



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Bærekraftig rehabilitering av høyblokker

Sustainable rehabilitation of concrete blocks

Eirik Friis Erdal

Masteroppgave i Integrert Bygningsteknologi, Mai 2021

MASTEROPPGAVE

for

Eirik Friis Erdal

(Studentnummer 424906)

Vår 2021

Bærekraftig rehabilitering av høyblokker

(Sustainable Rehabilitation of Concrete Blocks)

Bakgrunn

Bygge bransjen kan oppnå betydelige klimagevinster og samtidig spare samfunnet for store investeringer ved å rehabiliterer eldre bygg, gjenbruke dem og ikke minst legge en plan for vedlikehold og oppgradering. Alle BA-prosjekter bør ha et klimabudsjett, og det må tenkes lønnsomhet på lang sikt. For å klare det må bransjen flytte fokus fra ny bygg til rehabilitering av eksisterende bygningsmasse.

Produksjon av betong har en betydelig miljøkostnad – både i form av råvarer, energi og transport. Hvis BA-bransjen skal tilnærme seg FN's bærekraftsmål må utslippene reduseres. Norge er et værhardt område der infrastruktur blir utsatt for miljølaster som klorider, salt, frost og vann blant annet. På et tidspunkt vil ikke disse konstruksjonene fungere etter intensjonen og tiltak må vurderes.

Det å rehabiliterer infrastruktur påvirker miljøet betydelig mindre enn å rive og bygge nytt. Rehabilitering og gjenbruk av infrastruktur vil derfor være et avgjørende bidrag til det «grønne skiftet».

Norges arktiske studentsamskipnad (www.samskipnaden.no) tilbyr studentene bolig, barnehage og trening blant annet. Åsgårdvegen studentboliger ligger i naturnære omgivelser i Tromsø. Bygningen består av ulike boligtyper; hybler og toroms leiligheter på henholdsvis 40 og 60 m². Boligen er en eldre høyblokk med åtte etasjer fra 1972.

Samskipnaden har planer om å renovere fasaden slik at den får samme uttrykk og farger som skal kjennetegnes ved studentsamskipnaden sine bygg. Blokken har bærende konstruksjoner på utsiden. Disse er blitt påført endel skader over tid, som må utbedres og kontrolleres før en eventuell «ny» fasade etableres.

Begrensning av oppgaven

Ingen spesielle.

Arbeidet skal omfatte (men ikke nødvendigvis avgrenses til):

1. Innledende arbeid med avgrensninger og definisjoner. Her skal kandidaten, i samråd med veileder, utarbeide en detaljert plan for gjennomføringen av oppgaven.
2. Det skal utarbeides en refleksjon over oppgavens faglige og samfunnsmessige relevans. BA-bransjen har en betydelig vei å gå for å tilnærme seg FMs bærekraftsmål. Kandidaten skal redegjøre for hvordan rehabilitering av eldre betongblokker kan bidra til disse målene.
3. Det skal gjennomføres en tilstandsanalyse av den bærende betongkonstruksjonen. Her skal det etableres en sikker jobbanalyse og andre nødvendige tiltak. Tilstandsanalysen skal planlegges og gjennomføres i samarbeid med IVTs betonglaboratorium. Et minimum er at skader blir kartlagt, vurdering av skadeårsak og omfang.
4. Det skal gjennomføres vurdering av tiltak. Her skal det etableres alternative forslag til utbedringer, vurdere restlevetid og eventuelt rehabilitering / forsterkning av konstruksjonen.
5. Det skal gjennomføres ulike forslag til hvordan eventuelle skader kan repareres. Her vil valg av produkter og metoder være et viktig element i vurderingen. Det skal etableres en plan for hvordan utført rehabilitering / reparasjon skal kontrolleres.
6. Det skal etableres en oppfølgingsplan (FDV-dokumentasjon) for bygget.
7. Det skal utarbeides en vitenskapelig artikkel basert på besvarelsen på maks 10 sider. Artikkelen skal utformes etter internasjonale standarder for slike publikasjoner. (Artikkelen kan sees på som er kortversjon av hele besvarelsen). Kandidaten vurderer selv om denne skal utformes på norsk eller engelsk.

Samarbeidspartner

Oppgaven gjennomføres i samarbeid med Norconsult Tromsø. Norconsult leverer tjenester innen planlegging og rådgivning i alle faser av oppdragene; fra idéfase og overordnede planer til prosjektering og driftsstøtte. Norconsult har følgende markedsområder; Samferdsel, Bygg

og eiendom, Energi, Vann og avløp, Industri, Olje og gass, Miljø, Sikkerhet, Plan, Arkitektur – og IT.

Norconsult har kompetanse innenfor betongrehabilitering og erfaring fra utarbeidelse av tilstandsvurderinger, anbudsgrunnlag og oppfølging gjennom byggeperioden.

Generelt

Senest 14 dager etter at oppgaveteksten er utlevert skal resultatene fra det innledende arbeid være ferdigstilt og levert i form av en forstudierapport. Forstudierapporten skal godkjennes av veileder før kandidaten har anledning til å fortsette på resten av hovedoppgaven (Ikke et absolutt krav om at dette skal gjøres, et eventuelt omfang av forstudierapport avtales med veileder). Det innledende arbeid skal være en naturlig forberedelse og klargjøring av det videre arbeid i hovedoppgaven og skal inneholde:

- 1' Generell analyse av oppgavens problemstillinger.
- 1' Definisjon i forhold til begrensinger og omfang av oppgaven.
- 1' Klargjøring/beskrivelse av de arbeidsoppgaver som må gjennomføres for løsning av oppgaven med definisjoner av arbeidsoppgavenes innhold og omfang.
- 1' En tidsplan for framdriften av prosjektet.

Sluttrapporten skal være vitenskapelig oppbygget med tanke på litteraturstudie, arbeidsmetodikk, kildehenvisninger etc. Alle beregninger og valgte løsninger må dokumenteres og argumenteres for. Besvarelsen redigeres som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, referanser, innholdsfortegnelse etc. Påstander skal begrunnes ved bevis, referanser eller logisk argumentasjonsrekker. I tillegg til norsk tittel skal det være en engelsk tittel på oppgaven. Oppgaveteksten skal være en del av besvarelsen (plasseres foran Forord).

Materiell som er utviklet i forbindelse med oppgaven, så som programvare/kildekoder eller fysisk utstyr, er å betrakte som en del av besvarelsen. Dokumentasjon for korrekt bruk av dette skal så langt som mulig også vedlegges besvarelsen.

Dersom oppgaven utføres i samarbeid med en ekstern aktør, skal kandidaten rette seg etter de retningslinjer som gjelder hos denne, samt etter eventuelle andre pålegg fra ledelsen i den aktuelle bedriften. Kandidaten har ikke anledning til å foreta inngrep i den eksterne aktørs informasjonssystemer, produksjonsutstyr o.l. Dersom dette skulle være aktuelt i forbindelse med gjennomføring av oppgaven, skal spesiell tillatelse innhentes fra ledelsen.

Eventuelle reiseutgifter, kopierings- og telefonutgifter må bæres av studenten selv med mindre andre avtaler foreligger.

Hvis kandidaten, mens arbeidet med oppgaven pågår, støter på vanskeligheter som ikke var forutsatt ved oppgavens utforming, og som eventuelt vil kunne kreve endringer i eller utelatelse av enkelte spørsmål fra oppgaven, skal dette umiddelbart tas opp med UiT ved veileder.

Besvarelsen leveres digitalt i WISEflow.

<u>Utleveringsdato:</u>	11.01.2021
<u>Innleveringsdato:</u>	15.05.2021
<u>Kontaktperson bedrift:</u>	Norconsult Tom Nygård Telefon: E-post: tom.nygard@norconsult.com
<u>Veileder UiT - IVT:</u>	Universitetslektor Hugo <u>Vanje-Remlo</u> Telefon: 90163776 E-post: hugo.remlo@uit.no

UiT – Norges Arktiske Universitet
Institutt for bygg, energi og materialteknologi



Faglig ansvarlig/veileder

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Formål.....	2
1.3	Omfang og begrensninger	2
1.4	Masteroppgavens utforming.....	3
2	Metode.....	4
2.1	Litteraturstudie.....	4
2.1.1	Litteratursøk	4
2.1.2	Litteratur.....	4
2.1.3	Bruk av eksisterende data.....	4
2.2	Feltarbeid og befaringer.....	5
2.2.1	Gjennomføring av feltarbeid	5
2.3	Tester og målinger	6
2.4	Kritisk vurdering av metode	7
2.4.1	Validitet og reliabilitet	7
2.4.2	Feilkilder	8
3	Teori	9
3.1	Skademekanismer i betong.....	9
3.1.1	Armeringskorrosjon	9
3.1.2	Fysiske skademekanismer	18
3.1.3	Kjemisk nedbrytning	19
3.2	Rehabiliteringsmetoder.....	23
3.2.1	Mekanisk reparasjon	24
3.2.2	Elektrokjemisk realkalisering.....	24

3.2.3	Katodisk beskyttelse.....	25
3.2.4	Elektrokjemisk kloriduttrekk.....	26
3.2.5	Overflatebehandling	27
	Case: Åsgårdvegen studentboliger	28
4	Beskrivelse av konstruksjon og plassering.....	29
4.1	Dimensjoneringsregler.....	31
4.1.1	Armering	31
4.1.2	Tilslag.....	31
4.1.3	Vann	31
4.1.4	Brukstid.....	31
5	Tilstandsanalyse	32
5.1	Generelt	34
5.2	Visuelle registreringer	35
5.3	Karbonatisering	44
5.4	Kloridanalyser	45
5.4.1	Utvendige kloridprøver	47
5.4.2	Innvendige kloridprøver	52
5.5	Kontroll av bæreevne.....	56
5.5.1	Lastberegning	58
5.5.2	Materiale søyler.....	61
5.5.3	Utnyttelse av søyler.....	62
6	Løsninger og vurderinger av tiltak	64
6.1	Mekanisk reparasjon.....	64
6.1.1	Rengjøring av armeringen.....	65
6.1.2	Mørtling og utstøping.....	65
6.2	Katodisk beskyttelse	66

6.3	Ny fasade	66
6.4	Forsterkning av fasadesøyler	67
7	Konklusjon	69
8	Oppsummering	70
9	Referanser.....	72
	Vedlegg	74

Tabelliste

Tabell 1. Analysenivå (Norsk standard, 2012).....	33
Tabell 2. Grenseverdier for korrosjonsrisiko iht. Byggforskblad 520.061.	46
Tabell 3. Kloridinnhold som prosent av sementvekt for prøvene i utvendige søyler.	51
Tabell 4. Kloridinnhold som prosent av sementvekt for de innvendige prøvene.	55
Tabell 5. Beregnet søylelast på endesøyler i østfasaden (ikke reduserte nyttelaster iht. lastreduksjonsfaktor).	59
Tabell 6. Beregnet søylelast på endesøyler i vestfasaden (ikke reduserte nyttelaster iht. lastreduksjonsfaktor).	60
Tabell 7. Målte søyletverrsnitt med armering.	61
Tabell 8. Utnyttelse av endesøyler i østfasaden.	62
Tabell 9. Utnyttelse av endesøyler i vestfasaden (nord og sør).	63

Figurliste

Figur 1. Innhenting av støvprøver for analysering i laboratorium. Foto. Eirik Erdal	6
Figur 2. Viser to måleverktøy hvor den ene bare oppgir avstand mens den andre oppgir avstand og bilde av jernene som finnes inne i betongen. (Foto fra hilti.com)	8
Figur 3. Forenklet korrosjonsmodell som viser at armeringskorrosjon er en elektrokjemisk prosess. Stålet brytes ned ved anoden, dvs. der den beskyttende filmen er ødelagt. De frigjorte elektronene opptas ved katoden av tilstedeværende oksygen og vann (Sintef, 1997).	9
Figur 4. Forløpet av korrosjonsinitiering og -propagering (Sintef, 2009).	11
Figur 5. Kjemiske reaksjoner under karbonatiseringsprosessen (Sintef, 2009).	12
Figur 6. Karbonatiseringsprosessen (Sintef, 2009).	13

Figur 7. Måling av karbonatiseringsdybde ved bruk av fenolftalein (Sintef, 2009).	13
Figur 8. Karbonatiseringsdybde som funksjon av tid (Sintef, 2009).	14
Figur 9. Kloridinnhold og risiko for armeringskorrosjon (Sintef, 2009).	15
Figur 10. Typisk kloridprofil i betong (Sintef, 2009).	16
Figur 11. Kloridioner som reagerer kjemisk med passivfilmen og løser den opp (Sintef, 2009).	16
Figur 12. Kloridinitiert pittingkorrosjon av stål i betong (Sintef, 2009).	17
Figur 13. Planslipt betong som viser riss i tilsag og sementpasta (Sintef, 2007).	20
Figur 14. Utluting har dannet stalakitter av sementlimet (Millab Consult AS, u.d.).	21
Figur 15. Prinsippskisse av realkalivering (Sintef, 1997).	24
Figur 16. Prinsippskisse for ulike anodesystemer (Lindland & co, 2004).	25
Figur 17. Prinsippskisse for kloriduttrekk (Sintef, 1997).	26
Figur 18. Åsgårdvegen studentboliger.	28
Figur 19. Byggets plassering med avstand til sjø.	30
Figur 20. Anbefalt prosedyre for tilstandsanalyser (Norsk standard, 2012)	32
Figur 21. Manglende overdekning på bøylor i plan 6 østfasade.	36
Figur 22. Avskallet betong med eksponert og korrodert armering i plan 3.	37
Figur 23. Overdekning skadd søyle plan 3.	38
Figur 24. Sprekk i bakkant av søyle fra figur 22 og 23.	39
Figur 25. Krakelert puss og manglende overdekning.	40
Figur 26. Krakelert puss og manglende overdekning på bøylor i vestfasade plan 1.	41
Figur 27. Krakelert puss under dekkeforkanter plan 6 vestfasade.	42
Figur 28. Viser sprekk tvers gjennom betongsøylen over inngangspart ved sørfasaden.	43
Figur 29. Lokasjon for karbonatiseringsprøver østfasade.	44
Figur 30. Målt karbonatiseringsdybde plan 3 østfasade.	45
Figur 31. Kloridprøveuttak med slagbor. (Sintef, 2015).	46
Figur 32. Prøvehull P1-P5 østfasade.	47
Figur 33. Prøvehull P6-P7 nordfasade.	48
Figur 34. Prøvehull P8-P9 vestfasade.	49
Figur 35. Prøvehull P10-P12 sørfasade.	50
Figur 36. Prøvehull P1-P5 innervegger plan 3.	52
Figur 37. Prøvehull P6-P10 innervegger plan 6.	53

Figur 38. Prøvehull P11 utvendig vegg plan 8.....	54
Figur 39. Modell av betongkonstruksjon. Modellert av Eirik Erdal i Revit på grunnlag av plantegninger fra 1971.	56
Figur 40. Planlagt ny fasade på høyblokken. Foto: Arkitektkontoret Amundsen (Nordlys, 2021).....	57
Figur 41. Utdrag av endesøyler i østfasaden som er mest påkjent.	58
Figur 42. Utdrag av endesøyle i sør-, vest- og nordfasade som er mest påkjent.....	58
Figur 43. Detalj av søyler i plan 1.....	61
Figur 44. Forslag til ny betongsøyle på hver side av eksisterende søyle.	67
Figur 45. Forslag til ny stålsøyle på hver side av betongsøyle som kan forspennes.....	68

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi ved UiT - Norges Arktiske Universitet i Narvik. Oppgaven har fordypning i rehabilitering av betongblokker og er skrevet i samarbeid med Norconsult AS.

