent 40% av globalt CO₂-utslipp.

Betongdekket er beregnet og dimensjonert mot krav som blir stilt i Eurocode 2, og er beregnet både som enveisplate i form av en bjelke, og toveisplate. Dekket blir delt inn i ulike snitt og hvert snitt blir sjekket for armeringsmengde, moment-, skjær- og aksialkraftkapasitet i bruddgrensetilstand, samt riss og nedbøyning. Det er beregnet med både full armeringsmengde og redusert armeringstverrsnitt, da dekket er preget av korrodert armering på undersiden. Beregningene bærer preg av konservative valg, der blant annet armerings- og betongkvalitet er ukjent. I denne forbindelsen er håndbøkene til vegvesenet tatt i bruk for å finne aktuelle materialfaktorer for bruk i oppgaven.

Resultatet av dimensjoneringen viser at dekket tilfredsstiller de fleste krav i Eurocode 2. Alle snittene har tilstrekkelig kapasitet. Dette gjelder også for toveisplate og for snittet med redusert armeringstverrsnitt. Flere av snittene har for høye verdier for rissvidde, noe som skyldes dekkets lave overdekning. Resultatene fra målinger og undersøkelser gjort ved befaring viser at skadeårsakene kobles direkte til syremiljøet og lekkasjer som har vært på fabrikk.

Abstract

The bachelor's thesis is an integrity check of a concrete floor divider from 1954, which is located in an aggressive environment with a risk of acid attack. It is made of reinforced concrete and is located in a factory that produces nitric acid with up to 60% concentration. The building in which the concrete floor divider is in, is owned by an external company and supervisor, Yara Glomfjord. From a sustainability and environmental perspective, it is important to take care of such older concrete buildings and thus prevent unnecessary demolition. This can be done, among other things, by dimensioning and building correctly, as well as planning for longevity during the construction period. Maintaining concrete buildings will reduce concrete production and the overall environmental impact. This is a crucial factor in reducing the overall emissions in the construction industry, which currently accounts for approximately 40% of global CO₂ emissions.

The concrete floor divider is calculated and designed according to the requirements of Eurocode 2 and is calculated both as a one-way slab in form of a beam, and a two-way slab. The floor divider is divided into different sections and each section is checked for reinforcement quality, moment capacity, shear capacity and axial capacity in ultimate limit state, as well as cracking and deflection. The calculations are performed considering both full reinforcement and reduced reinforcement cross-sections, as the floor divider is affected by corroded reinforcement on the underside. The calculations are characterized by conservative choices, where among other things, the quality of reinforcement and concrete is unknown. In this situation, the manuals of the Norwegian Road Administration have been used to find relevant material factors for use in the thesis.

The results of the dimensioning shows that the floor divider satisfies most of the requirements in Eurocode 2. All sections have sufficient capacity, including the two-way slab and the section with reduced reinforcement cross-section. However, several of the sections have too high values for crack width, which is due to the low cover of the floor divider. The results from measurements and investigations made during the inspection indicate that the causes of damage are directly related to the acid environment and leaks that have been in the factory.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	ii
Sammendrag.....	iii
Abstract.....	iv
Innholdsfortegnelse.....	v
Figurliste.....	ix
Tabelliste.....	x
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Begrensninger og forutsetninger.....	2
1.4 Terminologi.....	3
1.4.1 Forkortelser.....	3
1.4.2 Definisjoner.....	3
1.5 Disposisjon.....	4
2. Teoretisk grunnlag.....	5
2.1. Lover og forskrifter.....	5
2.1.1 Generelt.....	5
2.1.2 Norsk standard.....	5
2.1.3 Byggforskserien.....	6
2.2. Betong.....	6
2.2.1 Generelt.....	6
2.2.2 Sement.....	6
2.2.3 Armering.....	7
2.2.4 Overdekning.....	7
2.2.5 Fasthetsklasse.....	7
2.2.6 Eksponeringsklasse.....	8
2.3. Miljø og skader.....	8
2.3.1 Generelt.....	8
2.3.2 Miljø.....	8
2.3.3 Nedbøyning.....	9
2.3.4 Kryp og svinn.....	9
2.3.5 Riss.....	9
2.3.6 Syre.....	10

2.4. Bæresystem.....	10
2.4.1 System	10
2.4.2 Etasjeskiller / dekke.....	10
2.4.3 Plate	11
2.4.4 Bjelker	12
2.4.5 Søylar.....	12
2.5. Laster	13
2.5.1 Nyttelast.....	13
2.5.2 Egenlast	13
2.5.3 Snølast	13
2.5.4 Vindlast.....	13
2.6. Grensetilstander	14
2.6.1 Bruddgrensetilstand	14
2.6.2 Bruksgrensetilstand	14
2.7. Programvare	15
2.7.1 Archicad 25	15
2.7.2 TruView Enterprise	15
2.7.3 Autodesk Viewer	15
2.8. Tilstandsgrad og analyse	15
2.9. Klimamål og bærekraft.....	16
3. Metode.....	17
3.1. Litteratur	17
3.2. Statisk modell	17
3.3. Laster	18
3.4. Beregningsmetoder.....	18
3.5. Undersøkelser	19
3.5.1 Overdekning	19
3.5.2 Riss	20
3.5.3 Forvitring.....	20
3.5.4 Hulrom.....	20
3.6. Tester	20
3.6.1 Trykk	20
3.6.2 Karbonatisering	20
3.6.3 Kloridinnhold	20
4. Resultat.....	21

4.1. Litteratur	21
4.2. Beregning (snitt)	21
4.2.1 Armering	21
4.2.2 Overdekning	22
4.2.3 Momentkapasitet	22
4.2.4 Aksialkraftkapasitet	23
4.2.5 Skjærkapasitet	23
4.2.6 Nedbøyning	24
4.2.7 Rissviddekontroll	25
4.2.8 M-N Diagram	25
4.3. Beregning (toveisplate)	26
4.3.1 Momentkapasitet	26
4.3.2 Nedbøyning	26
4.3.3 Skjærkapasitet	27
4.4. Undersøkelser	28
4.4.1 Overdekning	28
4.4.2 Riss	28
4.4.3 Forvitring	29
4.4.4 Hulrom	30
4.5. Tester	30
4.5.1 Trykk	30
4.5.2 Karbonatisering	30
4.5.3 Kloridinnhold	31
4.5.4 Tilstandsgrad	31
5. Diskusjon	32
5.1. Metodevalg	32
5.1.1 Statisk system	32
5.1.2 Beregning	32
5.2. Resultat	33
5.2.1 Beregning	33
5.2.2 Undersøkelser	34
5.2.3 Tester	35
5.3. Tiltak	35
6. Konklusjon	36
7. Refleksjon	37

Referanser	38
Vedlegg	41

Figurliste

Figur 2.1 Overdekning	7
Figur 2.2 Ulik støtte på undersiden av en enveisplate og toveisplate	11
Figur 2.3 Bjelkens svake og sterke akse.....	12
Figur 3.1 Fast innspent plate	17
Figur 3.2 Spennfordeling i lav bjelke	18
Figur 4.1 M-N diagram (snitt 1).....	25
Figur 4.2 Overdekningsmåling under dekket (venstre) og overdekning over dekket (høyre) .	28
Figur 4.3 Synlig tilslag, misfarging og avsperring på oversiden av dekket	29
Figur 4.4 Forvitring og synlig armering på undersiden.....	29
Figur 4.5 karbonatiseringsdybde	30

Tabelliste

Tabell 3.1 Laster.....	18
Tabell 3.2 Materialegenskaper for valgt armering og betong	19
Tabell 3.3 Uavhengige materialfaktorer.....	19
Tabell 4.1 Armerings volum (snitt 1-9)	21
Tabell 4.2 Overdekning (snitt 1-9)	22
Tabell 4.3 Momentkapasitet (snitt 1-9)	22
Tabell 4.4 Aksialkraftkapasitet (snitt 1-9).....	23
Tabell 4.5 Skjærkapasitet (snitt 1-9)	23
Tabell 4.6 Nedbøyning (snitt 1-9)	24
Tabell 4.7 Rissviddekontroll (snitt 1-9)	25
Tabell 4.8 Momentkapasitet toveisplate (plate 1-4).....	26
Tabell 4.9 Nedbøyning toveisplate (plate 1-4).....	26
Tabell 4.10 Skjærkapasitet toveisplate (plate 1-4)	27
Tabell 4.11 Utklipp fra resultater fra ALS	31
Tabell 4.12 Tilstand og konsekvens gradering.....	31

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Hensikten med oppgaven er å dimensjonere og kontrollere et eksisterende betongdekke mot relevante krav i Eurocode 2. Dekket som blir dimensjonert befinner seg i en fabrikk i Glomfjord, og er eid av ekstern bedrift Yara. Betongdekket befinner seg i et aggressivt miljø, hvor det blant annet fremstilles salpetersyre med konsentrasjon inntil 60%. En del av oppgaven vil gå ut på å gjennomføre noen tester som kan si noe om hvordan det aggressive miljøet påvirker den armerte betongen.

Dekket skal beregnes både som enveisplate og toveisplate. Her skal kapasiteten kontrolleres, samt gjennomføre ytterligere kontroller mot dagens krav. Det skal også vurderes hvilken konsekvens dekket får av beregning med redusert armeringstverrsnitt.

Bakgrunnen for oppgaven ligger blant annet i FN's bærekraftsmål, hvor det overordnet er fokus på bærekraftig utvikling. Bygg- og eiendomssektoren står for 40% av alt CO₂-utslipp globalt. Produksjonen av betong gir en av de største CO₂-utslippene innenfor byggebransjen. En viktig løsning for å redusere CO₂-utslippene i byggebransjen vil være å sørge for at byggene er utformet og dimensjonert for lang levetid, og at de tåler laster og klimapåkjenninger. Ved å kontrollere og vedlikeholde konstruksjoner av betong vil CO₂-utslippene bli redusert, istedenfor å rive og bygge nytt. (Byggalliansen).

Betong er et byggemateriale som har blitt brukt i tusenvis av år. I dag står det konstruksjoner av betong som ble bygd for 50-100 år siden, som nå må rives eller rehabiliteres for videre bruk. Yara har i denne sammenhengen hyret inn eksterne konsulenter for å danne en tilstandsrapport til anlegget deres. Tilstandsrapporten skal si noe om kritiske områder og en anslått restlevetid for anlegget.

1.2 Problemstilling

Denne oppgaven er en integritetskontroll av et armert betongdekke som befinner seg i et aggressivt syremiljø. I oppgaven skal dekket dimensjoneres og kontrolleres mot Eurocode 2, samt gi en vurdering på hvordan syremiljøet har påvirket dekket.

1.3 Begrensninger og forutsetninger

Det er satt noen avgrensninger i forbindelse med oppgaven. Disse er tatt med hensyn til tilgang på utstyr, utførte tester og oppgavens tidsbegrensning.

Konstruksjonen består opprinnelig av tre etasjer, men det er valgt å utelukke se på betongdekket som befinner seg i andre etasje. Dette er gjort av hensyn til de tegningene som var tilgjengelige i arkivet, da det er ønskelige å gjennomføre beregningene nærmest mulig realiteten. Det er også dekket i andre etasjen som er konstruksjonsdelen som er mest utsatt for det aggressive miljøet. Dekket er også blitt begrenset i størrelse, ettersom at dokumentasjon og virkelighet ikke stemmer overens, som gjorde enkelte beregninger uoverkommelig.