Oppgaven handler om nedbrytningsmekanismer i betong. De viktigste temaene er hvordan disse oppstår, og hvordan finne skadeårsak slik at det kan iverksettes riktige tiltak for å forlenge levetiden på betongen. Oppgaven baserer seg på norsk litteratur, feltprøver og laboratorieanalyser.

Jeg vil gjerne takke veilederen min Hugo Vanje-Remlo fra UiT for all hjelp og veiledning gjennom 5 år. Videre vil jeg takke Tom fra Norconsult AS for opplæringen som ble gitt i forbindelse med prøvetaking av kloridprøver og at jeg fikk delta på deres befaringer i forbindelse med innhenting av prøver. Takk til Tord og Eirik fra Tromsø kontoret til Norconsult for dagene vi brukte til å bore i betong og erfaringene som ble delt underveis. Det hadde ikke vært mulig å få så mange gode prøveresultater uten deres samarbeid.

Jeg vil også takke min gode venn Marius Fagermo fra studietiden i Narvik for alle dagene vi har brukt sammen på campus. Til slutt vil jeg gjerne takke samboeren min og mine to døtre som flyttet med meg til Narvik slik at jeg fikk studere og har tilrettelagt for at jeg har kunnet fullføre til normert tid.

Tromsø 15.05.21



Eirik Friis Erdal

Sammendrag

Som det mest brukte byggematerialet står ikke betong evig som man tidligere trodde. Betong som alle andre materialer blir utsatt for forskjellige nedbrytningsmekanismer. Det trenger derfor å vedlikeholdes som alle andre materialer for å opprettholde sin funksjon under hele levetiden. Det vanlige er at normale betongbygg dimensjoneres for å stå i 50 år, men med rett prosjektering og vedlikehold i livsløpet skal de kunne stå mye lenger. Det som vises nå i dag er at mange bygg av betong som er passert 50 år er så skadet at det lett kan velges å rive å bygge nytt framfor å rehabilitere.

Denne oppgaven handler om forskjellige skademekanismer i betong og hvordan kartlegge disse samt hvilke metoder som brukes for å utbedre disse. Det er også tatt utgangspunkt i en eldre betongblokk på åtte etasjer som brukes som studentboliger av Norges Arktiske Studentsamkipnad i Tromsø. Denne betongblokken er bygget i 1972 og har behov for omfattende rehabilitering av utvendige bærende betongsøyler for å kunne forlenge levetiden før disse tildekkes med ny tidsriktig fasade som skal være gjenkjennelig som en av studentsamskipnaden sine bygninger.

Gjennom å gjøre ulike målinger på stedet og prøveuttak som ble sendt til betonglaboratorium for testing har det gitt grunnlag for å fastlå skadeårsak slik at rette metoder kan foreslås for å utbedre disse. Aktuelle funn som ble gjort var karbonatisering av den utvendige betongen, innstøpte klorider i enkelte støpetapper, lav overdekning, avskallinger og sprekker i betong, rust i armeringen med mere.

I forbindelse med ny fasade er det blitt sett på kapasiteten av de utvendige søylene som skal bære den nye kledningen. Her er det vurdert metoder for å øke kapasiteten til søylene slik at de ikke skal ha så høy utnyttelse da det er vanskelig å fastslå eksakt gjenværende kapasitet i søyler som har vært skadet og skal rehabiliteres.

Abstract

As the most widely used building material, concrete does not last forever as previously thought. Concrete like all other materials is exposed to different degradation mechanisms. It therefore needs to be maintained like all other materials to maintain its function throughout its lifetime. It is common for normal concrete buildings to be dimensioned to stand for 50 years, but with the right design and maintenance over the course of their lives, they should be able to stand for much longer. What is shown today is that many concrete buildings that have passed 50 years are so damaged that it can easily be chosen to demolish and build new rather than rehabilitate.

This thesis is about different damage mechanisms in concrete and how to map these and what methods are used to repair these. It is also based on an older concrete block of eight floors that is used as student housing by the Norwegian Arctic Student Association in Tromsø. This concrete block was built in 1972 and needs extensive rehabilitation of external load-bearing concrete columns to be able to extend the service life before these are covered with a new contemporary façade that will be recognizable as one of the student organization's buildings.

Through making various measurements on site and sampling that was sent to the concrete laboratory for testing, it has provided a basis for determining the cause of damage so that the right methods can be proposed to remedy these. Current findings that were made were carbonation of the external concrete, cast-in chlorides in some casting stages, low cover, peeling and cracks in concrete, rust in the reinforcement and more.

In connection with the new façade, the capacity of the external columns that will support the new cladding has been considered. Here, methods have been considered to increase the capacity of the columns so that they will not have such a high utilization, as it is difficult to determine the exact remaining capacity in columns that have been damaged and are to be rehabilitated.

1 Innledning

Det blir til sammen brukt ca. 2,0 million tonn sement i året her i Norge. Dette utgjør til sammen i overkant av 4,4 millioner kubikkmeter med ferdig betong og prefabrikkert betongprodukter. I volum er betong brukt over dobbelt så mye som alle de andre byggematerialene til sammen.

Det kan sies at de fleste bygningene som kommer til å brukes i framtiden allerede er bygget. I etterkrigstiden var det store bolig mangler i Norge delvis på grunn av bombing av bygninger, men også fordi at folketallet økte med at det ble født flere mennesker. Det ble da bygget mye betongblokker som gjorde at det kunne bygges høyere samt at dekkene kunne ha større spennvidder enn trebjelkelag som ble brukt tidligere. Dette ga bedre utnyttelse av rom og større leiligheter. Mange av disse betongblokkene er passert 50 år og har nok også hatt mangelfullt vedlikehold slik at det er store rehabiliteringsbehov av bygningsmassene i dag.

1.1 Bakgrunn

I dag er det stort fokus på bærekraftig utvikling. Det betyr at samfunnet må dekke dagens forbruksbehov uten at det ødelegger fremtidige generasjoners muligheter for å få dekket sine. Det må derfor tas ansvar i dag for å fornye, vedlikeholde og forbedre bruken av verdens ressurser. Det er mye CO₂-utslipp knyttet til BA-bransjen og potensialet for å redusere dette er stort med god planlegging og valg av materialer.

Det er store utfordringer knyttet til rehabilitering av eldre bygningsmasse på grunn av nye behov og forskriftskrav. Mål om å redusere energiforbruk i eldre bygninger betyr at disse ofte må igjennom omfattende rehabiliteringsprosesser på grunn av komfort-, økonomi- og samfunnsmessige miljøkrav. Det kan derfor være langt mellom egenskapene til den eldre boligmassen og kravene som stilles til moderne bygninger i dag. Selv om dette kan bli omfattende vil nok samfunnsgevinstene være større knyttet til bærekraftig rehabilitering av eksisterende boligmasse enn å rive å bygge nytt.

Ved å gjenbruke betongkonstruksjonene kontra å rive og bygge nytt kan karbonutslipp reduseres med opp til 63 % (TU Bygg, 2020). Når det bygges nytt ønskes det å redusere klimagassutslippene med at energibruken til bygges reduseres over byggets levetid på 50 år.

Ved å gjenbruke betongen kan klimagassutslippene reduseres allerede i dag. Dette er viktig med de utfordringene verden står ovenfor i dag når det gjelder karbonutslipp.

Dette vil være ett godt bidrag til FN sine bærekrafts mål og da spesielt mål 13 som er å stoppe klimaendringene. Dette målet handler i stor grad om å stoppe eller reversere de store klimaendringene som er her nå og som forventes i fremtiden om det ikke settes i gang handlinger for å stoppe dette nå. Det er derfor alle sitt ansvar om å redusere sitt eget CO₂-utslipp. Dette er noe samskipnaden prøver å gå foran med ett eksempel som forvalter av mange leilighetsbygg med at de bygger nytt med bærekraftige metoder og materialer samt at de gjør bærekraftig renovering for å redusere sitt CO₂-avtrykk (UN Global Compact, 2021).

1.2 Formål

Hensikten med denne masteroppgaven er å undersøke typiske betongskader på eldre betongbygg. Kartlegge disse og foreslå tiltak for å forlenge levetiden til konstruksjonen.

For Norges arktiske studentsamskipnad som drifter flere bygninger til formål for å huse studenter er det viktig at de tar sitt samfunnsansvar i forhold til klimautfordringene når det kommer til bærekraftig ombygging og utforming av bygningsmassen deres. I forbindelse med renovering av fasaden til studentblokken Åsgårdvegen 9 i Tromsø skal:

- betongskader kartlegges og tiltak foreslås.
- kapasiteten i de utvendige bærende søylene må kontrolleres og eventuelle forslag til forsterkning

1.3 Omfang og begrensninger

I denne oppgaven er det valgt å se nærmere på:

- Kartlegging av typiske skader på betongkonstruksjoner
- Tilstandsanalyse av betongen (case)
- Vurdere restlevetid og eventuelt rehabilitering / forsterkning av betongkonstruksjonen
- Forslag til reparering av skader og hvilke produkter og metoder som bør velges

1.4 Masteroppgavens utforming

Oppgaven er blitt delt opp på følgende måte:

1. Innledning

Bakgrunn for valg av oppgave, formål, omfang og begrensninger av oppgaven.

2. Metode

Valg av metode for bruk av innhenting av informasjon og testing som vurderes kritisk med hensyn til validitet, reliabilitet og feilkilder.

3. Teori

Gjennomgang av relevant teori som er nødvendig for å løse oppgaven. Hovedtemaer er vanlige skademekanismer i betong og rehabilitering av disse

CASE – del

4. Beskrivelse av bygg og plassering

Presentasjon av bygg hvor det skal vurderes tilstand på betongkonstruksjonen. En gjennomgang av standard og byggeskikk for byggeår.

5. Tilstandsanalyse

Resultater og kommentarer av fullførte tester fra befarings for å vurdere dagens tilstand.

6. Løsninger

Gjennomgang av mulige løsninger for å rehabilitere skader og stoppe skadeprosessen slik at levetiden på bygget kan forlenges.

7. Konklusjon

Oppgaven avsluttes med en totalvurdering for utbedring av skader basert på alle funn som er gjort.

8. Oppsummering

Masteroppgaven avsluttes med en oppsummering.

2 Metode

Dette kapittelet beskriver metodene som er benyttet i arbeidet med hovedoppgaven. Arbeidet har i hovedsak gått ut på å samle kunnskap og erfaring fra forskjellige kilder gjennom kvalitativ metode. Litteraturstudier, feltprøver og befaringer har vært de viktigste metodene. Felt prøvene er også blitt sendt til laboratoriet til Norconsult for å kartlegge kloridinnhold i betongen.

2.1 Litteraturstudie

2.1.1 Litteratursøk

Mye av informasjonen i denne hovedoppgaven er hentet fra skriftlige kilder. Litteraturen strekker seg for det meste fra 1990-tallet fram til i dag. Mye av litteraturen har vært brukt tidligere i studietiden også. I løpet av våren 2021 er det gått dypere i denne som er knyttet til skademekanismer i betong, klassifisering og utbedring av disse skadene.

2.1.2 Litteratur

Det meste av informasjon rundt skader i betong er hentet fra Sintef byggforsk og er fra 2000-tallet. Det er også brukt boken «Betongrehabilitering: metoder og utførelse» utgitt i 1998 av Bygg og Anlegg Media AS samt boken «Betongrehabilitering: reparasjonsmetoder, utførelse og kontroll» utgitt av Norsk forening for betongrehabilitering i 2017.

Dette er gjort for å gi ett bedre teoretisk grunnlag for hvilke påkjenninger ett betongbygg blir utsatt for. Gjennom litteraturen har forfatteren tilegnet seg bedre kunnskap om skader i betong og hvordan man skiller mellom de mange forskjellige skadeårsakene som kan forekomme i betong. Videre er det blitt sett på hvordan de forskjellige skadene bør utbedres. Avhengig av skadeårsak trengs det forskjellige metoder for å forebygge nye like skader og dermed forlenge levetiden til betongkonstruksjonen.

2.1.3 Bruk av eksisterende data

Ved oppstart ble det innhentet snitt- og plantegninger fra studentsamskipnaden. Disse er fra 1970-1971 og ble brukt som prosjekteringsgrunnlag. Detaljerte tegninger som omhandler armeringsføring i betongen var ikke tilgjengelig som ville vært veldig god å ha for å se på kapasiteten til betongen. Tegningene var målsatt slik at de har blitt brukt som underlag for å lage en 3d-modell i Revit av betongkonstruksjonen.

2.2 Feltarbeid og befaringer

Det har blitt gjennomført feltarbeid og befaringer i løpet av vinteren og våren 2020/2021. Lokasjonene hvor det er foretatt prøveuttak av betongstøv er valgt fordi det store problemer med sprekker og avskalling. Det er også valgt lokasjoner hvor det tilsynelatende er frisk betong for å kunne sammenligne betongkvaliteten som er brukt.

I forbindelse med manglende underlag fra byggherre har det vært behov for å meisles i betongsøyler i alle etasjer for å kartlegge armeringsdiameter og antall som er brukt i hver etasje.

2.2.1 Gjennomføring av feltarbeid

Gjennom feltarbeidet er det samlet informasjon gjennom å bruke kvantitativ orientert forskning. Ved kvantitativ forskning samles data inn med standardiserte metoder for bruk i testing i ett laboratoriet. Disse resultatene vil kunne tallfestes og vises med grafer eller liknende.

Gjennom befaringene har det også vært viktig med fotografering for å dokumentere synlige skader og tilstanden til betongen. Ved å først ha en visuell befaring kunne man danne seg ett overblikk over hvor det er mest skader slik at det kunne planlegges hvor det var mest hensiktsmessig å hente ut prøver.

2.3 Tester og målinger

Det ble hentet ut støvprøver av betongen som skulle testes for klorider av 12 utvendige punkter på fasadesøylene som tilsvarer totalt 24 prøvehull og 72 støvposer som skulle analyseres. Etter dette ble det tatt nye 11 punkter inne i blokken tilsvarende 66 støvposer til analysering.



Figur 1. Innhenting av støvprøver for analysering i laboratorium. Foto. Eirik Erdal

Det ble også gjort karbonatiseringstester i disse prøvehullene som måles på stedet for å finne karbonatiseringsdybden. Dette ble gjort i noen av punktene og resultatene var like slik at det antas er det er likt over hele fasaden da forholdene for karbonatisering er identisk over hele konstruksjonen på utsiden.

2.4 Kritisk vurdering av metode

2.4.1 Validitet og reliabilitet

Validitet sier noe om hvor godt informasjonen som er innhentet beskriver det den skal. Prosedyrer skal følges nøye for å sikre god reliabilitet og dermed validitet for prøvene som tas. Om datagrunnlaget som er innhentet besvarer problemstillingen godt kan det sies at forsøket har en god validitet. Reliabilitet sier noe om påliteligheten til forsøket med tanke på etterprøvbarheten av forsøket. For å sikre god pålitelighet er det viktig med nøyaktig innhenting av data, hvilke data som brukes, måten de er innhentet på og hvordan de er bearbeidet. Ved gjentakende innhenting av data og like resultater under samme forhold sies det at studien har god reliabilitet. Ved kvalitativ metode vil det være flere usikkerhetsmomenter og det kan da bli vanskelig å trekke en konklusjon på grunnlag av svarene da de kan variere. Kvantitativ metode fjerner disse usikkerhetsmomentene da det legges opp til en klar fremgangsmåte slik at resultatene kan etterprøves å dermed oppnå samme resultater på nytt (Johannesen, Tufte, & Christoffersen, 2016).

I forbindelse med resultatene med prøvetakingen vurderes validiteten og reliabiliteten som god. Fremgangsmåten som er studert på forhånd for å sikre gode resultater ble fulgt nøye og det vises på resultatene med at alle prøvene gir en bestemt kloridprofil slik at det kan dannes en konklusjon på bakgrunn av dette.

Validiteten og reliabiliteten til kildene vurderes også som god da de er hentet fra pålitelige kilder som Sintef byggforsk som er ledende i Norge på dette.

2.4.2 Feilkilder

I forbindelse med prøvetaking av klorider vil man få feilkilde hvis ikke borrh og prøvehull blir rengjort i forbindelse med hver prøve som blir tatt. Det vil da kunne bli en kontaminering som blir med i neste prøvepose og det vil gi feil kloridprofil innover i betongen. Derfor tas det to prøvehull i forbindelse med hvert punkt for å validere resultatene. Prøvene ble også tatt på vindstille dager for å sikre at støvet faller ned i posen og ikke blåser vekk.

Det samme gjelder karboniseringsprøvene som ble tatt. Da det er ønskelig å kunne måle hvor langt inn det gis utslag for karbonatisering er det ekstremt viktig at hullet er tilstrekkelig rengjort. Innerst i betongen er det lite sannsynlig at det er karbonatisert og om støv derfra blir liggende igjen i hele åpningen vil ikke væsken som blir påført gi ønsket utslag.

Instrumentet som ble brukt for å finne armeringsjern i søylene var analogt og oppga kun overdekning til nærmeste jern. Den søker som en sonar i buet form innover i betongen. Dette i kombinasjon med varierende overdekning gjorde det vanskelig å anslå om det var overdekningen som økte eller om det var ett nytt armeringsjern med større overdekning når instrumentet ble flyttet sidelengs. Med ett nyere instrument som har digital skjerm kunne denne feilkilden blitt utelukket da disse vil gi ett 2D bilde innover i betongen som viser hvor det er armeringsjern.



Figur 2. Viser to måleverktøy hvor den ene bare oppgir avstand mens den andre oppgir avstand og bilde av jernene som finnes inne i betongen. (Foto fra hilti.com)

3 Teori

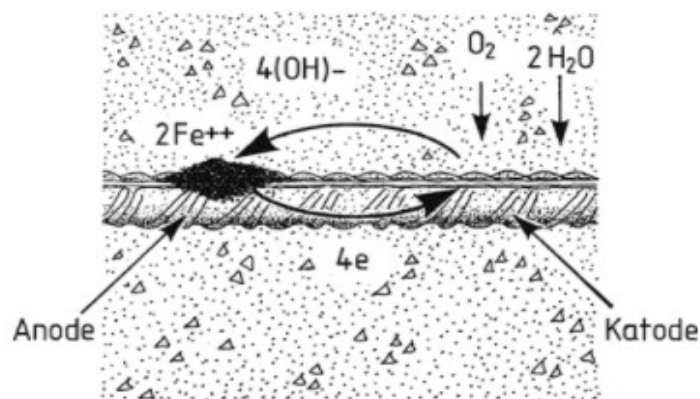
3.1 Skademekanismer i betong

For å rehabilitere betong på best mulig måte er det viktig å lokalisere skadene og hva som årsaken til disse. Alle bygningsmaterialer kan bli utsatt for forskjellige skademekanismer i form av kjemisk, biologisk og fysiske nedbrytninger. De forskjellige nedbrytningsmekanismene vil gi ulike skader i betongen. Typiske skader i betong vil være korrosjon av armeringen, avskallinger, riss, sprekker, kalkutfelling og oppløsning av sementpastaen (Sintef, 1998).

3.1.1 Armeringskorrosjon

Dette er den vanligste og alvorligste skadetyper som forekommer i armerte betongkonstruksjoner. Armeringskorrosjon kan føre til forskjellige skader på betongen som riss, sprekker, delaminering og rustutslag. Vedlikehold og reparasjoner av slike skader kan være tidkrevende og kostbart arbeid. Fersk betong har en høy pH-verdi i området 12,5-14 på grunn av høyt innhold av kalsiumhydroksid og andre alkaliske stoffer. Siden betongen da er alkalisk, danner det seg en beskyttende oksidfilm på all innstøpt armering.

Når denne oksidfilmen forsvinner, mister armeringen beskyttelsen sin og det blir da stor fare for armeringskorrosjon. Denne oksidfilmen kan forsvinne enten ved karbonatisering som senker pH-verdien til betongen eller ved høyt innhold av klorider. Armeringen vil da begynne å korrodere når det er tilgang på fuktighet og oksygen. Korrosjonsproduktet som da dannes er 2 til 7 ganger større enn det opprinnelige ståltverrsnittet.



Figur 3. Forenklet korrosjonsmodell som viser at armeringskorrosjon er en elektrokjemisk prosess. Stålet brytes ned ved anoden, dvs. der den beskyttende filmen er ødelagt. De frigjorte elektronene optas ved katoden av tilstedeværende oksygen og vann (Sintef, 1997).

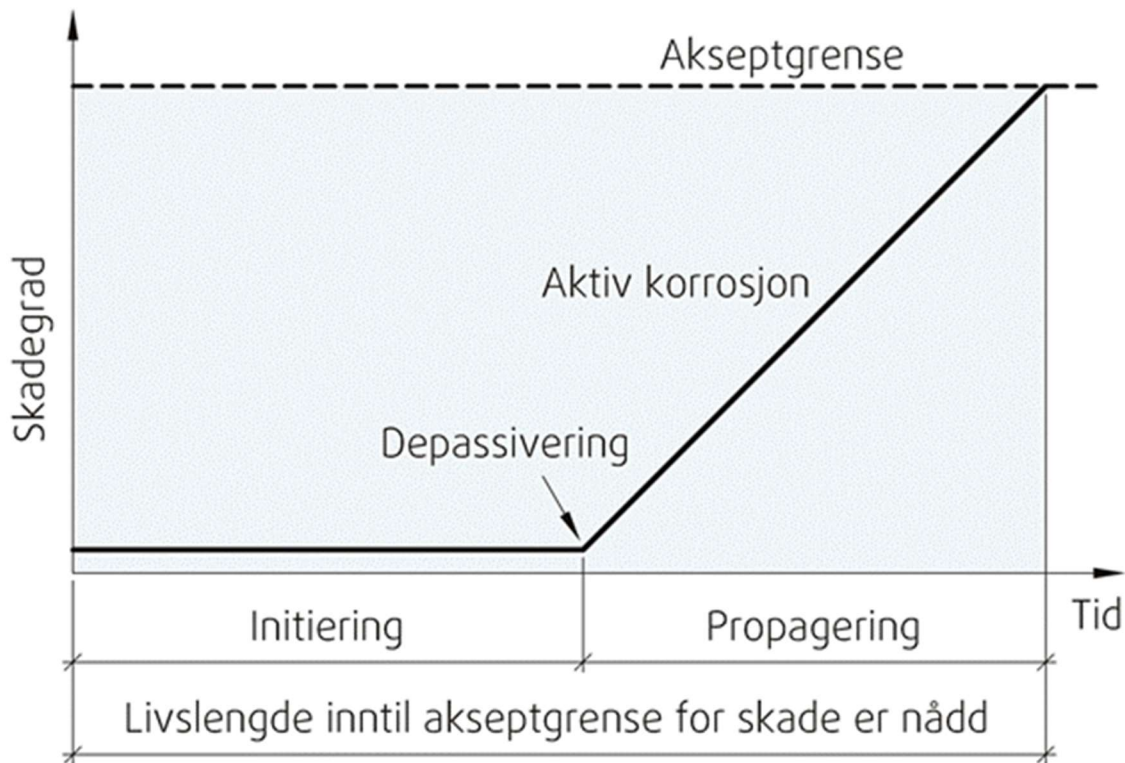
De vanligste årsakene til armeringskorrosjon er:

- Mangelfull betongoverdekning
- Betongkvalitet i overdekningssonen
- Karbonatisering av betongen
- Klorider i betongen
- Innstøpte klorider
- Inntrenging utenfra (tinesalt, marint miljø)

Volumøkningen av korroderingen kan føre til:

- Riss-/sprekkdannelse, ofte med utfelling av korrosjonsprodukter
- Avskalling (når strekkfastheten i betongen er overskredet)
- Redusert armeringstverrsnitt og dermed redusert bæreevne. Over tid vil faren for sammenbrudd øke. (Sintef, 1997)

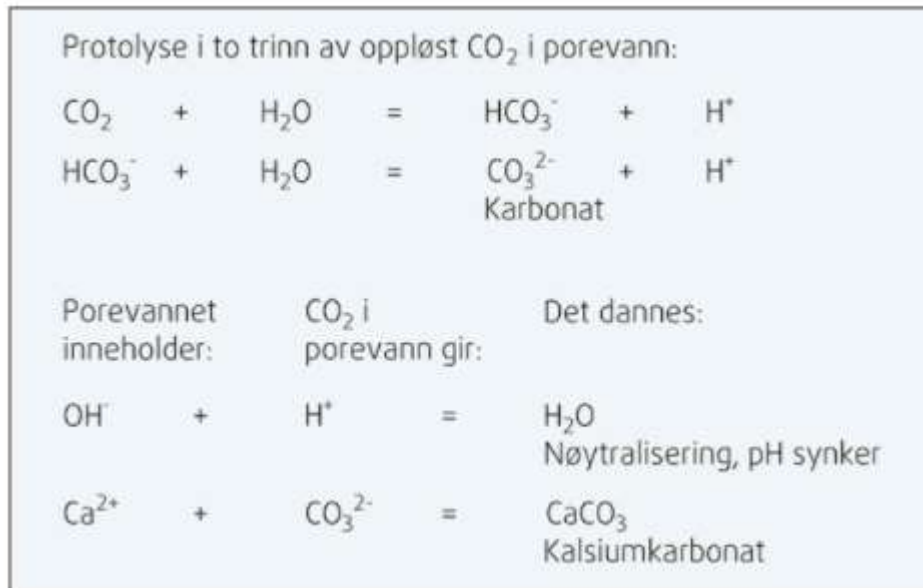
Korrosjonsforløpet kan deles inn i to perioder. Initieringsperioden er tiden frem til nedbrytning av passivfilmen skjer. Dette skjer ved at porevannet i kontakt med stålet faller til pH-verdi rundt 8-9 eller ved at porevannet i kontakt med stålet inneholder oppløste kloridioner over en viss terskelverdi. Når denne passivfilmen er brutt ned går det over til propageringsperioden. Det pågår nå en aktiv korrosjon av armeringen enten lokalt eller over store områder med en større hastighet enn hva det var under passivering. Selve hastigheten vil avhenge av flere faktorer knyttet til betongkvalitet og miljøeksponering, betongens fukttilstand og elektriske ledningsevne, og tilgangen til oksygen. Ved en relativ fuktighet på rundt 95 % vil det oppnås høyeste korrosjonshastigheter (Sintef, 2009).



Figur 4. Forløpet av korrosjonsinitiering og -propagering (Sintef, 2009).

3.1.1.1 Karbonatisering

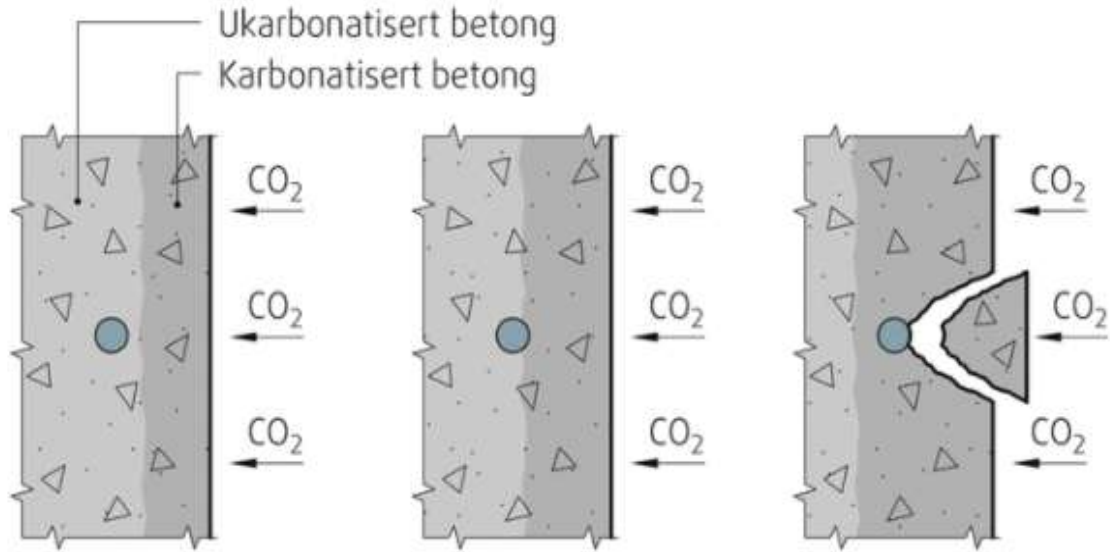
Karbonatisering av betong er en effekt som utsetter armeringen for korrosjonsangrep. Det er en naturlig kjemisk prosess som oppstår når betongoverflater er i kontakt med luft. I luften finnes det ca. 0,038 % karbondioksid (CO_2), som vil diffundere langsomt inn i betongen. Karbondioksidet vil reagere kjemisk med det basiske porevannet og nøytralisere det. I denne kjemiske prosessen omdannes CO_2 til karbonat (CO_3^{2-}) som reagerer med kalsiumet i porevannet som igjen danner kalsiumkarbonat (CaCO_3). Denne prosessen vil føre til at betongens pH-verdi vil reduseres til 8-9.



Figur 5. Kjemiske reaksjoner under karbonatiseringsprosessen (Sintef, 2009).