I beregningene er det valgt å se bort fra torsjon og spennarmering. Det var planlagt å se på spennarmert betong, men det ble i ettertid oppdaget at betongdekket ikke var spennarmert. I lyset av dette ble beregninger for spennarmering sløyfet. Det har også vært nødvendig å gjøre antagelser på bakgrunn av manglende tester og dokumentasjon.

Begrenset tilgang til testutstyr og tidkrevende reisevei til anlegget har begrenset muligheten for enkelte tester. Testene som har blitt gjennomført ble utført på den ene befaringen som ble avholdt tidlig i prosjektperioden, og kun med det utstyret som var tilgjengelig på det aktuelle tidspunktet.

1.4 Terminologi

1.4.1 Forkortelser

TEK17	Byggteknisk forskrift 2017
EC2	Eurocode 2
SAK10	Byggesaksforskriften 2010
ALS	ALS Laboratory Group
BIM	Bygningsinformasjonsmodellering

1.4.2 Definisjoner

\emptyset	Diameter på armeringsjern i millimeter (Fallsen, 2017)
A_{s1}	Strekkarmering
A_{s2}	Trykkarmering
f_{ck}	Karakteristisk trykkfasthet
f_{cd}	Dimensjonerende trykkfasthet
ϵ_{c2}	Tøyningen i det maksimalspenningen oppnås
ϵ_{cu2}	Tøyningsgrensen i bruddgrensetilstand
α_{cc}	Lastkoeffisient
M_{Ed}	Opptredende moment
M_{Rd}	Momentkapasitet
N_{Rd}	Aksialkraftkapasitet
V_{Ed}	Dimensjonerende skjærkraft
$V_{Rd,c}$	Skjærstrekkapasitet
$V_{Rd,max}$	Skjærtrykkapasitet
δ_{maks}	Max tillat nedbøyning
δ_{II}	Nedbøyning pga korttidslast
δ_{Lang}	Nedbøyning pga langtidslast
δ_{svinn}	Nedbøyning pga svinn
W_{max}	Max tillat risvidde
w_k	Beregnet rissvidde

1.5 Disposisjon

- Kapittel 1 Beskriver bakgrunnen for prosjektet, samt problemstilling og begrensninger for oppgaven
- Kapittel 2 Presenterer teori som er relevant bakgrunnsinfo for gjennomføring av oppgaven
- Kapittel 3 Tar for seg hvilke metoder som ble brukt for å gjennomføre undersøkelser og tester ved befaring, samt beregningsgrunnlag for dimensjoneringen av betongdekket
- Kapittel 4 Resultatene fra undersøkelser og tester presenteres, samt beregningsresultat for dekket
- Kapittel 5 Beregningsresultatene blir diskutert og vurdert. Dette gjelder også resultatene fra observasjoner og tester gjort på befaring
- Kapittel 6 Oppgaven konkluderes ut fra gjennomførte beregninger og tester
- Kapittel 7 Refleksjon og vurdering av oppgaven

2. Teoretisk grunnlag

2.1. Lover og forskrifter

2.1.1 Generelt

Plan- og bygningsloven er det mest sentrale lovverket for all byggevirksomhet i Norge, og bestemmer hvordan landets areal skal benyttes og reguleres. For å sikre en forsvarlig utførelse og kontroll med byggearbeider finnes det regler om behandling av byggesaker. Lovene inneholder enkelte materielle krav til byggverk og gir hjemmel til byggetekniske forskrifter for ytterligere krav. (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022). Plan- og bygningsloven er en ramme- og fullmaktslov, som styrer hovedbestemmelsene for byggevirksomheten. (Larsen, 2014, s. 16).

Byggesaksforskriften, forkortet SAK10, er en forskrift som utfyller plan- og bygningslovens regler og tar for seg blant annet kvalitetssikring, kontroll, byggesaksbehandling og tilsyn. SAK gir veiledning på hvordan kravene i forskriftene kan etterfølges i praksis. (DIBK, 2011). Byggeforskriftene inneholder detaljbestemmelser om blant annet bygningsdeler og installasjoner. (Larsen, 2014, s. 15).

Byggeteknisk forskrift, kjent som TEK17, er en forskrift som stiller minimumskrav til egenskapene byggverk må tilfredsstille for å kunne lovlig oppføres i Norge. Formålet med byggeteknisk forskrift er å bidra til god kvalitet som samsvarer med plan- og bygningsloven. (DIBK, 2017).

2.1.2 Norsk standard

Standard Norge forvalter og utvikler standarder og har enerett til å gi ut standarder i Norge. Standard Norge bidrar til at norske, internasjonale og europeiske standarder er tilgjengelige og tas i bruk. I tillegg er Standard Norge landets representasjon i CEN, europeisk standardorganisasjonen og ISO, den internasjonale standardorganisasjonen. Oppgaven til Standard Norge i disse organisasjonene er å ivareta norske interesser når det blir utarbeidet standarder internasjonalt. (Standard Norge, 2022). Standard Norge definerer selv standardene som «en felles oppskrift på hvordan noe skal lages eller gjennomføres». (Hofstad, 2018).

Standard Norge har blant annet gitt ut en rekke eurokoder som er en felles europeiske serie og ble laget på oppdrag fra Europakommisjonen og Det europeiske frihandelsforbund. Eurokodene er standarder for planlegging, prosjektering, utførelse og verifikasjon av bygg- og anleggskonstruksjoner. Standardene inneholder informasjon om utførelse og dokumentasjon som er nødvendige og blir fordelt på ulike materialer, produkter og konstruksjonstyper. Det er gjeldende både for nye og eksisterende bygg. Det er til sammen 10 forskjellige Eurokoder og i tillegg er det Nasjonale Tillegg som er nasjonale prosjekteringsbestemmelser som inneholder parameter som egner seg mer for hver enkelt nasjon. (Standard Norge).

Standarder brukt i oppgaven:

NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016 – Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019 – Eurokode 1: Laster på konstruksjoner

NS-EN 1992-1-1:2004+A1+NA – Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner

2.1.3 Byggforskserien

Byggforskserien gir løsninger og anbefalinger som oppfyller kravene som blir stilt i byggeteknisk forskrift. Serien kan brukes til prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger. I motsetning til plan- og bygningsloven er ikke Byggforskserien et lovverk, men serien tilfredsstiller kravene som blir stilt i lovverket. Byggforskserien blir anbefalt av direktoratet for byggekvalitet til bruk av dokumentasjon i byggesaken, som underlag for kontrollplaner og sjekklister. Den blir utviklet og utgitt av SINTEF, og er basert på deres kunnskaper fra forskning og utvikling, materialprøver, produktsertifisering, teknisk godkjenning og byggeskadesaker. (Byggforskserien).

2.2. Betong

2.2.1 Generelt

Betong dennes ved at sement og vann blandes med tilsetningsstoffer, og materialer som stein og sand. En faktor for styrken til betong er den kjemiske prosessen som starter når sement blandes med vann. Denne prosessen gjør at massen stivner og kan gi betongen svært høy styrke. (Thue, 2019). Som bygningsmateriale er det mye brukt, og benyttes i ulike konstruksjoner. For eksempel i prefabrikkerte elementer og plasstøpte konstruksjoner. Plasstøpte konstruksjoner er en konstruksjon som blir støpt på stedet konstruksjonen skal befinne seg. Fordeler med en slik konstruksjon er bedre plassutnyttelse og redusert behov for veitransport. (Revfem, 2018).

2.2.2 Sement

Sement er det aktive bindemiddelet i betong. Bindemiddelet er mineralisk og herder ved tilsettelse av vann. Sement består av kalk, silisium, jern og aluminium. Man kan også tilføye tilsetningsstoffer i sement for å forsterke enkelte egenskaper. Eksempler på egenskaper er raskere herding, styrke og resistens mot kjemiske angrep. (Årtun, Nesse, & Eide, 2023).

2.2.3 Armering

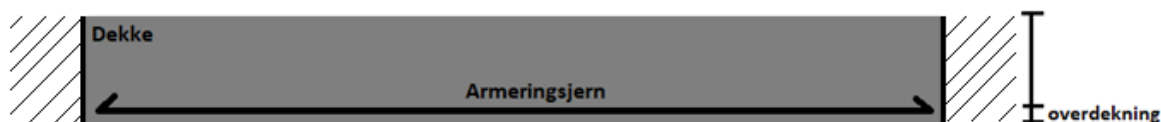
Armering tåler store strekkføyninger og kompenserer for betongens lave strekkstyrke. Kombinasjonen av betong og armering tilpasser hverandre godt, da armeringen begrenser rissvidder og gir konstruksjonen duktil oppførsel. Betongen blir liggende som et brann- og korrosjonsbeskyttende lag rundt armeringsstålet. (Sørensen, 2017, s. 3).

Armeringsstålet er mest brukt med sirkulære tverrsnitt og plasseres ofte i delen av konstruksjonen som blir utsatt for strekkrefter, som regel i underkant av bjelker. Den type armeringsstål som blir oftest brukt kalles kamstål og er stålstenger med knaster på overflaten som gir bedre forankring. Det kan også brukes armering i form av netting, som er armeringsstål lagt i et rektangulært mønster og sveiset fast.

Armeringen kan deles opp i ulike typer og kategorier, disse er slakkarmering og spennarmering. Slakkarmering blir støpt i konstruksjonen, men uten å bli påført ytre krefter. Spennarmering blir montert med en viss strekkraft, slik at det oppstår trykkspenninger i betongen. (SNL, 2019).

2.2.4 Overdekning

Avstanden fra betongoverflaten og inn til armeringen som ligger nærmest overflaten kalles overdekning som vist i Figur 2.1. Det er viktig med tilstrekkelig overdekning for å beskytte armering mot korrosjon, økt overdekning gir bedre beskyttelse. Nominell overdekning er minste overdekning pluss et tillegg for eventuelle avvik. (EC2, s. 4.4.1.1). Minste overdekning skal sikre beskyttelse mot korrosjon for stålet inne i betongen, tilfredsstillende brannmotstand og overføre krefter ved hjelp av heft. (EC2, s. 4.4.1.2).



Figur 2.1 Overdekning

2.2.5 Fasthetsklasse

Trykkfastheten til betong betegnes ved fasthetsklasser knyttet til terningfasthet eller sylindrefasthet. Den mest standardiserte er sylindrefasthet som bestemmes etter 28 dager. (EC2, s. NA 3.1.2). Sylindrefasthet måles ved å benytte en trykkpresse til å trykke sammen en støpt betongsøyle med diameter 15 cm og høyde 30 cm. En sylindere som tåler 35 MPa før den knekker vil da få en betongkvalitet B35 (betongsentrum.no, 2020).

Ved dimensjonering blir det tatt hensyn til at virkningen av langtidslasten reduserer trykkfastheten. Dette gjøres ved at man ganger inn en materialfaktor α_{cc} med verdi 0,85.

2.2.6 Eksponeringsklasse

Eksponeringsklasser handler om hvilke miljøpåvirkninger en konstruksjon blir utsatt for. Ut fra tabell 4.1 i EC2 er det flere faktorer som påvirker klassifiseringen. De aktuelle faktorene er korrosjon og andre angrep. Korrosjon deles inn i tre forskjellige klasser: korrosjon framkalt av karbonatisering, klorider som ikke er fra sjøvann og klorider fra sjøvann. Armeringen kan bli utsatt for to typer angrep, hvor det ene er kjemisk angrep og den andre er endringer i temperatur. Det er andre faktorer som også tas hensyn til i klassifiseringen. For eksempel økes klassen med to, dersom dimensjonerende brukstid settes til 100 år. (EC2, s. Tabell 4.3N).

2.3. Miljø og skader

2.3.1 Generelt

Skader på betongkonstruksjoner øker faren for skader på gjenstand og person. I ytterste konsekvens kan en skadet betongkonstruksjon kollapse og skape store ødeleggelser. Nedbrutt betong og armeringskorrosjon kan føre til avskalinger av betong, som gjør at biter kan falle av og skade personer eller utstyr. Dersom det oppstår større avskallinger og delaminering i trykksonen vil dette kunne føre til betydelig reduksjon i betongtverrsnittets kapasitet, som kan føre til sammenbrudd.

Det er viktig å oppdage skader tidligst mulig, både for å identifisere skadeårsak og for å sette i gang tiltak. Effekten av forebyggende tiltak på betongkonstruksjoners levetid er langt større enn om det går så langt at det er nødvendig med reparasjoner. Det er derfor viktig med kunnskap om skadesymptomer, tilstandsgrader og mulige skademekanismer. (Byggforsk 720.105).

2.3.2 Miljø

Betong reagerer med karbondioksidet i luften ved en karbonatiseringsprosess. Karbondioksidet og kalsiumhydroksidet i betongen reagerer kjemisk og danner kalsiumkarbonat. Dette gjør at pH verdien i betongen synker og ødelegger passivfilmen som er et beskyttende sjikt på overflaten, som blir dannet av det høye pH-nivået i betongen. Dersom passivfilmen blir ødelagt kan armeringen korrodere og betongen avskalle.

Denne prosessen kan også oppstå ved klorider. Klorider er bundet kjemisk til sementpastaen, men utgjør ingen fare for armeringskorrosjon. Passivfilmen brytes ned ved oppløsning av klorider i betongen. Omfanget av angrepet avhenger av forholdet mellom hydroksylioner og kloridioner. Ved lav andel kloridioner vil ikke den aktive korrosjonen komme i gang, og passivfilmen blir reparert av hydroksylioner. Betong med klorider kan eksempelvis stamme fra innstøpte materialer utenfra, sjøvann eller annen form for salt.

Man kan få frostskaadet betong dersom vanninnholdet i betongen blir så høyt at volumendringen overgår betongens strekkapasitet når vannet fryser. Frostskaader gir som regel riss og avskallinger og omtales gjerne som frostsprengninger. De første frostskaadene er som regel kun av estetisk betydning, men over tid vil flere frostskaader føre til lavere overdekning og økende eksponering. (Byggforsk 720.105).

2.3.3 Nedbøyning

Høy belastning på betongen kan føre til deformasjoner. Nedbøyningen skal ikke påvirke konstruksjonens funksjon eller utseende ugunstig. Under normale forhold er ikke nedbøyningsberegninger nødvendig, ettersom at kravene til grenseverdi, som baserer seg på forholdet mellom spennvidde og høyde er tilstrekkelig. Dersom det er nødvendig med beregning, skal beregningsmetoden representere konstruksjonens faktiske oppførsel ved de aktuelle påkjenningene. (EC2, s. 7.4.3). Grensen for nedbøyning skal ikke overskride $\frac{\text{spennvidde}}{250}$. I tilfeller der konstruksjonen kan skade tilstøtende deler, skal ikke nedbøyningen overskride $\frac{\text{spennvidde}}{500}$. (EC2, s. 7.4).

2.3.4 Kryp og svinn

Kryp og svinn kjennetegnes ofte som volumendringer. Disse faktorene kan påføre konstruksjonen spenninger dersom volumendringene blir hindret. Kryp er en deformasjon som avhenger av tid og ytre belastninger. Det finnes to former for deformasjon, det er plastisk og elastisk deformasjon. Plastisk deformasjon er en varig endring, mens elastisk deformasjon vil reverseres ved opphøring av belastning. Kryptallet angir størrelsen på krypingen, som er forholdet mellom krypdeformasjon og momentan deformasjon. (Meyer, 2021). Kryp og svinn er avhengig av betongens tverrsnittssammensetning og fukt. Kryp blir påvirket av belastningens størrelse og varighet, samt modenheten til betongen når belastningen påføres. (EC2, s. 3.1.4(1)).

2.3.5 Riss

Riss, krakelering og sprekker kan oppstå ved armeringskorrosjon, der korrosjon fører til utvidet volum og gir sprengvirkning. Korrosjon kan oppstå ved for høyt kloridinnhold ved armeringsnivå eller karbonatisering. Overbelastning, dårlig etterbehandling, alkalireaksjoner eller setninger er andre mulige årsaker til at riss oppstår. Symptomer på riss oppdages enten visuelt, eller med risslupe.

Konsekvenser ved dannelse av riss kan være redusert bestandighet, som kan påvirke bæreevne og kan føre til at konstruksjon ikke er vanntett lengre. Riss kan også gi redusert armeringstverrsnitt og heft mellom armering og betong. (Byggforsk 720.112(3)). Det kan være aktuelt å reparere riss. En mulighet er å forsegle rissene, i form av å påføre et elastisk malingsbelegg. Dette gjøres på ulike måter ut fra om risset er dødt, levende eller betent. Levende riss kan komme grunnet vibrasjoner og svingninger. Betente riss forekommer grunnet pågående armeringskorrosjon og alkalireaksjoner. (Byggforsk 720.425).

2.3.6 Syre

Vanlig betong har lav motstandsdyktighet mot syreangrep. Syreangrep omdanner bindestoffene i betong til kjemiske forbindelser som er ikke bindende. Kalsiumhydroksidet i betongen omdannes også til kalsiumsalter som er vannløselige og vaskes ut, derfor blir sementpastaen brutt ned. Nedbrytningen starter i betongoverflaten, betongpastaen vaskes ut og synliggjør tilslaget. Volumutvidelse grunnet ettringittdannelse gjør at det i tillegg oppstår avskallinger grunnet smuldring. Over tid vil angrepet redusere overdekningen til et nivå hvor armeringen er uten beskyttelse. Dette fører til høy risiko for korrosjon på armering som kan redusere bæreevnen betraktelig. (Byggforsk 720.105).

2.4. Bæresystem

2.4.1 System

Når man skal legge grunnlaget for dimensjonering av en konstruksjon er det avgjørende å bestemme hvordan statikken utformes. Et statisk system viser hvordan bæresystemet i en konstruksjon fungerer gjennom en modell. Systemet tar hensyn til lengder og opplagerbetingelser, og blir bestemt ut fra hvilke komponenter som inngår i konstruksjonens bæresystem. Laster og krefter som virker på konstruksjonen vil ha en betydning for utformingen av det statiske systemet, da ulike utforminger av modeller vil påvirke kapasiteten ulikt. I et optimalisert bæresystem er samspillet mellom de ulike konstruksjonselementene avgjørende for at konstruksjonen blir dimensjonert presist og riktig. En plate må for eksempel understøttes av bjelker og søyler for å tåle vekten av lasten den blir påført. (Larsen, 2014, s. 91).

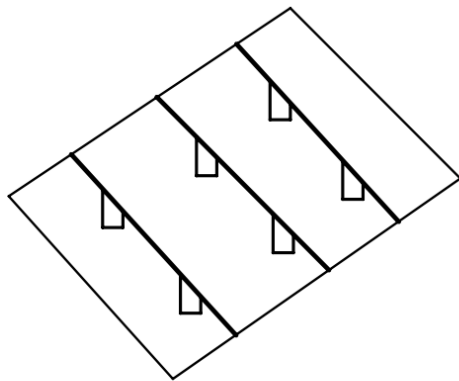
2.4.2 Etasjeskiller / dekke

Etasjeskiller i betong blir ofte omtalt som et dekke og kan utformes i ulike varianter. Etasjeskilleren, eller dekket, har som funksjon å skille mellom to etasjer og den viktigste egenskapen er å tilfredsstille kravet om bæreevne. Tunge etasjeskillere er av betong, lettklinker eller porebetong. Spennarmert betong i dekker tillater større spennvidder i bæresystemer og gir mulighet for store og åpne området i et bygg. Den tradisjonelle metoden å bygge en etasjeskiller på er plasstøpt betong, hvor det blir støpt på stedet. Et dekke av betong kan også legges direkte mot grunn. Etasjeskillere og dekker er eksempler på viktig bruk av plater. (Larsen, 2014, s. 91).

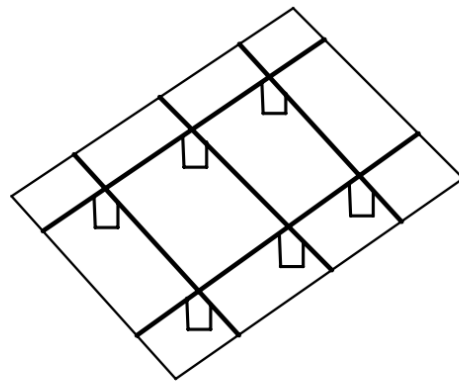
2.4.3 Plate

Plater er et todimensjonalt element med liten tykkelse, og er belastet med jevnt fordelt eller konsentrerte punktlaster normalt på sitt eget plan. Det som skiller platen og bjelken er at platen bærer en ytre tverrlast til opplagrene ved bøyning i x- og y-retning, mens bjelken bærer kun i en retning. (Larsen, 2014, s. 90).

Plater blir delt opp i to grupper: de som fører lasten ut i en retning og de som fører lasten ut i to retninger. En plate som fører last ut i en retning kalles enveisplate. Det vil si at lastene vil bli ført ut i korteste spennretning. For en toveisplate bæres lastene i to retninger slik at plater får bøyemoment i x- og y-retning. Når det brukes toveisplater vil det være behov for flere bjelker for å understøtte lastene, men til gjengjeld kan tykkelsen reduseres. En plate med spennviddeforhold mellom lengste og korteste spennvidde mindre enn 2,0 blir behandlet som en toveisplate. Platen kan da ikke ha to frie sidekanter. (EC2. 5.3.1(5)). I Figur 2.2 vises forskjellen på hvordan en enveisplate og en toveisplate blir støttes opp fra undersiden.



a) Enveisplate

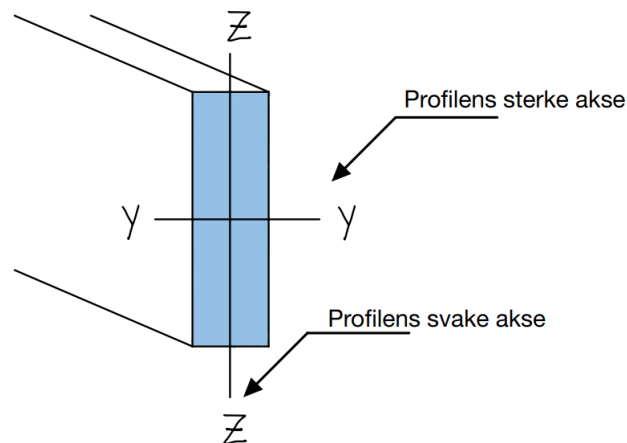


b) Toveisplate når spennviddeforholdet mellom $a/b < 2,0$

Figur 2.2 Ulik støtte på undersiden av en enveisplate og toveisplate

2.4.4 Bjelker

Bjelker er ofte en bærende konstruksjonsdel som er plassert under gulv, i et bjelkelag, tak eller et dekke. Bjelker er utsatt for skjærspenning, bøyespenning og normalspenning, og er utsatt for nedbøying grunnet påført moment og krefter. (SNL, 2023). Bjelker har som regel større dimensjoner i lengderetning enn bredde og høyde. (Larsen, 2014, s. 78). En bjelke av armert betong kan ha ulik utforming av tverrsnitt, blant annet rektangulær, eller formet som H-, I-, eller T-bjelke. De ulike utformingene av tverrsnittene passer godt til ulike situasjoner. (Uit - Meccanica). Bjelkenes styrker blir fordelt i forhold til akser, og den sterke akse skal være y-aksen, mens den svake er z-aksen, som vist i Figur 2.3.