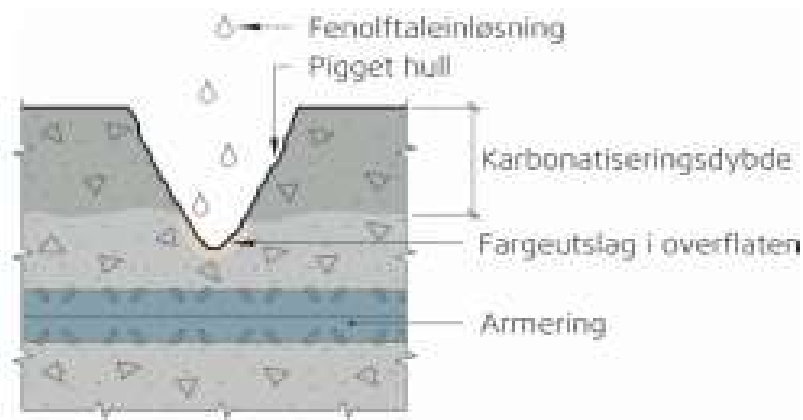
Dette bidrar til at passivfilmen på armeringen brytes ned og armeringen kan begynne å korrodere. Siden korrosjonsproduktet har ett større volum enn metallet vil det etter hvert utøve press på den omsluttende betongen. Dette vil føre til riss, sprekker og til slutt avskallinger av betong.

Skillet mellom ukarbonatisert betong og karbonatisert betong kalles karbonatiseringsfronten. Denne fronten vil bevege seg sakte innover i betongen. Her vil tykkelsen av betongoverdekningen være avgjørende for hvor lang tid det tar før karbonatiseringsfronten når armeringsstålet. En dobling av betongoverdekningen vil forlenge initieringsprosessen med så mye som fire ganger. Korrosjon av armeringen kan først starte når karbonatiseringsfronten når armeringen. Svært mange betongskader kommer av for liten overdekning. Derfor er det viktig med tilstrekkelig overdekning for bestandigheten og levetiden til en betongkonstruksjon.



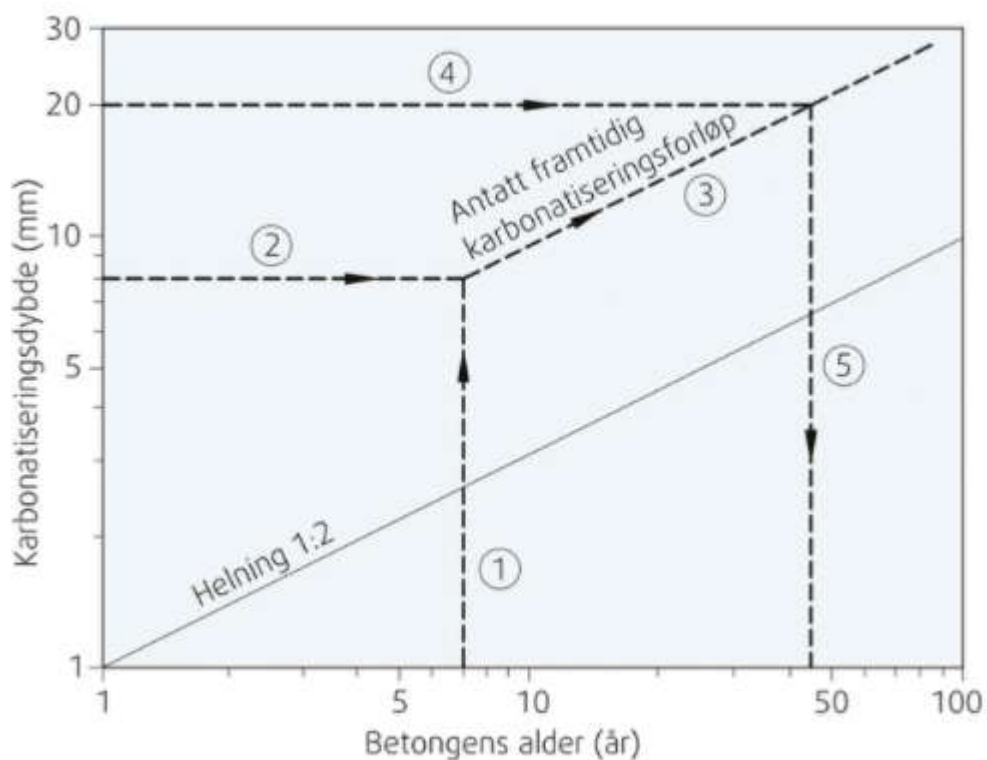
Figur 6. Karboniseringsprosessen (Sintef, 2009).

For å påvise karbonatisering måles karboniseringsdybden. Dette gjøres ved at det meisles eller borres ett fersk hull. Overflatene rengjøres godt før det påføres en pH-indikator kalt fenolftalein på en frisk bruddflate. Når den påføres basisk betong vil væsken avgi en rød-rosa farge som tyder på at det ikke foregår karbonatisering. Ved en pH-verdi i området 8,0-9,6 vil væsken forbli klar om den er i kontakt med karbonatisert betong. Derfor kan du ved å bore ett hull å dryppe væsken innover i hullet måle lengden med klar farge for å estimere karboniseringsdybden.



Figur 7. Måling av karboniseringsdybde ved bruk av fenolftalein (Sinef, 2009).

For å beregne hvor lang tid det tar før karboniseringsfronten når fram til armeringen kan det brukes en modell. Denne modellen tar utgangspunkt i karboniseringsdybden på ett gitt tidspunkt og alderen på konstruksjonen. Ved bruk av ett logaritmisk diagram hvor karboniseringsdybden i mm vises som funksjon av betongens alder, blir utviklingsforløpet en tilnærmet rett linje med stigning 1:2. Derfor kan man ved å måle karboniseringsdybde ved en gitt alder på konstruksjonen anslå videre karboniseringsforløp og beregne omtrentlig gjenværende initieringsperiode ut fra målt armeringsdybde.



Figur 8. Karboniseringsdybde som funksjon av tid (Sintef, 2009).

3.1.1.2 Kloridinitiert armeringskorrosjon

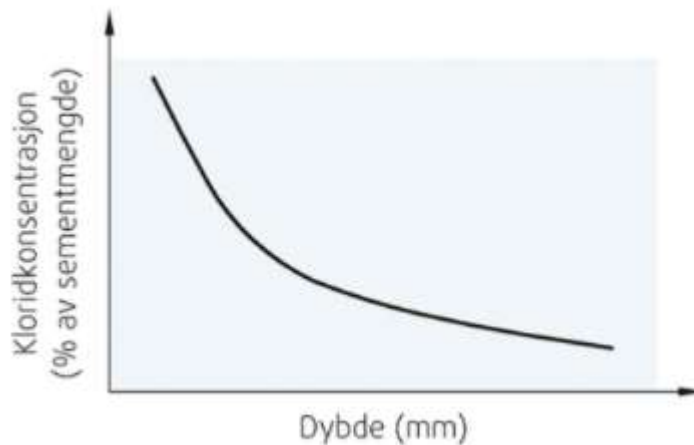
Når det blir for høyt nivå av kloridinnhold i betongen rundt armeringen vil den korrosjonsbeskyttende oksidfilmen på armeringen brytes ned slik at korrosjon kan oppstå. Ved økende kloridkonsentrasjon i betongen vil det til slutt nå kritisk grenseverdi hvor korrosjon av armeringsjernet kan oppstå. Kritisk grenseverdi er ikke nødvendigvis ett eksakt tall, men vil variere etter den aktuelle konstruksjonen. Dette fordi den er en funksjon av betongens alkalieinnhold og pH-verdi. Den vil også avhenge av flere faktorer som betongkvalitet, fuktinnhold og tilgang på oksygen. Grenseverdien vil være lavere i karbonatisert betong enn ukarbonatisert betong siden karbonatisering reduserer pH-verdien og alkalieinnholdet betraktelig.

Kloridinnhold (% av sementvekt)	Korrosjonsrisiko
< 0,4	svært liten
0,4–1,0	liten
1,0–2,0	stor
> 2,0	svært stor

Figur 9. Kloridinnhold og risiko for armeringskorrosjon (Sintef, 2009).

Tabellen over viser korrosjonsrisiko ved kloridinnhold i % av sementvekt. Denne tabellen er basert på empiriske data og statistiske vurderinger og brukes for å gi veiledende grenser for kritisk kloridkonsentrasjon.

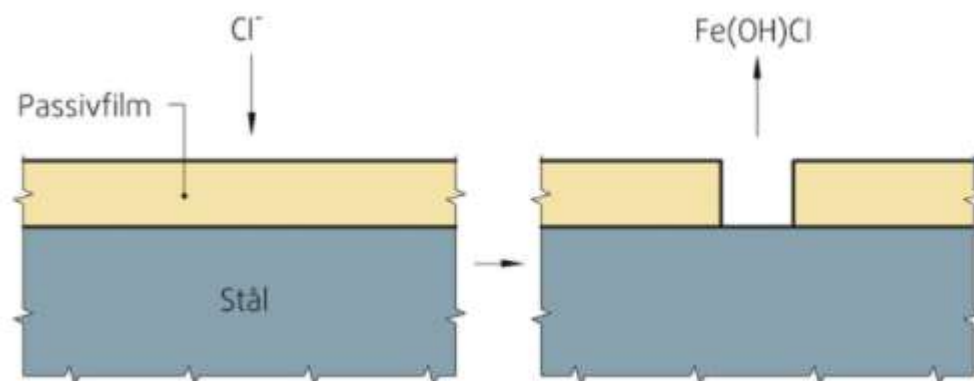
Kloridinitiert armeringskorrosjon forekommer vanligvis i konstruksjoner nært sjøvann, veisaltning eller salting av konstruksjoner for fjerning av is. Denne kloridinntrengingen er karakterisert ved to transportprosesser. Det starter ved kapillærabsorpsjon av klorider fra betongoverflaten ved at det suges inn i det ytterste sjiktet i betongen. Det er spesielt stort kloridopptak i de tilfeller hvor betongen utsettes for gjentakende oppfukning og uttørking. Kloridmengden som blir sugd opp i betongen forblir der etter uttørking også. Deretter vil det foregå en kloriddiffusjon innover i betongen som er en langsommere prosess. Kloridionene vil transporteres sakte mot områder med lav konsentrasjon ved diffusjonsmekanismer. Dette vil gi en typisk kloridprofil av betongen hvor det er høy konsentrasjon av klorider ytterst og lav konsentrasjon lenger inn.



Figur 10. Typisk kloridprofil i betong (Sintef, 2009).

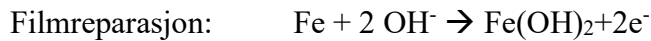
I eldre betongkonstruksjoner er det ikke uvanlig å se innstøpte klorider. Dette skjedde ved at det ble brukt kloridholdige materialer som sjøvann, sjøsand og salting av forskalingsformer. Klorider ble også brukt som akselleratorer for å aksellerere herdingsprosessen. Dette var før de visste konsekvensen av dette. Kloridholdige delmaterialer brukes ikke i dagens betongkonstruksjoner da alle tilsetningsstoffer på markedet er kloridfrie eller kun inneholder ubetydelige mengder klorid.

Prosessen som skjer, er at kloridioner som er oppløst i porevannet i betongen kan binde seg til ståloverflaten på armeringsjernene og vil deretter reagere kjemisk med passivfilmen. Kloridene vil fortrenge og bytte plass med OH-ioner som trengs for å opprettholde passivfilmen. Kloridene og jernhydroksiden fra passivfilmen vil danne en kjemisk forbindelse som er løselig i vann og videre danner den kjemiske forbindelsen $\text{Fe}(\text{OH})\text{Cl}$. Dette resulterer i at den passive virkningen til filmen reduseres og deretter går i oppløsning, og underliggende stål blir blottlagt.

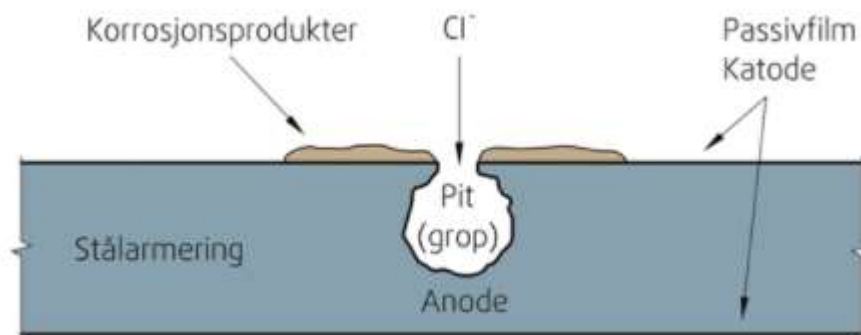


Figur 11. Kloridioner som reagerer kjemisk med passivfilmen og løser den opp (Sintef, 2009).

Dette kan føre til en lokal blottlegging av armeringen hvor kloridioner kan reagere med jern. Det er to reaksjoner som kan foregå når slikt skjer, en reaksjon hvor klorid bryter ned passivfilmen og en reaksjon hvor hydroksyl reparerer den.



Derfor vil det være avgjørende hvor høyt Cl^-/OH^- forholdet er i porevannet som er i kontakt med stålet. Ved lavt forhold kan stålet repassiveres slik at den aktive korrosjonen ikke kommer i gang. Ved høyt forhold kan kloridangrepet føre til en såkalt utgraving i stålet hvor oksidfilmen mangler også kalt «pittingkorrosjon». Dette er fordi oppløste jernioner i gropa kan protolysere under reaksjon med vann og kloridioner og danne sure H^+ -ioner. Dersom det samles opp slike sure H^+ -ioner i gropa hvor det er kloridioner til stede vil det dannes saltsyre (HCl). Vannet blir derfor surt som setter fart på jernoppløsningen ved at jernet også oksiderer i surt miljø. Denne prosessen er selvakselererende slik at korrosjonshastigheten kan bli veldig høy og raskt føre til en tverrsnittsreduksjon. Dette vil svekke kapasiteten til betongen betraktelig og er vanskelig å oppdage (Sintef, 2009) (NORCEM).



Figur 12. Kloridinitiert pittingkorrosjon av stål i betong (Sintef, 2009).

3.1.2 Fysiske skademekanismer

3.1.2.1 Frostangrep

Betong er ett materiale som inneholder mye porer. Normalt sett i størrelsesorden 120 – 180 liter / m³ betong. Når disse porene er av god størrelse nært betongoverflaten kan de lett fylles med vann. Hvis disse vannfylte porene så fryser til is, vil faseendringen føre til en volumøkning på 9 %. Inne i betongen vil det da oppstå ett indre trykk i form av strekkspenninger. Skulle disse strekkspenningene da bli større enn strekkfastheten til betongen vil det oppstå riss og avskalling pga. frostsprengning.

Andre frostskaider er når islagte betongoverflater blir utsatt for salting. Salt vil gjøre isen ustabil og dermed gå over til vann igjen. Denne faseovergangen krever mye energi som vil tas fra underlaget som er betongen. Isen tar opp varme fra betongen som gjør den kraftig nedkjølt. Dette medfører store spenninger i det øverste betongsjiktet når det er gjentatte fryse-/tinesykluser som deretter kan føre til avskallinger (Kristiansen, Lindland, & Østmoen, 1998).

3.1.2.2 Fuktighetsvariasjoner

I tørkefasen til betongen forsvinner vannet i kapillærporene først. Når dette vannet forsvinner, vil betongen trekke seg sammen. Hvis betongens strekkfasthet er dårligere enn disse sammentrekningskreftene er det fare for at betongen vil sprekke og få uttørkingsriss (Kristiansen, Lindland, & Østmoen, 1998).

3.1.2.3 Temperaturvariasjoner

Når betongen er i herdet tilstand, vil den fortsatt utvide seg ved oppvarming og trekke seg sammen ved avkjøling. Hvis betongen er fastholdt mot denne temperaturbevegelsen vil det oppstå strekkspenninger. Om disse strekkspenningene overgår betongens strekkfasthet er det fare for sprekker. Typisk ved massive betongkonstruksjoner er at de kan bli veldig avkjølt i det ytterste sjiktet mens det er varmt på innsiden. Det oppstår da en indre fastholding slik at betongen kan sprekke i overflaten (Kristiansen, Lindland, & Østmoen, 1998).

3.1.2.4 Andre typiske skademekanismer

Ved overbelastning av konstruksjonen eller underdimensjonering kan det føre til konstruktive riss som:

- Bøyeriss
- Skjærriss
- Torsjonsriss
- Aksialriss
- Forankringsriss

Dårlig grunnarbeid vil gi fare for setningsskader som sprekker og riss. Mekanisk slitasje kan oppstå av bruken som f.eks. fra biler, trucker, kraner etc. som igjen gir fare for støtskader (Kristiansen, Lindland, & Østmoen, 1998).

3.1.3 Kjemisk nedbrytning

3.1.3.1 Alkaliereaksjoner

For betongkonstruksjoner er alkaliereaksjoner en av de mest alvorlige nedbrytningsmekanismene. Den ble først kjent internasjonalt på begynnelsen av 1940-tallet. Norge trodde ikke de hadde dette problemet før på 1980-tallet selv om de første skadene ble dokumentert på 1970-tallet.

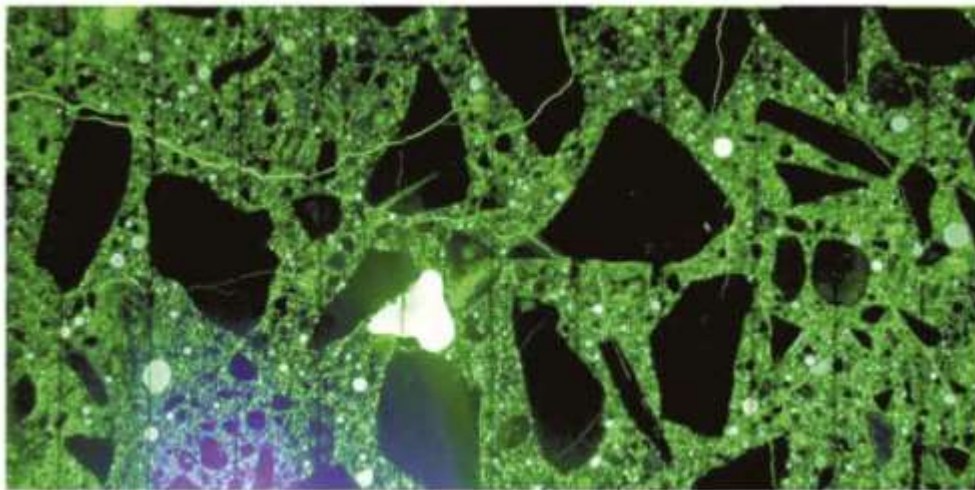
Alkaliereaksjoner er skadelige reaksjoner som foregår mellom kvartsholdig tilslag og alkaliioner i sementpastaen. Vanlig betegnelse er ASR (Alkali Silica Reactions) eller AAR (Alkali Aggregate Reactions). Disse blir så delt inn i hurtige eller langsomme reaksjoner som avhenger av type tilslag som er brukt..

Hurtige alkaliereaksjoner skjer hvor amorf (SiO_2) eller finkornet kvarts i tilslaget reagerer. Typiske tilslag er opal, flint og glass.

Langsomme alkaliereaksjoner er av kvartsholdige bergarter hvor kornene er krystalline og finkornete reagerer. Eller den opprinnelige krystallstrukturen i kvartskornene er delvis ødelagt av geologiske omdannelsesprosesser.

Det finnes også noe som heter alkalikarbonatreaksjon som er veldig sjelden og bare registrert i forbindelse med dolomitholdige bergarter. Dette har aldri blitt dokumentert i Norge og risikovurdering av dette er heller ikke inkludert i norsk regelverk.

Reaksjonsprosessen er en kjemisk-fysisk reaksjon i betongen mellom alkaliioner (Na^+ og K^+) og tilslag som inneholder kvarts (SiO_2). Betongens porevann får høy pH-verdi av alkalier og kalsiumhydroksid. Kombinasjonen av høy pH og alkalier øker løseligheten av SiO_2 i tilslaget slik at dette går i oppløsning. Reaksjonen mellom SiO_2 , alkalier og vann fører til en geldannelse som igjen er hygroskopisk som betyr at den tar opp vann. Når denne gelen tar opp vann vil den utvide seg som resulterer i ett trykk i porer og hulrom i betongen, som medfører at betongen ekspanderer og risser opp når strekkspenningene overgår betongens strekkfasthet. Denne typen opprissing vil gi ett karakteristisk krakeleringsmønster på betongoverflaten. Disse rissene ser som regle mørk og fuktig ut selv ved uttørking. I Norge er det først vanlig å se slike skader etter 10-20 år gamle konstruksjoner (Sintef, 2007).



Figur 13. Planslipt betong som viser riss i tilsag og sementpasta (Sintef, 2007).

3.1.3.2 Utluting

Dette er en annen type kjemisk nedbrytingprosess i betongen. Betong inneholder kalk i form av kalsiumhydroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ som er lettløselig i vann. Dette kan da enkelt vaskes ut hvis vann trenger igjennom porøs betong eller i riss i betongen. Dette kan føre til raskere nedbryting av betongen siden utvaskingen fører til redusert tetthet. Med tiden kan det bli betydelige lekkasjer gjennom riss og sprekker, samtidig som utluting reduserer pH-verdien til betongen.

Når utlutet kalken fra betongen reagerer videre med CO_2 i luft ved betongoverflaten vil det dannes kalsiumkarbonat CaCO_3 , dette tar form i ett hvitt, porøst overflatebelegg med store luftlommer. Utluting blir normalt bare sett på som et estetisk problem, men det kan fortsatt rundt lokale riss bli veldig omfattende slik at det kan gi konsekvenser for konstruksjonen (Sintef, 2000).



Figur 14. Utluting har dannet stalakitter av sementlimet (Millab Consult AS, u.d.).

3.1.3.3 Syreangrep

Betong har liten evne til å motstå angrep fra syrer hvis den ikke er overflatebeskyttet eller veldig diffusjonstett. Sementpastaen i betong vil brytes ned i kontakt med syrer med en pH-verdi under 7. Dette fører til at pastaen brytes ned fordi kalken i form av kalsiumhydroksid $\text{Ca}(\text{OH})_2$ vil omdannes til vannløselige kalsiumsalter som deretter vaskes ut.

Hastigheten av nedbrytningsprosessen vil avhenge av syrens konsentrasjon og kalsiumsaltenes oppløselighet. Det kan også forekomme ekspansjon som følge av dannelse av etringitt. Karakteristiske tegn for syreangrep er at tilslaget vil bli frilagt som følge av at sementpastaen løses opp og forsvinner. Over tid vil dette tære bort betongoverdekningen slik at armeringen blir frilagt (Sintef, 2000).

3.1.3.4 Biologisk nedbrytning

Biologisk nedbrytning er når det er involvert levende organismer. Her kan visse bakterier som eksempelvis svovelbakterier virke nedbrytende på betongen ved at det dannes svovelsyreangrep og sulfatangrep. Dette skjer for det meste i kloakkrør av betong hvor det dannes hydrogensulfid fra sulfater eller proteiner i kloakkvannet. Når disse hydrogensulfidene er oppløst i vann blir det omdannet til svovelsyre og sulfatangrep som starter en nedbrytningsprosess på betongen.

Mose-, gress- og algevekst eller annen begroing på betong blir normalt bare sett på som ett estetisk problem. Men det kan også forekomme nedbrytning fordi dette vil inneholde en viss fuktighet som kan gi fare for frostskafer (Kristiansen, Lindland, & Østmoen, 1998).

3.2 Rehabiliteringsmetoder

Rehabiliteringsmetoder som velges bør avgjøres av hvor stor levetidsøkning som ønskes. Her kan forskjellige metoder gi ønsket resultat slik at det ofte vil falle ned på vurdering av kostnader, kompetanse, levetid og miljømessig påvirkning.

Her er det flere standarder som stiller tekniske krav til gjennomføring, materialene, toleranseverdier, tester og kontroller. Eksempelvis brukes NS 3420-L:2019 og NS 1504-serien for beskrivelser av betongrehabilitering.

De vanlige rehabiliteringsmetodene som brukes for betong kan deles inn disse kategoriene:

- Forbehandling
- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk re-alkalisering
- Elektrokjemisk kloriduttrekk
- Katodisk beskyttelse
- Overflatebehandling
- Reparasjon av riss og sprekker

De vanligste skader på betong skyldes ofte av armeringskorrosjon.

Typiske metoder for å rehabilitere skader som skyldes korrosjon framkalt av karbonatisering kan være:

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk realkalisering sammen med mekanisk reparasjon
- Katodisk beskyttelse sammen med mekanisk reparasjon
- Beskyttende maling

Metoder for å rehabilitere skader som skyldes korrosjon framkalt av kloridangrep kan være:

- Mekanisk reparasjon
- Elektrokjemisk kloriduttrekk sammen med mekanisk reparasjon
- Katodisk beskyttelse sammen med mekanisk reparasjon
- Beskyttende maling (Sintef, 1997) (Lindland & co, 2004)

3.2.1 Mekanisk reparasjon

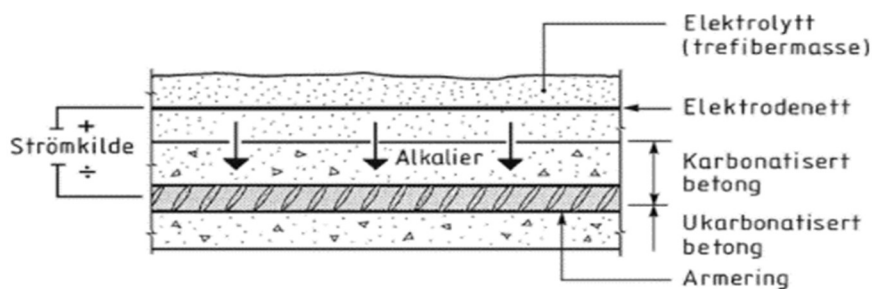
Dette er den mest brukte metoden for rehabilitering av skader i betong. Den brukes til å rehabiliterer skader som riss, sprekker og avskallinger av betong som oftest er forårsaket av armeringskorrosjon.

Det kan også benyttes en metode kalt begrenset mekanisk reparasjon der hvor armeringen er utsatt for karbonatisering eller kloridangrep. Mekanisk reparasjon gjøres da i ett begrenset omfang visst det er slik at betongen skal få katodisk beskyttelse eller lignende for å hindre videre korrosjon av armeringen. Det må skilles mellom mekaniske reparasjoner som skal være bærende og ikke-bærende reparasjoner av tverrsnittet.

Valg av mekanisk reparasjon bør derfor baseres på hva som skal behandles, skadeomfang, skadeårsak og hvilke andre behandlinger det kan være behov for å utføre på betongen (Sintef, 1997) (Lindland & co, 2004).

3.2.2 Elektrokjemisk realkalisering

Som følger av karbonatisering vil PH-verdien til betongen synke til ett nivå der det er fare for at korrosjon kan bli initiert. Elektrokjemisk realkalisering er en metode for å gjenopprette den basiske tilstanden som er ønskelig i betongen. Dette gjøres ved at det legges ett elektrodenett på overflaten av betongen som sprøytes inn med alkaliske elektrolytter av trefibermasse slik at elektrodenettet blir liggende i midten. Når dette nettet kobles til strøm bidrar det til å transporer alkalier inn i betongkonstruksjonen slik at PH-verdien økes til ca 10,5. Denne realkaliseringsprosessen vil ta 3-7 dager, avhengig av karbonatiseringsdybden, armeringstettheten samt tykkelsen og kvaliteten på betongoverdekningen. Når behandlingen er ferdig fjernes den påførte massen, elektrodenettet og betongoverflaten vaskes ren med vann. (Sintef, 1997) (Lindland & co, 2004).



Figur 15. Prinsippkisse av realkalisering (Sintef, 1997).

3.2.3 Katodisk beskyttelse

Katodisk beskyttelse kan brukes i konstruksjoner som er utsatt for armeringskorrosjon som følger av både karbonatisering og kloridangrep. Dette gjøres ved at det legges anodenett i påstøp utenpå betongen eller i form av ett elektrisk ledende belegg. Gjennom dette vil det sendes likestrøm til armeringen gjennom hele levetiden til konstruksjonen. Dette fungerer med at det føres inn elektroder utenfra (anode) slik at disse alltid er i flertall. Dette fører til at armeringen blir negativt ladet som vil motstå korrosjon. Derfor blir armeringen til katode og kalles katodisk beskyttelse.

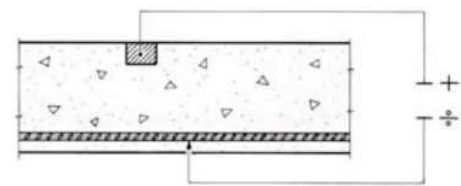
Det er omfattende arbeid rundt denne metoden.

Armeringen må undersøkes for kontinuitet samt at alle åpninger mellom armeringen og betongen er tett. Den er også avhengig av likestrøm som betyr mye kabelarbeider og instrumenter som må monteres.

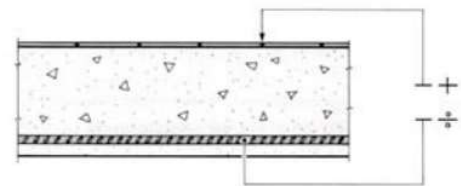
Vanlige anodesystemer er:

- elektrisk ledende dekkjikt
- elektrisk ledende belegg
- anoder i utfreste spor
- stavanoder

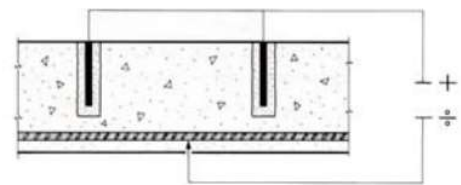
Denne metoden krever livslang overvåkning av strømstyrke og spenning for å sikre at anlegget fungerer over tid som planlagt (Lindland & co, 2004) (Sintef, 1997).