Figur 2.3 Bjelkens svake og sterke akse

2.4.5 Søyler

Søyler er ofte utformet med et rundt tverrsnitt og står frittstående, men kan også være kvadratisk utformet. Søylens funksjon er hovedsakelig å oppta og overføre trykkrefter fra toppen og ned mot grunnen, men tar også opp bøyingsmomenter som for eksempel i en rammekonstruksjon. (Arne Gunnarsjaa, 2021). Søyler må alltid kontrolleres mot knekking da dette er en uønsket situasjon, og kan føre til deformasjon av konstruksjoner. Det er spesielt slanke søyler som må kontrolleres mot knekking da korte søyler ofte har stor tykkelse. (Uit - Meccanica).

2.5. Laster

2.5.1 Nyttelast

Nyttelast er den fysiske belastningen som blir påført på konstruksjonen utenfra og oppstår ved bruk. Nyttelast er eksempelvis personer, møbler og maskiner. Dette er laster som varierer i størrelse, posisjon og retning. Nyttelast kan både være punktlast, linjelast og fordelt last. Ved dimensjonering skal man ta hensyn til det mest ugunstige lasttilfelle. (EC1, s. 3.3.1(1)).

2.5.2 Egenlast

Egenlast er lasten en konstruksjon påfører seg selv uten nyttelast. Egenlast beregnes fra materialets tyngdetetthet, dimensjon og oppbygningen av konstruksjonen. Egenlast blir benyttet ved prosjektering for statiske beregninger og angis i kN/m^2 . (Byggforsk 471.031).

2.5.3 Snølast

Snølast er den lasten konstruksjonen utsettes for grunnet vekten av snøen som legger seg på konstruksjonen. Snølast på tak beregnes etter karakteristisk snølast. Karakteristisk snølast på mark tas ut fra en returperiode på femti år for hver enkelt kommune. Hvilken kommune konstruksjonen befinner seg i, antall meter over havet, geometri og takutforming er faktorer som spiller inn ved fastsettelse av snølast. (Byggforsk 471.041).

2.5.4 Vindlast

Vindlast er belastningen konstruksjonen utsettes for grunnet vind. Vindlast klassifiseres som frie krefter og kan endre retning og fordeling i rommet. (EC1, s. NA 7.1.2). Karakteristisk laster for vind er utarbeidet i nasjonale standarder. Man må ha kjennskap til hvilken kommune konstruksjonen befinner seg i, topografi, takutforming og plassering i forhold til andre bygninger for å kunne fastsette vindlast. (Byggforsk 471.043).

2.6. Grensetilstander

2.6.1 Bruddgrensetilstand

Bruddgrensetilstanden viser til når en konstruksjons kapasitet går mot brudd og ikke kan opprettholde bæreevne eller funksjon. Dette innebærer tap av likevekt for hele eller deler av konstruksjonen, som velting, gliding eller kantring. Det innebærer også brudd i enkelt tverrsnitt, brudd definert ved omfattende forskyvinger eller brudd som er forårsaket av utmatting.

Bruddgrensetilstanden blir sett på som et kritisk punkt, og er en tilstand man ikke ønsker å oppnå i en konstruksjon. Ved å sikre mot overbelastning og hindre at konstruksjonen overgår bruddgrensetilstanden er det viktig å dimensjonere og utføre konstruksjonen riktig, slik at den tåler belastningen den blir utsatt for. Opptredende laster multipliseres med sikkerhetsfaktor for å være på sikker side, selv om det er liten sannsynlighet for at lasten opptrer i løpet av konstruksjonens levetid. (Larsen, 2014, s. 25 & 26).

Armeringen blir valgt på grunnlaget av beregningen som er gjort i bruddgrensetilstand. Videre blir moment- og skjærkapasitet kontrollert, samt torsjon, forankring og heft. (Larsen, 2014, s. 25).

2.6.2 Bruksgrensetilstand

Bruksgrensetilstanden er knyttet til funksjonsdyktigheten til en konstruksjon. Dette innebærer blant annet tidsavhengige faktorer som kan begrense bruken av eventuelt utstyr, som nedbøying, riss, kryp, svinn og vibrasjoner. Bruksgrensetilstand er i motsetning til bruddgrensetilstand en akseptabel tilstand og blir dimensjonert for at konstruksjonen fungerer som ønsket i hele levetiden. (Larsen, 2014, s. 25). Ved beregning av laster i brukstilstanden, settes som regel dimensjonerende last lik karakteristisk last, ettersom at det multipliseres med lastfaktor lik 1. Dette gjør at de dimensjonerte lastene er realistiske, og det forventes at konstruksjonen vil bli belastet slik under vanlig bruk. (Trehus, s. 434).

2.7. Programvare

2.7.1 Archicad 25

Archicad er et BIM verktøy som gjør det mulig å designe tredimensjonale modeller, og kan samle alle prosjekttegninger i en virtuell modell.

2.7.2 TruView Enterprise

Truview Enterprise er et punktskydataprogram hvor man kan samle bilder for å bygge opp en digital versjon av en konstruksjon. Dette gjøres ved å ta flere skanninger for det aktuelle området. Skanningene blir så detaljerte at det er mulig å ta målinger av for eksempel tykkelsen til et dekke.

2.7.3 Autodesk Viewer

Autodesk Viewer er en programvare hvor man kan designe enkeltelementer og konstruksjoner, både i 2D og 3D. Viewer har også funksjoner som gir mulighet til å være inne i modellene virtuelt.

2.8. Tilstandsgrad og analyse

Tilstandsanalyse blir delt inn i tre ulike nivåer ut fra hvor avansert analysen skal utføres. Nivå 1 er en enkel analyse som skal gi oversikt. Nivå 2 er utvidet analyse hvor det skal gis grunnlag for å prioritere tiltak og gi overslag over tiltakskostnader. Nivå 3 skal være en fullstendig analyse, som innebærer spesialundersøkelser som gir grunnlag for å prosjektere og budsjettere enkelttiltak. En analyse kan innebære enkelte konstruksjonsdeler, eller hele bygningen. (Byggforsk 720.111). Formålet med å få gjennomført en tilstandsanalyse kan være at eier eller forvalter av et bygg skal få kunnskap om hvilken tilstand bygningen er i og hvilke konsekvenser dette kan gi. (Byggforsk 700.305).

Tilstandsgradene blir delt inn i fire betegnelser i henhold til NS 3424. Hvor TG 0 tilsvarer ingen symptomer, TG 1 tilsvarer mindre eller moderate symptomer, TG 2 angir store eller alvorlige symptomer og TG 3 betyr kraftige eller alvorlige symptomer. Vurderingen av tilstand blir tatt med hensyn til blant annet konstruksjonens tekniske, funksjonelle eller etiske status på et gitt tidspunkt. Under dette ligger faktorer som blant annet slitasje, nedbrytning og vedlikeholdsarbeid. (NS 3424).

Videre blir tilstandsgradene vurdert opp mot risiko og konsekvensgrad. Her er det også fire ulike betegnelser. Hvor KG 0 beskriver ingen konsekvenser, KG 1 angir små og middels konsekvenser. KG 2 er vesentlige konsekvenser og KG 3 er store og alvorlig konsekvenser, og krever strakstiltak. (NS 3424).

2.9. Klimamål og bærekraft

I 2015 ble det vedtatt en felles arbeidsplan for å utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter og stoppe klimaendringer innen 2030. Denne arbeidsplanen er kjent som FNs 17 bærekraftsmål. Norge har i tillegg til dette satt seg et mål med å redusere klimautslipp med opptil 55 prosent. (Regjeringen, 2022). Man kan plassere bevaring og gjenbruk av eldre betongkonstruksjoner under bærekraftsmål 12: Ansvarlig forbruk og produksjon. Dette vil være med på å redusere avfallsmengden og ressursbruk ved nybygging. (FN, 2023).

3. Metode

3.1. Litteratur

For innsamling av litteratur er Oria, Norsk standard, Vegvesenets publikasjoner i arkivet og ordinært nettsøk benyttet. Oria er brukt for å få tilgang til NTNU sitt digitale universitetsbibliotek. Norsk Standard sine publikasjoner av Eurokoder blir benyttet til prosjektering av byggverk. Arkivet til Vegvesenet inneholder tidligere publikasjoner som angir relevante verdier for beregningen av eldre konstruksjoner. Utover dette er det lagt vekt på å prioritere nyeste versjoner av litteratur, for å sikre at siste publikasjon av regelverk blir brukt. I tillegg har Yara gjort søk i arkivene for å finne relevante stoff, som tegninger av konstruksjonen, rapporter og annen informasjon som er relevant for oppgaven.

3.2. Statisk modell

For å kunne gjøre nye beregninger på bæresystemet er det vesentlig å velge en statisk modell som passer til konstruksjonen. Det er viktig å gjøre konservative valg for å sikre mot verst tenkelige tilfeller. På grunnlag av armeringstegninger og befaringer er det valgt å se på betongdekke som 10 individuelle, fast innspente plater som vist i Figur 3.1, samt vedlegg C.1. Betongdekket består egentlig av 12 plater, men ettersom at armeringstegningen ikke samstemmer med virkeligheten på to av platene er det valgt å se bort fra disse.



Figur 3.1 Fast innspente plate

Siden fire plater ikke har frie sidekanter og forholdet mellom lengste og korteste spennvidde er en, beregnes fire av ti platene som toveisplater. (EC2, s. 5.3.1(5)). De resterende platene har forhold mellom lengste og korteste spennvidde større enn to, og anses dermed som enveisplate.

3.3. Laster

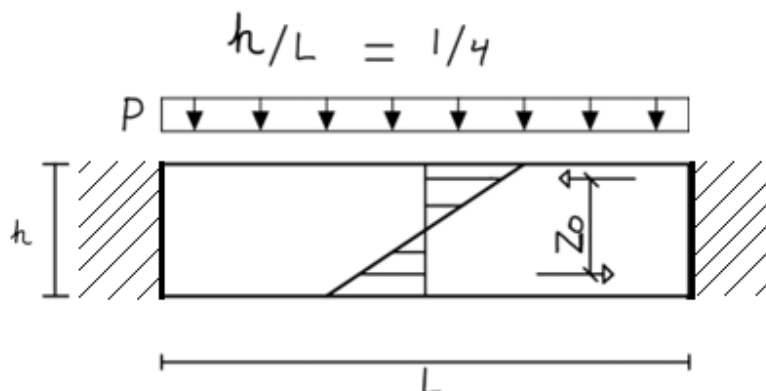
Når det gjelder laster, er det valgt å kun se på egenlast og nyttelast. Bakgrunnen for valget er i hovedsak siden vindlast og snølast ikke påvirker betongdekket i stor grad. Dekket er skjermet for vinden av andre konstruksjonsdeler og minimalt av snø treffer dekket da det er en etasje over som hindrer snø i å havne på betongdekket. Det antas normal betong og armering i dekket se Tabell 3.1. Nyttelast er hentet ut for klasse E1 fra EC1 Tabell 6.4.

Tabell 3.1 Laster

Type last	Last	Hentet fra
Egenlast	24 kN/m ³ (betong) 1 kN/m ³ (armering)	(Betongelementboken, 2020, s. 304)
Nyttelast	7.5 kN/m ²	(EC1, s. Tabell 6.4)
Bruksgrense	15 kN/m ²	25 kN/m ³ *0.3m + 7.5 kN/m ²
Bruddgrense	20.25 kN/m ²	25 kN/m ³ *0.3m*1.2+7.5 kN/m ² *1.5

3.4. Beregningsmetoder

Beregningen er gjort for hånd og ført inn i Word. Siden forholdet mellom høyden og lengden av dekket er mindre enn 1/4, blir dekket betraktet som en lav bjelke og ikke en skive. (Larsen, 2014, s. 79). Dette tillater bruk av Naviers hypotese om at plane tverrsnitt forblir plane, og spenningen varierer lineært over bjelkens høyde. (Larsen, 2014, s. 88). Figur 3.2 viser spenningsfordelingen for lave bjelker.



Figur 3.2 Spenningsfordeling i lav bjelke

Dekket blir først betraktet som en bjelke med bredde 1 meter, og delt inn i ulike snitt etter armeringsmengde og plassering av armering. Videre blir platene som er kategorisert som toveisplate beregnet, se vedlegg D.10.

Ut fra tilgjengelig informasjon om det eksisterende dekket blir beregningen gjennomført med betong av B300 kvalitet, som ifølge håndbok V413 tilsvarer B20 betong i dag. (V413, 2021). Dette er et konservativt valg da det ikke er gjennomført boreprøver for å avdekke kvaliteten til betongen. Det er også gjort et konservativt valg for kvaliteten til armeringen. Håndbok

V413 forteller at dersom armeringskvaliteten for kamstålet er ukjent skal Ks 40 benyttes. Tabell 3.2 gir materialegenskapene for bestemt armering og betongkvalitet, mens Tabell 3.3 gir verdier for uavhengige materialfaktorer som blir brukt ved beregning. Andre materialegenskaper og verdier ligger i vedlegg D.1-D.10.

Tabell 3.2 Materialegenskaper for valgt armering og betong

Egenskaper	Verdi
Betongkvalitet	B300 → B20 (V413, s. Tabell 2.1.2).
Karakteristisk trykkfasthet, f_{ck}	20 N/mm ² (EC2, s. Tabell 3.1).
Dimensjonerende trykkfasthet, f_{cd}	11.3 N/mm ²
Armeringskvalitet	Ks 40
Karakteristisk flytegrense, f_{yk}	400 N/mm ² (V413, s. Tabell 2.1.3).
Dimensjonerende flytegrense, f_{yd}	347,8 N/mm ²

Tabell 3.3 Uavhengige materialfaktorer

Egenskaper	Verdi
Materialfaktor bruddgrense betong, γ_c	1.5 (EC2, s. Tabell NA.2.1N).
Lastkoeffisient, α_{cc}	0,85 (EC2, s. NA. 3.1.6).
Tyngdetetthet armert betong, γ	25 kN/m ³
Materialfaktor bruddgrense armeringsstål, γ_s	1,15 (EC2, s. Tabell NA.2.1N).
E-modul stål, E_s	200 000 N/mm ² (EC2, s. 3.2.7(4)).

3.5. Undersøkelser

3.5.1 Overdekning

Til å kontrollere overdekning blir metalldetektoren Hilti ps20 benyttet. Dette apparatet lokaliserer og fastsetter dybden til armeringen. Metalldetektoren kan lokalisere metall ned til 10 cm dybde. Undersøkelsen av overdekning ble systematisk gjennomført. Ved start ble oversiden av dekket undersøkt da tilgjengeligheten til oversiden er betraktelig bedre enn undersiden. Videre ble det montert stilas for å komme til på undersiden, for å gjennomføre målinger.

3.5.2 Riss

Undersøkelse av riss foregikk hovedsakelig gjennom visuell kontroll ved at betongoverflaten ble kontrollert mot synlige sprekker eller riss. Risslupe og mer avansert utstyr var ikke tilgjengelig. Dette er utstyr som kunne bidratt til et mer presist resultat og bidratt til å identifisere riss som ikke er mulig å oppdage med det blotte øye.

3.5.3 Forvitring

Betongdekket ble undersøkt for forvitring ved visuell observasjon, og dokumentert med fotograferinger. Lokasjonen og alvorlighetsgraden av forvitringen ble notert ned.

3.5.4 Hulrom

Det er flere metoder for å undersøke om det er hulrom i betongen på. Den enkleste testen blir gjennomført med en vanlig hammer. Ved å banke på overflaten til betongen kan man oppdage hulrom under overflaten dersom man får en hul lyd. Et mer avansert verktøy er georadar som sender ut radarpulser og gjør det mulig å oppdage hulrom i betongen. Georadar kan også måle dimensjonen på hulrommet.

3.6. Tester

3.6.1 Trykk

Trykkfastheten til betongen testes ved å borre ut en prøve av betongen, for så å plassere den i en trykkmaskin. Trykkmaskinen er en hydraulisk presse som påfører prøven krefter, og ut fra tilstanden til betongen finner man aktuell trykkfasthet.

3.6.2 Karbonatisering

Det ble gjennomført en borreprøve for å teste karbonatiseringen i betongen. Prøven utføres ved å gradvis borre hull inn i betongen med ett slagbor, for så å spraye fenolftaleinløsning inn i hullet underveis. Fenolftaleinløsningen reagerer med frisk betong og gir en visuell reaksjon med at løsningen endrer farge. Når man oppnår reaksjon mellom sprayen og frisk betong måles dybden på hullet, som angir karbonatiseringsdybden.

3.6.3 Kloridinnhold

Det ble tatt ut to betongprøver for å teste kloridinnholdet i betongen som ble sendt inn til ALS Laboratory Group, for videre analyse. Prøvene ble tatt på sørsiden av bygget som ligger nærmest sjøen og dermed er den siden hvor det er størst sannsynlighet for å finne høyt saltinnhold.

4. Resultat

4.1. Litteratur

Litteratursøk resulterte generelt i få treff. Til teoridelen ga vanlig søk enkelte treff, som blant annet Byggforskserien. Til resterende del av oppgaven er det bøker og standarder som blir benyttet. Yara fant i tillegg noen dokumenter da de søkte i sine arkiver, som var avgjørende for beregningene av kapasiteten. Statens Vegvesens publikasjoner har også vært avgjørende for å bestemme enkelte verdier til beregningene i oppgaven.

4.2. Beregning (snitt)

Plassering av snittene på dekket er illustrert i vedlegg C.4 og plassering av armering i vedlegg C.1. Beregningene av hvert enkelt snitt vises i vedlegg D.1-D.9. Snitt 9 er samme snitt som snitt 2, men med redusert armeringstverrsnitt. Her er tverrsnittet redusert fra $\varnothing 13$ til $\varnothing 12$. Max nyttelast er beregnet ved å sette opptredende krefter lik kapasiteten i bruddgrensetilstand, og løst ut med hensyn på nyttelast.

4.2.1 Armering

Tabell 4.1 viser beregnet minimumskrav og volumet av armeringen i hvert snitt. Tverrsnitt og plassering vises i vedlegg D.1-D.9, der A_{s1} er strekkarmering og A_{s2} er trykkarmering. Tabell 4.1 viser at alle snitt, bortsett fra snitt åtte har mer armering en kravet til minimumsarmering.

Tabell 4.1 Armerings volum (smitt 1-9)

Snitt	Strekkarmering, A_{s1} (mm^2)	Trykkarmering, A_{s2} (mm^2)	Total armering, A_s (mm^2)	Minimums- armering (mm^2)
1	497.75	497.75	995.5	405.4
2	995.5	0	995.5	405.4
3	497.75	1493.25	1991	405.4
4	929	0	929	386.8
5	464.5	464.5	929	386.8
6	502	1004	1506	405.4
7	294.5	294.5	589	407.6
8	280	0	280	407.6
9	848.2	0	848.2	406.1

4.2.2 Overdekning

Virkelig overdekning er 10 mm som vises i kapittel 4.4.1. Vedlegg D.1-D.9 viser beregning av minimum overdekning, regnet ut fra eksponeringsklasse XS3. Ut fra EC2-Tabell NA.4.4N er det ingen eksponeringsklasser som gir verdier på overdekning lik 10 mm eller lavere.

Tabell 4.2 Overdekning (snitt 1-9)

Snitt	Minimum overdekning, c_{min}	Nominell overdekning, c_{nom}	Faktisk overdekning
1-9	60 mm	70 mm	10 mm

4.2.3 Momentkapasitet

Momentkapasiteten forteller hvor stort moment betongdekket kan bli utsatt for før det går til brudd. Den dimensjonerende lasten er 20.25 kN/m^2 se kapittel 3.3. For Snitt 7 og 8 er ikke armeringstøyningen innenfor tillatte krav. Derfor er ikke momentkapasitet for snitt 7 og 8 i Tabell 4.3 presist. Av de resterende snittene er det snitt 5 som har lavest momentkapasitet i forhold til opptredende moment. I bruddgrensetilstand vil snittet tåle en nyttelast på 35.3 kN/m^2 , noe som er betydelig høyere enn 7.5 kN/m^2 som er den dimensjonerende lasten.. Ved sammenligning av snitt 2 og 9 som i utgangspunktet er samme snitt, bare med redusert armeringstverrsnitt, reduseres momentkapasiteten med 12.2 kNm og max nyttelast reduseres med 12.2 kN/m^2 .

Tabell 4.3 Momentkapasitet (snitt 1-9)

Snitt	Opptredende moment, M_{Ed} (kNm)	Momentkapasitet, M_{Rd} (kNm)	Max nyttelast (kN/m^2)
1	27	92.7	40
2	13.5	92.7	86.7
3	27	175	81.5
4	13.5	82.7	76.7
5	27	82.7	35.3
6	27	136.7	62
7	5.5	56.8	134
8	13.2	28.9	23
9	13.5	80.5	74.5

4.2.4 Aksialkraftkapasitet

Tabell 4.4 viser at det er tverrsnitt 8 som har lavest aksialkraftkapasitet. Før brudd inntreffer tåler tverrsnittet en ytre aksiell trykkraft på 3784 kN. Kapasiteten er i bruddgrensetilstand, som vil si at det er lagt til en lastfaktor.

Tabell 4.4 Aksialkraftkapasitet (snitt 1-9)

Snitt	Aksialkraftkapasitet, N_{Rd} (kN)
1	3725
2	3725
3	4060
4	3703
5	3703
6	3898
7	3588
8	3484
9	3675

4.2.5 Skjærkapasitet

Kapasiteten er beregnet for tverrsnitt uten skjærarmoring. Skjærstrekkkapasiteten er betydelig lavere en skjærtrykkkapasiteten for alle snitt i Tabell 4.5. Den dimensjonerende skjærkraften er lavere enn kapasiteten for alle tilfeller. Snitt 5 har lavest skjærstrekkkapasitet i forhold til dimensjonerende kraft, men vil fortsatt tåle en nyttelast på 19.3 kN/m^2 i bruddgrensetilstand.