Anoder i utfrest spor



Elektrisk ledende maling



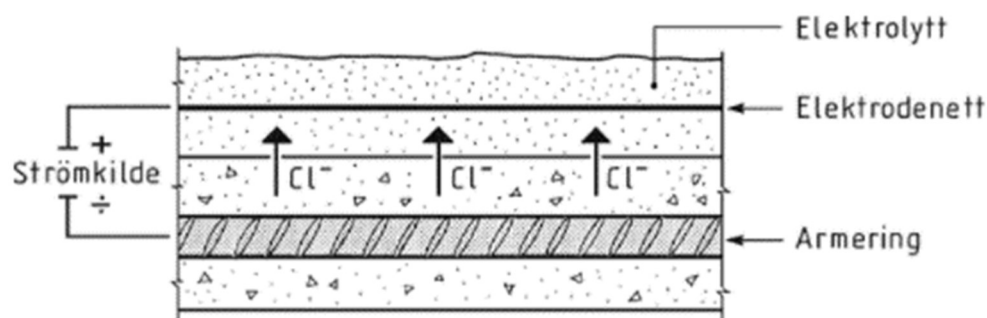
Stavanoder

Figur 16. Prinsippskisse for ulike anodesystemer (Lindland & co, 2004).

3.2.4 Elektrokjemisk kloriduttrekk

Denne metoden brukes der det ikke er særlige synlige skader på betongen enda, men armeringen er akkurat havnet i, eller er på vei til å havne i kloridholdig betong. Som ved elektrokjemisk realkalisering legges det ett elektrodenett utenpå betongen i en trefibermasse. Når det kobles strøm på armeringen og elektrodenettet dannes det ett elektrisk felt mellom disse som bidrar til at kloridionene transporteres ut gjennom betongen og ut i elektrolytten. Dette skjer ved å koble armeringen på minuspolen og elektrodenettet til plusspolen. Dette bidrar til at kloridionene blir negativt ladet og vil strømme ut av betongkonstruksjonen mot nettet som er positivt ladet og ligger i ledende masse. Samtidig vil det foregå en elektrolyse på overflaten av armeringen slik at det skapes et basisk miljø. Denne elektrolysen danner hydroksylioner på stålet som igjen binder seg til kationer av natrium, kalsium og kalium til å danne lut. Dette resulterer i at passivfilmen på armeringen gjenopprettes fordi luten er høyalkalisk.

Prosessen må overvåkes ved hjelp av kloridanalyser og eventuelle referanseelektroder. Når kloridinnholdet i betongen når en forhåndsdefinert verdi som er lavere enn grenseverdien for konstruksjonen kan prosessen stanses. Normalt sett vil denne prosessen ta 6 – 12 uker avhengig av kloridinnholdet, betongkvaliteten og overdekningen til armeringen. Når prosessen er ferdig fjernes trefibermassen og elektrodenettet, og betongoverflaten rengjøres med vann (Sintef, 1997).



Figur 17. Prinsippkisse for kloriduttrekk (Sintef, 1997).

3.2.5 Overflatebehandling

Overflatebehandling skal bidra til å beskytte betongen mot påkjenninger fra det ytre miljøet. Dette er den første forsvarslinjen mot kjemiske belastninger som CO₂, klorider, UV-stråling og mekaniske påkjenninger som vind, vann, salter og termiske belastninger. Ved å beskytte betongen mot dette vil levetiden til konstruksjonen forlenges. Overflatebehandlingen kan også gi ett ønsket utseende på betongen. Overflatebehandlinger av betong skilles i to grupper:

- Impregnering (hydrofobierende, porefyllende)
- Filmdannende belegg (tynnfilm, tykkfilm/slemmemasser)

Filmdannende belegg brukes ofte i kombinasjon med andre produkter slik at det blir flere sjikt med overflatebehandling (Sintef, 1997).

Case: Åsgårdvegen studentboliger



Figur 18. Åsgårdvegen studentboliger.

4 Beskrivelse av konstruksjon og plassering

Bygningsmassen i åsgårdvegen 9 består av to bygninger som er knyttet sammen på bakkeplan. Bygningene sto ferdige år 1972-73. Dette var da hjemmet til sykepleierskolen i Tromsø.

Høyblokken består av totalt ni etasjer hvorav:

- Plan U består av tekniske rom, tilfluktsrom, vaskerom og en studentleilighet på nord-vest hjørne
- Plan 1 har kontorer for studentsamskipnaden, lobby og garasje/ varelager.
- Plan 2-7 er identisk utformet og består av opptil 21 studenthybler per etasje, 2 kjøkken, 2 dusjrom og 4 wc per etasje
- Plan 8 har noe mindre areal og består av ventilasjon og boder

Bygningen er rundt 24 m høy med en grunnflate på ca. 470 m². I underetasjen er det vegger mot terreng i sør, øst og delvis i nord. Betongkonstruksjonen er fundamentert på berg.

Lavblokka på 2 etasjer på østsiden var tidligere undervisningslokaler til sykepleierskolen og er ikke relevant for denne oppgaven.

Bygningsmassen i åsgårdvegen er en plaststøpt betongkonstruksjon hvor hovedbæresystemet består av betongskiver og betongsøyler delvis på utsiden av hele fasaden. Det er en indre kjerne som strekker seg fra u.etg til 8 etg. bestående av blant annet heis- og trappesjakt.

Da mye av bærekonstruksjonen er utvendig er de eksponert for klimapåvirkninger samt at det vil representere betydelige kuldebroer.



Figur 19. Byggets plassering med avstand til sjø.

Som vist i figur 19 ligger bygget i ett relativt lite bebygd strøk på Tromsøya. Det er boligområde litt høyere opp på østsiden, mens vestsiden består av mye åpent område. Bygningen er den del høyere enn hva som er vanlig for området og er dermed utsatt for vind i sør, vest og nord mens det er i le fra fjellet på østsiden. Det er lite gjennomgangstrafikk i åsgårdvegen da den har en bom i nord som bare slipper busser igjennom.

4.1 Dimensjoneringsregler

Det må antas at bygningen er prosjektert etter gjeldende forskrifter på byggetidspunktet. På starten av 70-tallet går det ut ifra at det var NS 427 A som ble utgitt i 1968 som var gjeldende.

4.1.1 Armering

Overdekningskravet i denne standarden var satt til «2 cm for plater og vegger som er utsatt for vær og fuktighet».

4.1.2 Tilslag

For armerte vegger og søyler skulle tilslagets maksimale steinstørrelse være 1/5 av tykkelsen. For dekker var det maks 1/3 av dekketykkelsen, men ikke større enn 38 mm. Det kan derfor være fare for det er brukt en del grovere tilslag enn hva som er normalt i dag. Sjøsand var også vanlig å bruke på denne tiden.

4.1.3 Vann

«Rent sjøvann kan i alminnelighet brukes», men med noen unntak. Det kan derfor ikke utelukkes at det er blitt brukt sjøvann i betongblandingen.

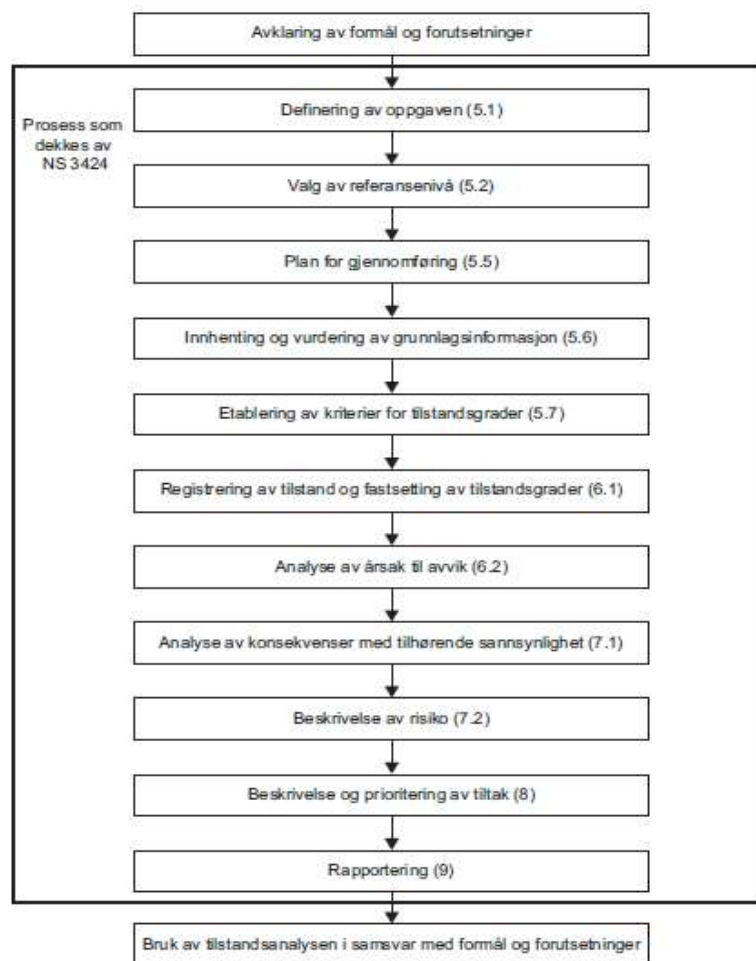
4.1.4 Brukstid

I dagens prosjekteringsstandard NS-1990 for konstruksjoner dimensjoneres vanlige bygninger normalt for 50 års levetid. Basert på den betraktningen er det ikke noe resterende brukstid igjen.

5 Tilstandsanalyse

For å få tilstrekkelig mengde opplysninger om årsaker til skadeutvikling og omfanget av skader er det viktig med nøyaktige tilstandsanalyser. En grundig tilstandsanalyse gir grunnlag for riktige valg og korrekt utførelse av utbedringer. En tilstandsanalyse skal gi et godt bilde av tilstanden til konstruksjonen basert på vurderinger i henhold til valgt analysenivå. Ved gjennomføring av en tilstandsanalyse får man oversikt over den nåværende tilstanden samt hvilke følger skadeutviklingen kan få. Det kan anslås skadeutviklingshastigheten og vurdere nødvendige levetidsforlengende utbedringer.

NS 3424 – Tilstandsanalyse av byggverk setter krav til hvordan tilstandsanalyser skal gjennomføres og hvordan tilstand skal beskrive, vurderes og dokumenteres. Standarden skal brukes som ett verktøy for å få oversikt over tilstanden i forhold til et gitt referansenivå og eventuelle tiltak som kan iverksettes.



Figur 20. Anbefalt prosedyre for tilstandsanalyser (Norsk standard, 2012)

En tilstandsanalyse kan skilles mellom tre nivåer tilpasset formålet. Hva de forskjellige analysenivåene omfatter med hensyn til registreringer og vurderinger er angitt i tabell 1 under.

Tabell 1. Analysenivå (Norsk standard, 2012)

	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3
Eksempler på formål	Rutineinspeksjoner, porteføljeeversikt. Grovt kostnadsoverslag for vedlikehold, reparasjon, utbedring, langtidsbudsjettering.	Ved ombygning, vurdering av skadeomfang og årsak eller ved inspeksjon av deler av byggverk hvor det erfaringsmessig ofte registreres avvik. Omsetningstaksering. Detaljerte kostnadsoverslag for vedlikehold, reparasjon, utbedring, langtidsbudsjettering.	Utskiftning og rehabilitering basert på risikovurdering som ledd i prosjektering av tiltak. Skadedetaksering.
Metode/arbeidsprosess	Tilstandsanalyse av generell art basert på visuelle observasjoner, eventuelt kombinert med målinger som kan styrke informasjon om tilstanden. Innhenting av relevant dokumentasjon tilpasset oppgaven.	Tilstandsanalyse av generell art, på nært hold og mer dyptgående og detaljert enn nivå 1. Den omfatter gjennomgåelse av underlagsdata som tegninger, beskrivelser og annen dokumentasjon. Mer omfattende registreringer eller målinger for å klarlegge oppbygning og tilstand skal gjennomføres når symptomer eller formål tilsier dette.	Tilstandsanalyse av spesiell art som normalt bare omfatter utvalgte byggverk, deler av byggverk eller spesielle problemstillinger. Slik tilstandsregistrering innebærer særlig nøyaktige måle- eller prøvingsmetoder og også eventuell laboratorieprøving. Inkluderer nødvendige fysiske inngrep, beregninger, verifikasjon osv.
Avgrensning	Undersøkelse av hele byggverket eller deler av det.	Undersøkelse av hele byggverket eller deler av det.	Undersøkelse av deler av byggverket.
Analyse	Angivelse av årsaker til avvik om mulig (for TG 2 og TG 3).	Konkluderende årsaksvurdering (for TG 2 og TG 3).	Konkluderende årsaksvurdering (for TG 2 og TG 3).
	Konsekvensanalyse (fastsetting av konsekvensgrad KG).	Kvalitativ risikoanalyse (fastsetting av konsekvensgrad KG og beskrivelse av risiko).	Kvalitativ eller kvantitativ risikoanalyse (fastsetting av konsekvensgrad KG og beskrivelse av risiko).
Tiltak	Foreslå tiltak for å redusere oppståtte konsekvenser eller å lukke avvik der det er registrert TG 2, TG 3 eller TGIU. Angi avvik i forhold til dokumentasjonskrav. Fastslå eventuelle behov for videre undersøkelser på nivå 2 eller 3.	Foreslå og prioritere tiltak der det er registrert TG 2, TG 3 eller TGIU. Fastslå eventuelle behov for videre undersøkelser på nivå 3. Lage en undersøkelsesplan for nivå 3 som vil kunne fastslå tiltak som er tilstrekkelige for å lukke avvik, og som kan være grunnlag for detaljprosjektering.	Fastslå tiltak som er tilstrekkelige for å lukke avvik der det er registrert TG 2, TG 3 eller TGIU.

Videre i denne tilstandsanalysen er nivå 2 lagt til grunn som baserer seg på visuelle observasjoner kombinert med mer omfattende målinger for å kartlegge tilstanden på betongkonstruksjonen. Med dette skal det være en konkluderende årsaksvurdering med forslag til tiltak.

5.1 Generelt

I samarbeid med Norconsult AS avd. Tromsø har det blitt gjennomført befaringer ved åsgårdvegen 9. Disse besto av visuelle registreringer av betongens tilstand. Det er også blitt tatt støvprøver ved 12 utvendige lokasjoner og 11 innvendige lokasjoner som er blitt sendt til Norconsult sitt laboratorie ved hovedkontoret i Sandvika for analysering av kloridinnhold. Ved noen av de samme lokasjonene er det også blitt målt karbonatiseringsdybde.

Norges arktiske studentsamskipnad hadde ikke armeringstegninger tilgjengelig for bygget og det ble i den forbindelse også målt overdekning, antall armeringsjern og meislet inn i minst en søyler per etasje for å fastslå armeringsdiameter.

Ved utarbeidelse av denne tilstandsanalysen har følgende dokumentasjon vært tilgjengelig.

<u>Tegn. Nr.</u>	<u>Navn</u>	<u>Utgitt</u>
• 115-201	Plan av underetasje	30/09/70
• 115-203	Boligplan (2-7 etasje)	29/05/70
• 115-209	Internat, takoppbygg, plan og snitt	07/08/70
• 115-214	Internat og skole SNITT	03/07/70
• 115-401	Ytterveggdetaljer	09/09/70
• 115-402	Ytterveggdetaljer	30/09/70
• 49780	Internat, fundamentplan	23/02/71
• 49781	Internat, dekke over underetasje	23/02/71
• 49782	Internat, dekke over 1. etasje	23/02/71
• 49783	Internat, dekke over 2. til 6. etasje	23/02/71
• 49784	Internat, dekke over 7. etasje	23/02/71
• 49785	Internat, plan av takoppbygg	23/02/71
• 49786	Internat, snitt A-A	23/02/71
• 49787	Internat, snitt akse K	23/02/71
• 49788	Internat, snitt akse K og N	23/02/71
• 49789	Internat, snitt akse N	23/02/71
• 49790	Internat, snitt gjennom trapp og heissjakt	23/02/71
• 49791	Internat, fasade mot øst	23/02/71
• 49794	Balkong og baldakinskjema	23/02/71

5.2 Visuelle registreringer

Ett utdrag av visuelle registreringer kommenteres her. Ytterligere bilder og kommentarer fra befaringene finnes i vedlegg 2.

Det er tydelig at utvendige søyler tidligere har fått gjennomført utbedringstiltak som tildekking av eksponert armering, tid er uvisst.

Utvendige søyler

- Det er observert riss, sprekker og krakelert/løs betong og puss på flere av søylene. Det er tydelig at de største skadene på søylene er mest konsentrert i plan 3 og 6.
- Det er flere områder med avskallet betong og eksponert armering. Flere steder ser det ut til å bare være 10 mm overdekning ved avskallingene rundt bøylene.

Innervegger

- Det er ikke observert noen synlige skader på innerveggene av betong.



Figur 21. Manglende overdekning på bøyler i plan 6 østfasade.

Figur 21 viser manglende overdekning på flere av bøylerne spesielt i plan 6 på østfasaden. Avskallingene ser ikke ut til å være dype hvilket tyder på minimal overdekning, antar ca. 10 - 15 mm.



Figur 22. Avskallet betong med eksponert og korrodert armering i plan 3.

Figur 22 viser den mest skadde søylene på hele konstruksjonen og befinner seg midt i plan 3 på østfasaden.



Figur 23. Overdekning skadd søyle plan 3.

Østfasaden er den siden som har de mest omfattende skadene. Figur 21, 22 og 23 viser at det er en kombinasjon av manglende overdekning og korrosjon av armeringen som har forårsaket avskallinger av betongen. Søylene mangler en betydelig del av tverrsnittet og levner liten tvil om at det er redusert kapasitet i søylen. Kammene på bøylene ser ut til å være rustet bort mens lengdearmeringen ser ut til å fortsatt ha litt av kammene igjen. Reduksjon av armeringstverrsnittet vil føre til ytterligere reduisering av kapasiteten til søylene.



Figur 24. Sprekk i bakkant av søyle fra figur 22 og 23.

Betydelig sprekk i bakkant av skadd søyle fra figur 22 som strekker seg i hele høyderetningen på søylen.



Figur 25. Krakelert puss og manglende overdekning.

Krakelert puss og manglende overdekning ved bøyer. Bildet tatt ved P7 av utvendige kloridprøver.



Figur 26. Krakelert puss og manglende overdekning på bøylar i vestfasade plan 1.



Figur 27. Krakelert puss under dekkeforkanter plan 6 vestfasade.



Figur 28. Viser sprekk tvers gjennom betongsøylen over inngangspart ved sørfasaden.

Figur 28 viser en gjennomgående sprekk i forkant av fasadesøylen i plan 3 over inngangsparti på sørsiden. Ved gjentakene fryse-/tinesykluser vil det være fare for frostsprenging som kan føre til en stor avskalling av betong over inngangspartiet til studentblokken.

5.3 Karbonatisering

Karbonatisering av betong er noe som utsetter armeringen for korrosjonsangrep.

Karbondioksid trenger inn i betongen og senker pH-verdien. Dette bidrar til å bryte ned passivfilmen slik at armeringen kan begynne å korrodere.

Karbonatiseringsdybden er blitt målt i egne borehull ved bruk av fenolftalein væske. Før påføring av væsken ble hullet vasket rent med vann fra trykkpumpe for å få vasket ut det fine støvet fra boringen. Deretter ble det blåst tørt med trykkluft på boks. Dette for å redusere sjansen for at ukarbonisert støv fra kjernen skal ligge igjen i hullet å gi feilmålinger.



Figur 29. Lokasjon for karboniseringsprøver østfasade.

Figur 29 viser hvor det ble målt karboniseringsdybde på østfasaden. Det ble også målt karboniseringsdybde på balkongene i vestfasaden plan 3 og 6 i forbindelse med uttak av de innvendige kloridprøvene.



Figur 30. Målt karboniseringsdybde plan 3 østfasade.

Figur 30 viser at det er en karboniseringsdybde på ca. 30 mm. Som skrevet i kapittel 4.1.1 var det vanlig med en overdekning på 20 mm på byggetidspunkt. Målinger på stedet viser derimot stor variasjon i overdekningen. Overdekningen ble målt til å være i området 10 mm helt opp til 50 mm enkelte steder. Dette betyr at det enkelte steder er fare for korrosjon pga. karbonatisering.

Iht. dagens betongstandard «NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2018» hvor det er utvendige betongoverflater utsatt for korrosjon framkalt av karbonatisering ved 50-års dimensjonerende brukstid er det krav til 35 mm nominell overdekning. Ved 100-års dimensjonerende brukstid er kravet 45 mm nominell overdekning.

5.4 Kloridanalyser

Kloridinitiert armeringskorrosjon forekommer ved at høyt kloridinnhold ved armering fører til nedbrytning av passivfilmen til armeringen. Kloridioner vil da videre kunne reagere med armeringen som vil kunne begynne å korrodere.

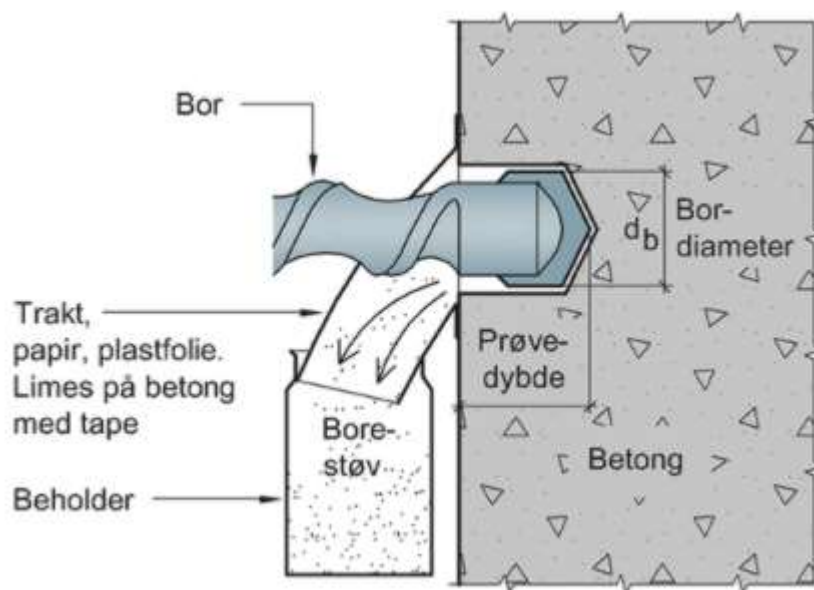
Tabell 2 under viser korrosjonsrisiko av armeringsstålet ved gitt kloridinnhold i % av sementvekten.

Tabell 2. Grenseverdier for korrosjonsrisiko iht. Byggforsklad 520.061.

Kloridinnhold (% av sementvekt)	Korrosjonsrisiko
< 0,4	Svært liten
0,4 - 1,0	Liten
1,0 - 2,0	Stor
> 2,0	Svært stor

Det er blitt tatt støvprøver ved 12 lokasjoner på de utvendige søylene og 11 lokasjoner innvendig ved hjelp av slagbormaskin av typen Hilti. For å kvalitetssikre resultatet er det tatt to prøver ved hver lokasjon med maks 10 cm avstand fra hverandre. Diameter på boret som ble brukt var 16 mm.

Prøveuttaket er gjort iht. Byggforsklad «520.034 Kloridinnhold i betong. Prøveuttak og analysemetoder». Figur 31 illustrerer framgangsmåten.



Figur 31. Kloridprøveuttak med slagbor. (Sintef, 2015)

Det er først boret inn 20 mm hvor støvet blir samlet opp i en zip-it bag. Posen lukkes, brettes, tapes og merkes med eksempelvis «P1-1 0 – 20 mm» Som forteller at det er lokasjon 1, prøvehull 1 med dybde 0 – 20 mm. Hullet blåses så rent med trykkluft og boret børstes med stålbørste for å unngå kontaminering av neste støvprøve som tas i området 20 – 40 mm etc.

5.4.1 Utvendige kloridprøver

Bildene under viser lokasjonene hvor det er gjennomført prøveuttak av klorider på de utvendige søylene av betongkonstruksjonen. Lokasjon P1-P5 er tatt i østfasade, P6-P7 i nordfasade, P8-P9 i vestfasade og P10-P12 i sørfasade.



Figur 32. Prøvehull P1-P5 østfasade.



Figur 33. Prøvehull P6-P7 nordfasade.



Figur 34. Prøvehull P8-P9 vestfasade.



Figur 35. Prøvehull P10-P12 sørfasade.

Tabell 3 under viser resultatene fra kloridprøveuttakene av fasadesøylene.

Tabell 3. Kloridinnhold som prosent av sementvekt for prøvene i utvendige søyler.

Borehull	0 - 20 mm	20 - 40 mm	40 - 60 mm
P1-1	< 0,1	0,5	0,4
P1-2	0,1	0,5	0,5
P2-1	0,2	0,3	0,2
P2-2	< 0,1	0,2	< 0,1
P3-1	0,2	0,4	1,2
P3-2	0,1	0,4	1,1
P4-1	0,2	< 0,1	< 0,1
P4-2	0,3	< 0,1	< 0,1
P5-1	< 0,1	0,5	0,9
P5-2	0,1	1,0	0,8
P6-1	0,4	< 0,1	< 0,1
P6-2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P7-1	0,1	< 0,1	0,1
P7-2	0,1	< 0,1	< 0,1
P8-1	0,2	0,8	< 0,1
P8-2	0,1	0,2	0,1
P9-1	< 0,1	0,2	0,1
P9-2	0,2	0,2	0,1
P10-1	< 0,1	0,2	Lost in action
P10-2	< 0,1	0,1	0,2
P11-1	0,5	0,7	0,8
P11-2	0,3	0,8	0,9
P12-1	< 0,1	0,5	0,6
P12-2	< 0,1	0,3	0,5

Typisk kloridprofil for konstruksjoner utsatt for utvendige kloridangrep ville vært høy konsentrasjon ytterst i betongen og synkende innover. Det er vurdert at avstanden til sjøen er for stor for at dette er aktuelt her.

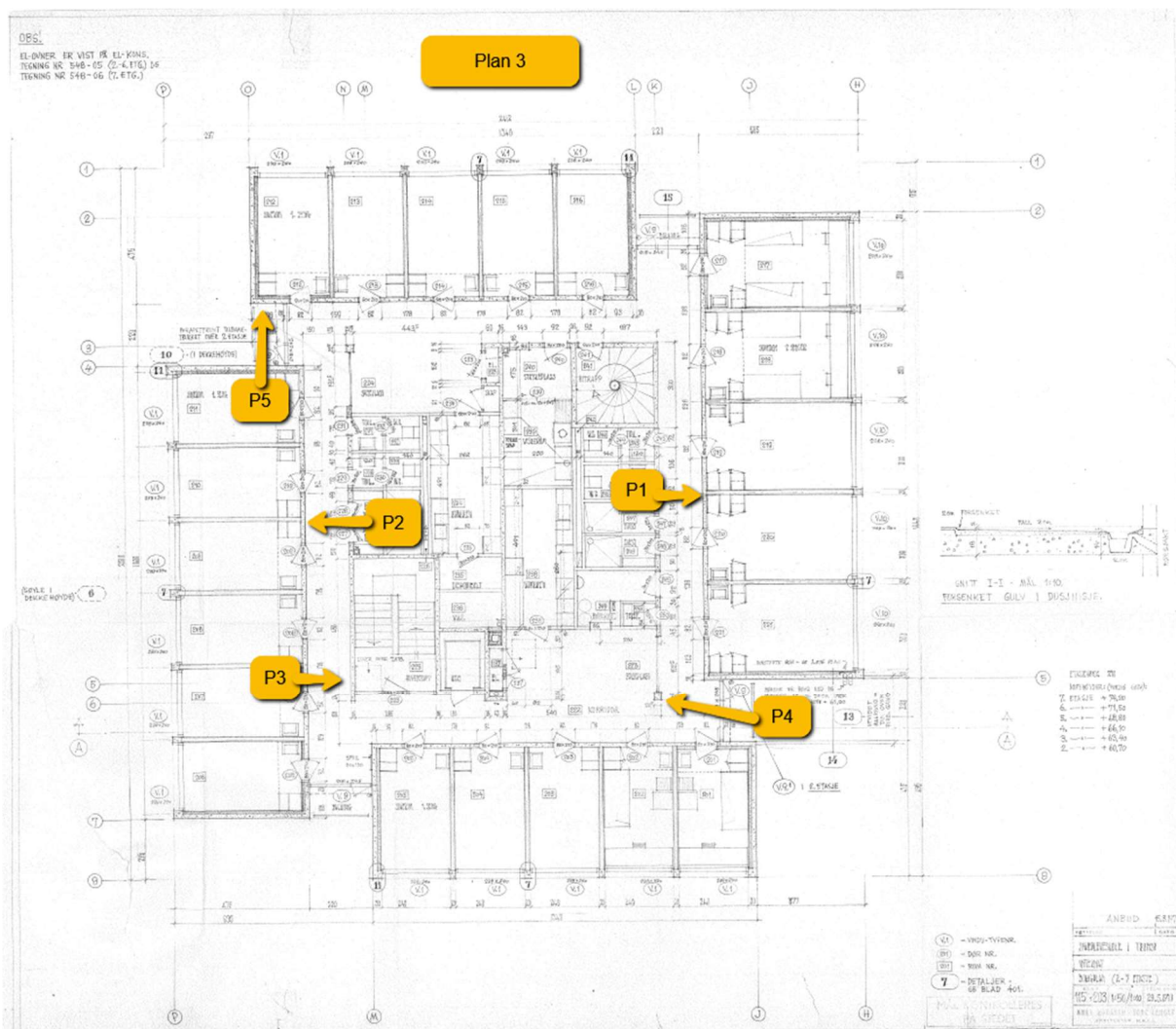
Basert på disse resultatene vurderes det til at enkelte støpetapper er av dårlig kvalitet med tanke på innstøpte klorider. Ved innstøpte klorider er det normalt å se ganske lik konsentrasjon i hele tverrsnittet. Ved noen punkter er det lite klorider ytterst og økende innover. Dette kan forklares med at det allerede er konstantert opptil 30 mm karbonatisering av betongen. Karbonatiseringen vil danne en slags front som flytter kloridene fra karbonatisert betong til ukarbonatisert betong og det blir derfor høyere konsentrasjon av

klorider innerst i betongen. Derfor er det flere steder vurdert til både liten og stor sjanse for korrosjon framkalt av klorider.