Tabell 4.5 Skjærkapasitet (snitt 1-9)

Snitt	Dimensjonerende skjærkraft, V_{Ed} (kN)	skjærstrekkkapasitet, $V_{Rd,c}$ (kN)	Max nyttelast ($V_{Rd,c}$) (kN/m^2)	Skjærtrykkkapasitet, $V_{Rd,max}$ (kN)	Max nyttelast ($V_{Rd,max}$) (kN/m^2)
1	40.5	79.3	20.4	884	288
2	40.5	99.8	27	884	288
3	40.5	79.3	20.4	884	288
4	40.5	95.3	25.7	843	275
5	40.5	75.7	19.3	844	275
6	40.5	79.5	20.5	884	288
7	18.2	66.7	43	889	652
8	28.4	65	24.9	889	417
9	40.5	95	25.6	885	289

4.2.6 Nedbøyning

Nedbøyning forekommet av kortidslast, langtidslast og svinn vises i Tabell 4.6. Tabellen viser at det er snitt 5 som er minst motstandsdyktig mot nedbøyning over tid i forhold til den maksimale tillatte nedbøyningen. Likevel må det en nyttelast på mer enn 119.9 kN/m² til for å overskride max tillatte nedbøyning.

Tabell 4.6 Nedbøyning (snitt 1-9)

snitt	Max tillatt etter EC2, δ_{maks} (mm)	Kortidslast (bruksgrense) δ_{II} (mm)	Langtidslast (bruddgrense) δ_{Lang} (mm)	Svinn, δ_{svinn} (mm)	$\delta_{total} = \delta_{lang} + \delta_{svinn}$ (mm)	Max nyttelast (δ_{total}) (kN/m ²)
1	16	0.83	1.45	0.51	1.96	138
2	16	0.83	1.45	0.48	1.94	138
3	16	0.46	0.9	0.86	1.76	221
4	16	1.00	1.67	0.42	2.09	120
5	16	0.97	1.67	0.45	2.01	119.9
6	16	0.58	1.13	0.71	1.84	177
7	7.2	0.05	0.07	0.07	0.14	1378
8	11.2	0.62	0.98	0.08	1.06	147.7
9	16	0.95	1.61	0.42	2.03	124.8

4.2.7 Rissviddekontroll

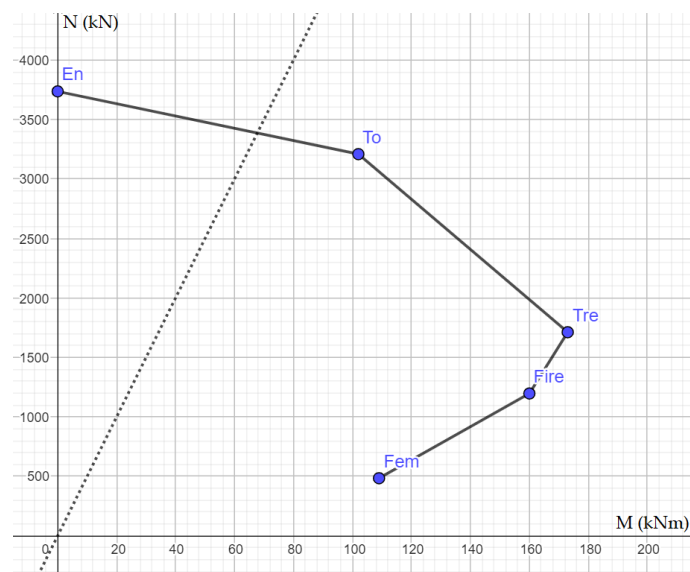
Ved beregning av rissvidde blir det tatt hensyn til armeringsspenning og tøyingsdifferanse. Verdiene i Tabell 4.7 viser at over halvparten av snittene ikke er innenfor kravene. For snitt 8 er beregnet rissvidde mye høyere enn tillatt verdi, dette innebærer at snittet ikke tåler sin egen vekt. Det gjør at man får negativ verdi for max nyttelast. Resterende snitt tåler sin egen vekt, men bare snitt 2,3,4 og 7 tåler den dimensjonerende lasten i bruddgrensetilstand.

Tabell 4.7 Rissviddekontroll (snitt1-9)

Snitt	Max rissvidde, W_{\max} (mm)	Beregnet rissvidde, w_k (mm)	Max nyttelast (w_k) (kN/m ²)
1	0.05	0.090	3.7
2	0.05	0.044	9.1
3	0.05	0.040	10.3
4	0.05	0.049	7.5
5	0.05	0.10	0.75
6	0.05	0.06	5.8
7	0.05	0.02	23.3
8	0.05	0.17	-2.17
9	0.05	0.052	6.9

4.2.8 M-N Diagram

Vedlegg D.1-D.8 viser de beregnede M-N diagrammene. M-N diagrammene er relativt like, men det er noen grafer som skiller seg litt ut fra de andre. Figur 4.1 viser snitt 1, som generelt har høyere aksial likevekt enn de andre snittene, mens snitt 3 og 6 har generelt større momentlikevekt.



Figur 4.1 M-N diagram (snitt 1)

4.3. Beregning (toveisplate)

Det er kun plate 1-4 som blir beregnet som toveisplater, se vedlegg C.4 for inndeling av platene og vedlegg D.10 for beregninger.

4.3.1 Momentkapasitet

Momentkapasiteten til plate 1-4 vises i Tabell 4.8, der de opptredende momentene i begge retninger er like. Momentkapasiteten er høyere i x-retning enn i y-retning. Dette fører til at y-retningen er den begrensende kapasiteten. Platene har kapasitet til en nyttelast på 87.7 kN/m² i bruddgrensetilstand.

Tabell 4.8 Momentkapasitet toveisplate (plate 1-4)

Plate	1-4
Bøyemoment x-retning, M_x	11.9 kNm/m
Bøyemoment y-retning, M_y	11.9 kNm/m
Momentkapasitet x-retning, M_{Rdx}	92.7 kNm/m
Momentkapasitet y-retning, M_{Rdy}	82.7 kNm/m
Max nyttelast:	87.7 kN/m ²

4.3.2 Nedbøyning

Nedbøyningen midt i platefeltet er beregnet til å være 2.25 mm, som er 13.75 mm mindre enn kravet til nedbøyning, se Tabell 4.9. Dette resulterer i tilstrekkelig kapasitet for en nyttelast på 90.1 kN/m² i bruddgrensetilstand.

Tabell 4.9 Nedbøyning toveisplate (plate 1-4)

Plate	1-4
Max tillatte nedbøyning etter EC2, δ_{maks}	16 mm
Nedbygning midt i platefeltet, w (Bruddgrense)	2.25 mm
Max nyttelast	90.1 kN/m ²

4.3.3 Skjærkapasitet

Jevnt fordelt last og lik spennvidde gjør at maksimal skjærkraft er lik for x- og y-retning. De opprettede kreftene i begge retningene er alle innenfor kapasiteten til platene, se Tabell 4.10. Skjærstrekkkapasiteten i y-retning er det svakeste punktet til platen og tåler en nyttelast på 31,4 kN/m²

Tabell 4.10 Skjærkapasitet toveisplate (plate 1-4)

Plate	1-4
Maksimal skjærkraft i x-retning, V_x	27.36 kN
Maksimal skjærkraft i y-retning, V_y	27.36 kN
Skjærstrekkkapasitet i x-retning $V_{Rd,c,x}$	79.3 kN
Skjærstrekkkapasitet i y-retning, $V_{Rd,c,y}$	75.9 kN
Max nyttelast	31.4 kN/m ²
Skjærtrykkkapasitet i x-retning, $V_{Rd,max,x}$	884 kN
Skjærtrykkkapasitet i y-retning, $V_{Rd,max,y}$	843,6 kN
Max nyttelast	410 kN/m ²

4.4. Undersøkelser

4.4.1 Overdekning

Overdekningen ble målt til å være 10 mm på undersiden av betongdekket hvor det ennå eksisterer overdekning, som vist til vestre i Figur 4.2. Målingene på oversiden av betongdekket ga ingen resultat som vist til høyre i Figur 4.2.



Figur 4.2 Overdekningsmåling under dekket (venstre) og overdekning over dekket (høyre)

4.4.2 Riss

Under inspeksjon av betongdekket ble det oppdaget to riss, som er lokalisert på plate 1. Riss nummer en er cirka to meter langt og en millimeter brett, risset er lokalisert midt på oversiden av platen. Riss nummer to er cirka en meter langt og ti millimeter tykt og lokalisert på siden av platen.

4.4.3 Forvitring

Betongdekket bærer preg av forvitring med synlig tilslag og armering. Ved inspeksjonen var det blant annet et avsperrert område under en av syrekjølerne hvor det hadde vært lekkasje og det er synlige skader på overflaten av dekket, se Figur 4.3.



Figur 4.3 Synlig tilslag, misfarging og avsperring på oversiden av dekket

Spesielt innsiden av den åpne betongkonstruksjonen var utsatt for forvitring, utsiden av veggene er ikke påvirket i like stor grad. På betongdekket var det også flere synlige misfarginger med gul og brun farge. På undersiden av dekket var tilslaget synlig på mesteparten av dekket, og det er mange tilfeller av synlig og korrodert armering se Figur 4.4. Tilstandsgraden til generell forvitring i konstruksjonen er presentert i Tabell 4.12.



Figur 4.4 Forvitring og synlig armering på undersiden

4.4.4 Hulrom

Hammertesten som ble gjennomført for å avdekke hulrom ble redusert grunnet et høyt støynivå i fabrikk. Skadene som er påført betongen gjør at overflatene kjennes myke og porøse ut, spesielt på undersiden av dekket.

4.5. Tester

4.5.1 Trykk

Det ble ikke tatt boreprøve av betongen, dermed ble det heller ikke gjennomført trykktesting. Ettersom at det ikke ble gjennomført trykktest ble det gjort konservative betraktninger om trykkfastheten til betongen for å gjennomføre beregningene. Betrakningene ble utført ved hjelp av Vegvesenets publikasjoner som beskrevet i kapittel 3.4.

4.5.2 Karbonatisering

Borreprøvene som forklart i kapittel 3.6.2, viser etter flere forsøk en karboniseringsdybde på cirka 5mm, som vist i Figur 4.5. På figuren ser man reaksjonen mellom frisk betong og fenolftaleinløsning som vises med lilla farge.



Figur 4.5 karboniseringsdybde

4.5.3 Kloridinnhold

Resultatene fra de to borreprøvene presenteres i Tabell 4.11. Resultatet fastslår at det er prøve 1 som inneholder mest klorid. Prøven inneholder 300 mg/ per kg tørrstoff. Prøve 1 inneholdt også 97,3 % tørrstoff ved 105 grader som er 0,8 prosent mer enn prøve 2. Ut fra Byggforsk 520.034 vil et kloridinnhold på under 0,4% gi en neglisjerbar sannsynlighet for korrosjon. Det største kloridinnholdet fra prøvene er 0,0003% som er langt under det nivået som oppgis som neglisjerbart. (Byggforsk 520.034).

Tabell 4.11 Utklipp fra resultater fra ALS

Element	Sample	Q1	Q2
Sampling date		2023-02-13	2023-02-13
Tørrstoff ved 105 grader	%	97,3	96,5
Klorid (Cl-)	mg/kg TS	300	160
Kloridinnhold	%	0,0003	0,00016

4.5.4 Tilstandsgrad

Resultatene som er av relevans presenteres i Tabell 4.12. Her ser man at både konsentrerte syreskader samt eksponert og korrodert armering har blitt vurdert med TG 3, altså strengeste tilstandsgrad. Dette resulterer også til høyeste grad av konsekvens. Videre har generell forvitring av betong fått tilstands- og konsekvensgrad 2. Karbonatisering og kloridinnhold i betong har fått TG 0 og KG 0.

Tabell 4.12 Tilstand og konsekvens gradering

Hva	Tilstandsgrad	Konsekvensgrad
Generell forvitring av betong	TG 2	KG 2
Konsentrerte syreskader	TG 3	KG 3
Eksponert og korrodert armering	TG 3	KG 3
Karbonatisering i betong	TG 0	KG 0
Kloridinnhold i betong	TG 0	KG 0

5. Diskusjon

5.1. Metodevalg

5.1.1 Statisk system

For å beregne kapasiteten til dekket er det viktig å velge riktig statisk system for konstruksjonen. Valget falt på fast innspent plater, som er basert på befaringen ved anlegget og tilgjengelig armeringstegning. Som et alternativ kunne det vært valgt en sammenhengende fritt opplagt plate som kan ses på som mer konservativ enn flere faste innspente plater.

En fordel med å velge fast innspente plater er at man kan beregne platene individuelt som enveisplate og toveisplate. I tillegg er det kun en konstruksjonsdel som blir beregnet, dermed blir det ikke tatt hensyn til overført moment mellom konstruksjonsdelene. Hadde det blitt sett på konstruksjonen som helhet ville det vært enklere å sett på dekket som en fritt opplagt plate da dette ikke gir noe overført moment. Dimensjonen på platene er valgt ut fra armeringstegningen i Vedlegg C.1.

5.1.2 Beregning

Beregningen er gjennomført for hånd, da dette er enklest å illustrere i vedleggene.

Håndberegninger gir også en god mulighet til å gå inn i beregningene i ettertid for å se på hver regneoperasjon, og eventuelt endre på enkelte faktorer. Det kunne vært fornuftig å benytte beregningsprogram for kontrollberegning og for å kunne se på forskjellige systemer, men dette ble nedprioritert.

I beregningene ble det valgt å se på dekket som bjelker med forskjellige snitt og toveisplater. Dette er gjort med bakgrunn av den varierende armeringsmengden som er i dekket, og for å kunne sammenligne de to beregningsmetodene. Bjelkene er beregnet med en bredde på 1 meter, som gjør at alle benevninger for resultatene kan oppgis i kraft per kvadratmeter og kraft per meter. I toveisplate metoden fra boka til Sørensen blir det ikke tatt hensyn til fast innspent plate i formlene. Det ble valgt å følge bokens formler, men det kunne gitt mer presist resultat om formlene hadde blitt justert. Målet ved beregningen var å kontrollere kapasiteten med full armeringsmengde, som ved nybygd tilstand og med redusert armeringstverrsnitt.

5.2. Resultat

5.2.1 Beregning

Momentkapasiteten til dekket ble beregnet både via bjelkemethoden og toveisplatemethoden. Begge metodene viser at dekket tåler belastningen i bruddgrensetilstand. Ved bruk av toveisplatemethoden blir kapasiteten høyere enn ved beregning for alle snittene. Dette er vanligvis resultatet ved normal beregning, men siden toveisplatemethoden ikke tar hensyn til fast innspenning kunne det gitt lavere kapasitet for toveisplaten enn bjelkeberegningen. Dette gjelder også for den varierende armeringsmengden som ikke er tatt hensyn til i beregningen av toveisplate.

Det samme gjelder for beregningene av skjærkapasitet. Toveisplatemethoden kunne både gitt bedre og dårligere kapasitet, men resultatene viser at kapasiteten ble høyere enn ved bjelkemethoden. Begge metodene ga resultater hvor all beregning tåler belastningen i bruddgrensetilstand.

Ved nedbøyningsberegning ble nedbøyningen større for toveisplatemethoden enn for bjelkemethoden. Det er unormalt at alle snittene i bjelkemethoden ga lavere nedbøyning enn ved toveisplatemethoden. Dette skyldes sannsynligvis at bjelkemethoden tar hensyn til fast innspent plate, som gir lavere nedbøyning enn toveisplatemethoden. Dette kan indikere at bjelkemethoden er mest presis i nedbøyningsberegningen i dette tilfelle.

Det er kun benyttet bjelkemethoden ved rissviddekontroll. Dette er på grunn av pensumboken (Betongkonstruksjoner, 2017) som ikke tar for seg beregning av rissvidde for toveisplate. Resultatet av beregningen viser at de fleste av snittene har for stor beregnet rissvidde. Dette kan skyldes at kravet er veldig strengt, eller at overdekningen opprinnelig er veldig liten. Det kan også skyldes valg av eksponeringsklasse. Metalldetektoren kan ha gitt utslag på noe annet enn armeringen, som gir feil resultat med for liten overdekningen. Det kan også være en mulighet at eksponeringsklassen er valgt for høy. For høy eksponeringsklasse resulterer i at forholdet mellom $\frac{\text{faktisk overdekning}}{\text{minimumsoverdekning}}$ blir veldig lav. Belegget på dekket kan bidra til redusert krav for overdekning, men dette er ikke tatt med i betraktningene.

Snitt 9 som er beregnet med redusert armeringstverrsnitt, viser at kapasitetene fortsatt er tilstrekkelige. Kontrasten er at beregnet rissvidde blir større enn kravet. I valget av reduksjonen av armeringstverrsnitt kunne det blitt tatt mer drastisk valg som kunne gitt større utslag på kapasiteten. Det ble dog konkludert med at dette var tilstrekkelig reduksjon basert på observasjoner fra befaringen. Det ble valgt å beregne snitt 2 med redusert armeringstverrsnitt, som en konsekvens av at den korroderte armeringen befinner seg på undersiden av dekket. Ettersom at snitt 2 kun har strekkarmering, som befinner seg på undersiden ble dette det mest reelle snittet å beregne med redusert armeringstverrsnit.

5.2.2 Undersøkelser

Målingen av overdekning på undersiden av dekket ga et resultat på 10 mm, noe som var forventet da kravene til overdekning ikke var like strenge i tidsperioden det ble bygd på. Samtidig var armeringen synlig flere plasser som tyder på liten overdekning. Målingen av overdekning på oversiden av dekket ga ingen utslag, som ble vist i Figur 4.2. Dette kan være et resultat av at trykkarmeringen som er plassert øverst i tverrsnittet ligger dypere enn 10 cm som måleren har kapasitet til. Oversiden av betongdekket er beskyttet med et akrylbelegg, som gir en viss motstand mot syreangrep. Ved måling kan metalldetektoren også ha vært forstyrret av dette belegget.

Rissene som ble observert på betongdekket var ved inspeksjon ikke spesielt store, men det bør vurderes utbedring før det utvikler seg. Rissene kan over tid danne sprekker i betongen, som vil øke sannsynligheten for inntrenging og korrosjon i armeringen. Små riss kan for øvrig få fatale konsekvenser når overdekningen er liten. Resultatet av liten overdekning er kort avstand ned til armeringen og minimal beskyttelse. Det kan være aktuelt å reparere rissene som forklart i kapittel 2.3.5, risset vurderes som levende eller betent.

Tilstandsgradene ble presentert i Tabell 4.12. Der ser man at TG 2 og TG 3 er vurdert for henholdsvis generell forvitring av betong, konsentrerte syreskader i tillegg til eksponert og korrodert armering. Når det gjelder generell forvitring av betong, bærer konstruksjonen tydelige preg av forvitring med synlig tilslag. Dette gjelder spesielt i områder av bygget som står i nærheten av utstyr som er med på å produsere syre. Det er merkbar forskjell på dekket inne i konstruksjonen, sett opp mot konstruksjonsdelene som vender ut av bygget. Det bekreftes ved at overflatene på innsiden kjennes myke og porøse ut. Det ble boret i noen områder for blant annet karbonatiseringsprøver, hvor det merkbart er mer normal fasthet inne i betongen enn på overflaten.

Akrylbelegget som ligger som beskyttelse på betongen hjelper å holde forvitringen på TG 2 og ikke TG 3. Figur 4.3 som viser oversiden av dekket og Figur 4.4 som viser undersiden av dekket, visualiserer betydningen av belegget, da forvitringen er langt mer utbredt på undersiden. Resultatet av dette er at det på undersiden av dekket er observert eksponert og korrodert armering som vurderes som TG 3.

5.2.3 Tester

Som nevnt tidligere ble det ikke gjennomført boreprøver av betongdekket for trykktesting. Dersom resultatet skulle blitt nærmest mulig realiteten burde det blitt gjennomført boreprøver for å analysere betongens reelle trykkfasthet. Betongens trykkfasthet avhenger av utførelse og kvaliteten på materialene som er brukt. I beregningene ble betongkvalitet B20 anvendt, selv om eksternt bedrift med stor sannsynlighet kunne antyde at betongen var av B30 kvalitet. På bakgrunn av manglende konkret og målbart resultat, ble en konservativ tilnærming valgt i henhold til håndbok V413.

Prøvene som ble gjort i forbindelse med karbonatiseingsdybden kan indikere at det befinner seg frisk betong 5 mm fra overflaten og innover i betongen, noe som er å anse som lite. Resultatet tyder på at man trygt kan anta at betongen på oversiden opprettholder beskyttelse for armeringen. På undersiden var det tilstrekkelig med visuell kontroll, siden det var mulig å observere armeringen. Betongen på undersiden har begrenset funksjon når den punktvis er forvitret bort. Resultatene fra testene som ble gjennomført i forbindelse med kloridinnhold viser at betongen er minimalt utsatt fra saltangrep. Både karbonatisering og kloridinnhold ble vurdert som tilstandsgrad 0 og konsekvensgrad 0. Resultatet tilsier at sannsynligheten for korrosjon grunnet karbonatisering og klorid er neglisjerbar.

5.3. Tiltak

Årsaken til store deler av de kjente skadene kommer på bakgrunn av hvilket miljø anlegget befinner seg i. Ettersom at det er en fabrikk som vil fortsette produksjonen er det vanskelig å fjerne kilden til det aggressive miljøet. Det må heller fokuseres på å finne løsninger og gjennomføringer som reduserer direkte kontakt mellom syreproduksjonen og armert betong.

Betongdekket er i dag beskyttet av et akrylbelegg som gir en viss motstand mot syreangrep. Belegget kan dekomponeres dersom det blir eksponert og utsatt for sterk syre over tid. Fordelen med akrylbelegget er at det relativt enkelt kan repareres, med reparasjonsmateriale som påføres med sparkel.

Undersiden av dekket er ubehandlet og har stedvis store mengder synlig armering. Her bør det være aktuelt å reparere skadene, for så å behandle undersiden med samme belegg som oversiden. Selv om undersiden ikke er i direkte kontakt med syre, virker det som at damp og kondens fra fabrikkens aktivitet i første etasje, samt avrenninger fra oversiden gir utslag.

En mulig løsning er å montere syrefaste renneløsninger, som samler opp eventuelle drypp og lekkasjer og leder det trygt bort. Dette kan for eksempel plasseres under syrekjølerne som befinner seg over dekke som er illustrert i venstre side av Figur 4.3, hvor det har vært synlige lekkasjer tidligere. Ulempen med en løsning med renner er eventuell damp og kondens som ikke blir tatt opp og kan havne på betongen. En annen løsning kan være å montere syrebestandig beslag over deler eller hele dekket, for å sikre det mot aggressive angrep.

Problemet med en slik løsning er at man mister visuell oversikt over hvordan overflaten til betongen ser ut, og det kan oppstå aggressive angrep som man da ikke vil ha kontroll over og dermed er det vanskelig å oppdage i tide.

6. Konklusjon

Gjennom beregningene i oppgaven er det kommet fram til at kapasiteten er tilstrekkelig for alle snittene og for toveisplatene. Kapasiteten er også tilstrekkelig for snittet som er beregnet med redusert armeringstverrsnitt. Dette betyr at selv der armeringen er korrodert vil kapasiteten fortsatt være tilstrekkelig. Resultatet fra beregningene har også kommet fram til at rissvidden er for stor for over halvparten av snittene. Dette skyldes lav overdekning som gjør at armeringen er veldig utsatt. Dette kan redusere kapasiteten ettersom at armeringen ligger åpen og er utsatt for ytterligere korrosjon. Beregningene viser at det mest sannsynlig er momentkapasitet før skjærkapasiteten og nedbøyningen overskrider tillate krav, ved ytterligere redusert armeringstverrsnitt.

Ut fra testene og undersøkelsene konkluderes det med at skadene skyldes syreangrep. Bakgrunnen for konklusjonen er de lave verdiene for karbonatisering og klorid i testene. I tillegg til dette var skadene som ble observert ved befaring veldig konsentrerte og befant seg i områder under rør og tanker som tydelig kommer fra dryppinger og lekkasjer. Forvitringen på dekket er også et typisk resultat av syreangrep.

Ut fra observasjoner er det også konkludert med at belegget som benyttes på oversiden av dekket gjør enn god jobb mot syreangrep, noe som blant annet kan observeres på undersiden av dekket der det ikke er noe syrefast belegg. Undersiden av dekket har stedvis store avskalninger, samt eksponert og korrodert armering, som skyldes damp av syre.

7. Refleksjon

Etter å ha skrevet og gjennomført bacheloroppgaven som en avslutning av det treårige studieløpet på NTNU sitter man igjen med ny kunnskap og erfaring.

Dersom man skulle startet prosessen med oppgaven på nytt er det alltid noe som kunne vært gjort på en annen måte. Gruppen har i ettertid reflektert over at man gjerne skulle ha planlagt bedre før befaringen som var tidlig i prosjektfasen ved å se gjennom tegninger og skissert modeller. Med bedre forkunnskaper før befaring kunne man vært mer strategisk og planlagt for flere prøver av dekket. En ny befaring på et senere tidspunkt kunne også vært gjennomført, da man med tiden opparbeider seg opp flere spørsmål underveis i perioden. Dette ble dessverre ikke gjennomført grunnet lang reisevei og redusert tilgjengelighet til anlegget.

En av de største utfordringene med oppgaven har vært tilgang på informasjon om dekket. Lite informasjon om betong og armering har gjort at det har blitt noen antakelser for å kunne gjennomføre beregningene. I starten var man usikker på hvordan man skulle velge materialer som kunne være representative, og det ble mye spørsmål til intern veileder om dette. I ettertid har gruppen konkludert med at man kunne vært tøffere på å ta egne valg og heller begrunne hvorfor de ulike materialtypene ble valgt.

Gruppen er fornøyd med sluttresultatet av oppgaven. Problemstillingen er besvart og integritetskontrollen kan være en del av å nå klimamål, med at man tar vare på eldre konstruksjoner av betong istedenfor unødvendig nedrivning og nybygging.

Referanser

- Arne Gunnarsjaa. (2021, August). *SNL*. Hentet 05, 04, 2023 fra Søyale: <https://snl.no/s%C3%B8yle>
- Betongelementforeningen. (2020). *Betongelementboken*. (B. Foreningen, Produsent) Hentet 05, 07, 2023 fra Betongelementboken Bind C: https://betongelementboka.betong.no/betongapp/BookC.asp?isSearch=0&liID=134_2&DocumentId=BindC/Del_2/C13/13_4.pdf&BookId=C
- betongsentrum.no. (2020, November 1). *Betongsentrum*. Hentet 04, 14, 2023 fra Valg av riktig betongkvalitet: <https://www.betongsentrum.no/valg-av-riktig-betongkvalitet/>
- Byggalliansen. (u.d.). *Byggalliansen*. Hentet 04, 15, 2023 fra Klimakur for bygg og eiendom: <https://byggalliansen.no/kunnskapsenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543297119-2891ab52-ad8a>
- Byggforsk 571.431. (1998, Høst). *Byggforsk 571.431*. Hentet 04, 17, 2023 fra Armeringsprodukter for slakkarmert betong: https://www.byggforsk.no/dokument/576/armeringsprodukter_for_slakkarmert_betong#i1
- Byggforskserien. (u.d.). *Byggforskserien*. Hentet 04, 25, 2023 fra Hva er Byggforskserien: https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien
- DIBK. (2011, Januar 1). *DIBK*. Hentet 03, 23, 2023 fra Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning: <https://dibk.no/regelverk/sak>
- DIBK. (2017, Semtember 15). *DIBK*. Hentet 03, 24, 2023 fra Veiledning om tekniske krav til byggverk: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- EC1. (2019). Standard Norge - Eurocode 1. *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019*, 48. Hentet 04, 01, 2023
- EC2. (2022, November 3). Standard Norge - Eurokode 2. *NS-EN 1992-1-1:2004+A1+NA*, 260. Hentet 04, 02, 2023
- FN. (2023, Mai 2). *FNs bærekraftsmål*. Hentet 05, 26, 2023 fra Ansvarlig forbruk og produksjon: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ansvarlig-forbruk-og-produksjon>
- Hofstad, K. (2018, August 15). *Store Norske Leksikon*. Hentet 03, 15, 2023 fra Norsk Standard: https://snl.no/Norsk_Standard
- Kommunal- og distriktsdepartementet. (2022, Juni 10). *Lovdata*. Hentet 04, 25, 2023 fra Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven): <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71>
- Larsen, P. K. (2014). *Konstruksjonsteknikk - Laster og bæresystem* (2. utg.). Fagbokforlaget. Hentet 03, 20, 2023
- Meyer, R. W. (2021, september 20). *SNL*. Hentet 03, 9, 2023 fra Kryp: https://snl.no/kryp_-_konstruksjonsteknikk
- Norsk Standard. (2012). NS 3424. *NS 3424:2012*, 28. Hentet 04, 01, 2023

- Ramstad, K. I. (2020). *Trehus*. Oslo: Sintef akademisk forlag. Hentet 05, 20, 2023
- Regjeringen. (2022, November 3). *Regjeringen.no*. Hentet 04, 27, 2023 fra Nytt norsk klimamål på minst 55 prosent: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nytt-norsk-klimamal-pa-minst-55-prosent/id2944876/>
- Revfem, J. (2018, juli 24). *TU*. Hentet 05, 21, 2023 fra BYGG: <https://www.tu.no/artikler/skal-effektivisere-plasstoping-av-betong/442416>
- Sintef. (1995). *Byggforsk 720.111*. Hentet 04, 23, 2023 fra Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner: https://www.byggforsk.no/dokument/657/tilstandsanalyse_av_betongkonstruksjoner
- Sintef. (1998). *Byggforsk 720.112(3)*. Hentet 04, 22, 2023 fra Skader på betongkonstruksjoner. Skadesymptomer, tilstandsgrader og utbedringsmåter: https://www.byggforsk.no/dokument/2572/skader_paa_betongkonstruksjoner_skadesymptomer_tilstandsgrader_og_utbedringsmaater
- Sintef. (2003). *Byggforsk 471.041*. Hentet 04, 15, 2023 fra Snølast på tak. Dimensjonerende laster: https://www.byggforsk.no/dokument/216/snoelast_paa_tak_dimensjonerende_laster
- Sintef. (2003). *Byggforsk 471.043*. Hentet 04, 14, 2023 fra Vindlaster på bygninger: https://www.byggforsk.no/dokument/3118/vindlaster_paa_bygninger
- Sintef. (2013, August). *Byggforsk 471.031*. Hentet 04, 15, 2023 fra Egenlaster for bygningsmaterialer, byggevarer og bygningdeler: https://www.byggforsk.no/dokument/215/egenlaster_for_bygningsmaterialer_byggevarer_og_bygningdeler
- Sintef. (2015, September). *Byggforsk 520.034*. Hentet 04, 16, 2023 fra Kloridinnhold i betong. Prøveuttak og analysemetoder: https://www.byggforsk.no/dokument/292/kloridinnhold_i_betong_proveuttak_og_analysemetoder
- Sintef. (2018, Mars). *Byggforsk 700.305*. Hentet 04, 19, 2023 fra Tilstandsanalyse av bygninger og bygningdeler: https://www.byggforsk.no/dokument/639/tilstandsanalyse_av_bygninger_og_bygningdeler
- Sintef. (2021, September). *Byggforsk 720.105*. Hentet 04, 20, 2023 fra Nedbrytningsmekanismer i betongkonstruksjoner: https://www.byggforsk.no/dokument/6237/nedbrytningsmekanismer_i_betongkonstruksjoner
- Sintef. (2022, September). *Byggforsk 720.425*. Hentet 04, 24, 2023 fra Reparasjon av riss og sprekker i betongkonstruksjoner: https://www.byggforsk.no/dokument/6245/reparasjon_av_riss_og_sprekker_i_betongkonstruksjoner
- SNL. (2019, Juli 16). *Store Norske Leksikon*. Hentet 03, 20, 2023 fra Armering: <https://snl.no/slakkarmering>

- SNL. (2023, Februar). *Store Norske Leksikon*. Hentet 03, 20, 2023 fra Bjelke:
<https://snl.no/bjelke>
- Standard Norge. (2021, Juni 30). *Standard Norge*. Hentet 04, 02, 2023 fra Eurokode 2:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1365301>
- Standard Norge. (2022, Januar 28). *Standard Norge*. Hentet 04, 02, 2023 fra Standard Norge:
<https://www.standard.no/toppvalg/om-oss/standard-norge/>
- Standard Norge. (u.d.). *Standard Norge*. Hentet 04, 02, 2023 fra Eurokode:
<https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/>
- Statens vegvesen. (2021). *V413*. Hentet 04, 26, 2023 fra Bæreevneklassifisering av bruer, materialer: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-v413-bareevneklassifisering.pdf>
- Thue, J. V. (2019, Juli 16). *Store Norske Leksikon*. Hentet 03, 5, 2023 fra Betong:
<https://snl.no/betong>
- Uit - Meccanica. (u.d.). *Uit - Meccanica*. Hentet 05, 25, 2023 fra Søyle:
<http://meccanica.uit.no/fasthet/knekking.htm>
- Uit - Meccanica. (u.d.). *Uit - Meccanica*. Hentet 05, 24, 2023 fra Bjeler:
<http://meccanica.uit.no/fasthet/bjelker.htm>

Vedlegg

Vedleggsliste

Vedlegg A : Artikkel.....	2
Vedlegg B: Plakat	5
Vedlegg C:Tegninger og skisser.....	7
Vedlegg C.1 : Armeringstegning	8
Vedlegg C.2: Plate inndeling (sett fra siden)	10
Vedlegg C.3: Plate inndeling (sett ovenfra).....	12
Vedlegg C.4: plassering av snitt	14
Vedlegg C.5: Plantegning dekke.....	16
Vedlegg D:Beregninger	18
Vedlegg D.1: Snitt 1	19
Vedlegg D.2: Snitt 2	31
Vedlegg D.3: Snitt 3	43
Vedlegg D.4: Snitt 4	55
Vedlegg D.5: Snitt 5	67
Vedlegg D.6: Snitt 6	79
Vedlegg D.7: Snitt 7	91
Vedlegg D.8: Snitt 8	103
Vedlegg D.9: Snitt 9 (snitt 2 med redusert armeringstverrsnitt).....	115
Vedlegg D.10: Toveisplate (plate 1-4)	124