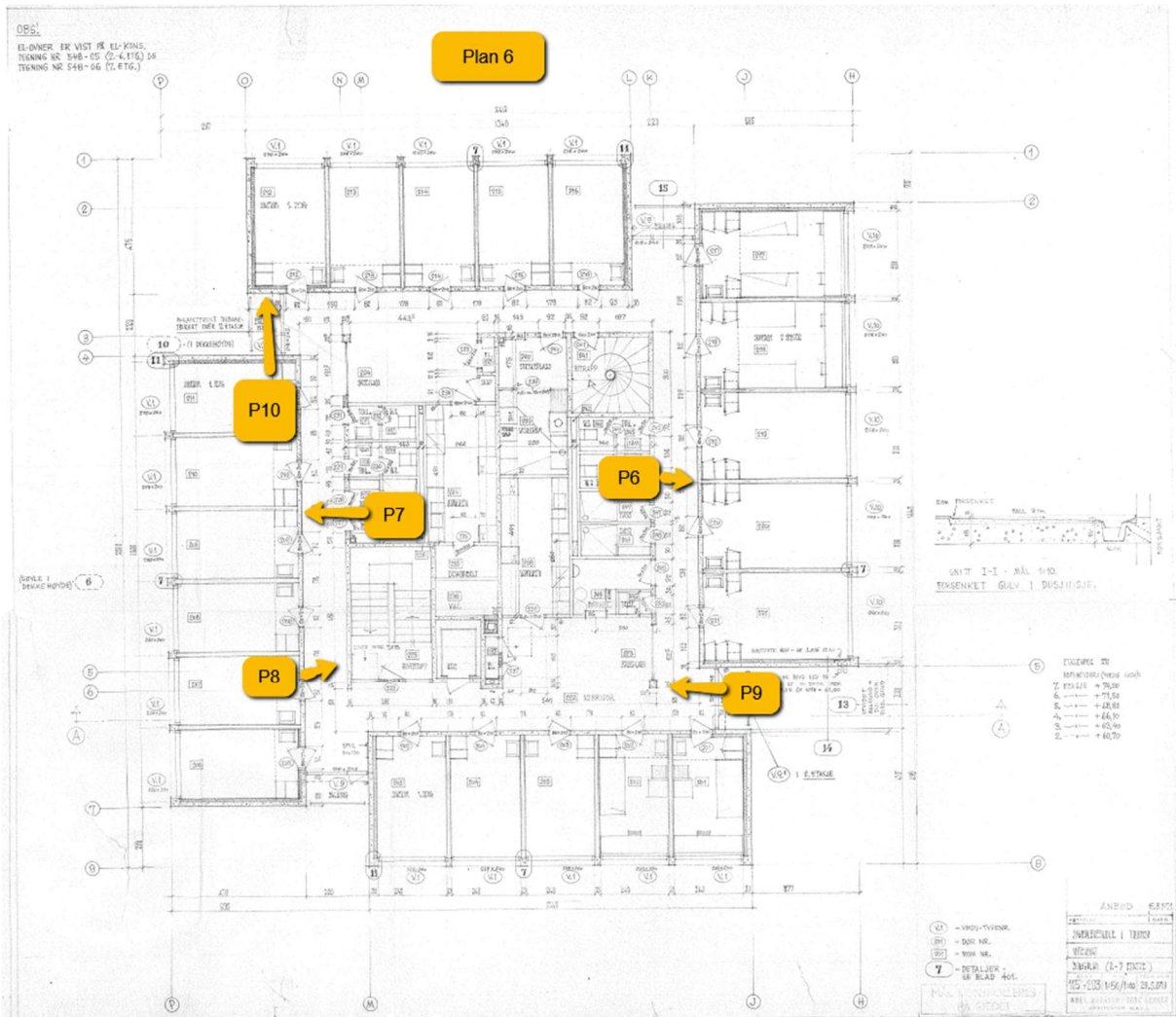
Det må også tas hensyn til at grenseverdiene for korrosjonsfare oppgitt i tabell 2 er basert på statistiske data. I karbonatisert betong som er tilfellet på de utvendige søylene er det normalt at grenseverdiene for korrosjonsfare er noe lavere som kan bety at det er større fare for korrosjon enn antydnet i tabell 3.

5.4.2 Innvendige kloridprøver

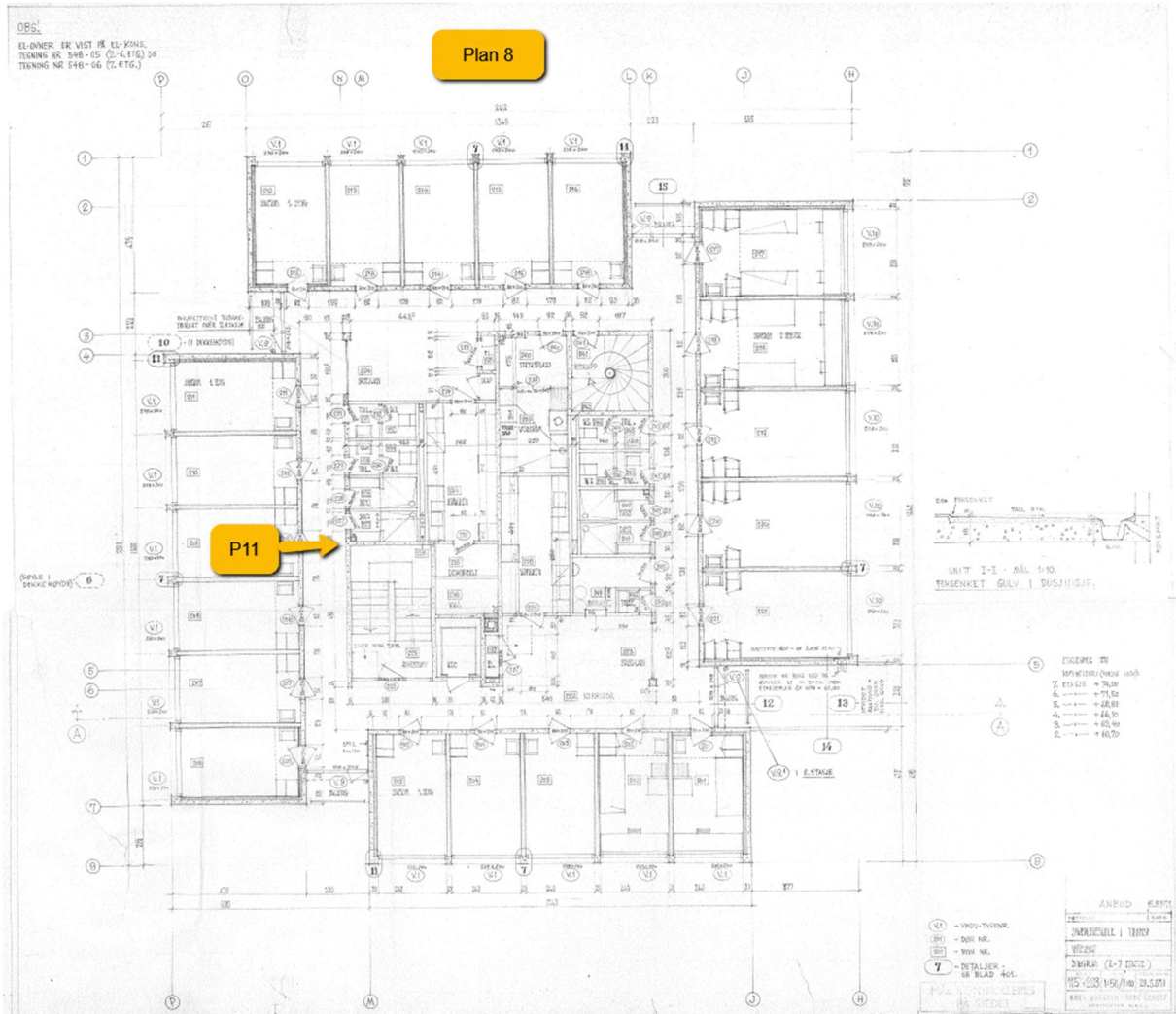
Bildene under viser plantegninger av henholdsvis plan 3, 6 og 8 hvor det er gjort prøveuttak av klorider inne i høyblokken. Prøvepunkt 5, 10 og 11 er tatt fra balkong/ tak på utvendig vegg.



Figur 36. Prøvehull P1-P5 innervegger plan 3.



Figur 37. Prøvehull P6-P10 innervegger plan 6.



Figur 38. Prøvehull P11 utvendig vegg plan 8.

Tabell 4 under viser resultatene fra kloridprøvene av innerveggene.

Tabell 4. Kloridinnhold som prosent av sementvekt for de innvendige prøvene.

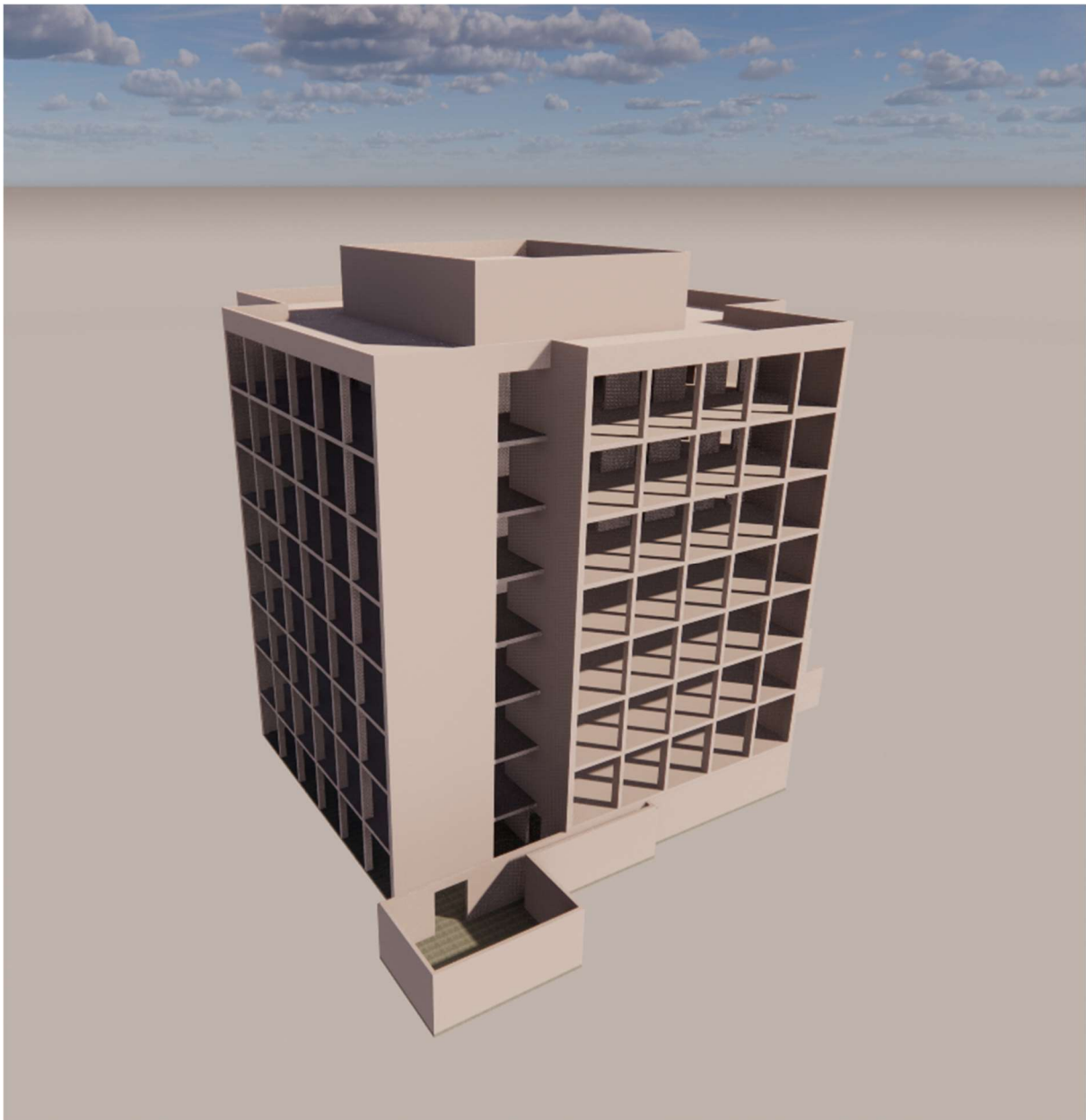
Borehull	0 - 20 mm	20 - 40 mm	40 - 60 mm
P1-1	0,6	0,4	0,4
P1-2	0,5	0,5	0,2
P2-1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P2-2	< 0,1	< 0,1	0,5
P3-1	0,4	0,3	0,3
P3-2	0,4	0,3	0,4
P4-1	0,7	0,6	0,6
P4-2	1	0,7	0,6
P5-1	0,2	0,4	1
P5-2	0,2	0,3	0,7
P6-1	0,4	0,4	0,3
P6-2	0,4	0,4	0,4
P7-1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P7-2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P8-1	0,5	0,4	0,5
P8-2	0,3	0,4	0,4
P9-1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P9-2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P10-1	0,2	0,5	0,7
P10-2	0,2	0,4	0,6
P11-1	0,2	< 0,1	< 0,1
P11-2	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Inne er det ikke noen tegn til karbonisert betong og får dermed en kloridprofil som er lik innover i tverrsnittet. Unntaket er P5 og P10 som er tatt av utvendig vegg fra balkongene som har påvist karbonatisering. Det ble kun utført tester i plan 3 og 6 inne siden det var tydelig fra utsiden at det var der betongen var mest preget av skader.

Testene bekrefter mistanken om at enkelte støpetapper har hatt for høyt innhold av innstøpte klorider og har derfor hatt liten til stor sjanse for kloridinitiert armeringskorrosjon over lang tid.

5.5 Kontroll av bæreevne

I forbindelse med renovering av høyblokken skal bygget kles inn med ny utenpåliggende fasade som skjuler dagens betongkonstruksjoner som vil ha høyere egenvekt en dagens fasade. I forbindelse med beregning av kapasitet ble bygget modellert i Revit for å vise oppbyggingen av betongkonstruksjonen. Denne modellen skulle videre importeres over i ett FEM-analyse program for nøyaktige beregninger av laster. Det ble valgt å gå bort fra dette da dette gir en mye høyere presisjon på beregningene enn hva som var vanlig i 1970. Det er derfor valgt å beregne kapasitet på søyler for hånd.



Figur 39. Modell av betongkonstruksjon. Modellert av Eirik Erdal i Revit på grunnlag av plantegninger fra 1971.



Figur 40. Planlagt ny fasade på høyblokken. Foto: Arkitektkontoret Amundsen (Nordlys, 2021)

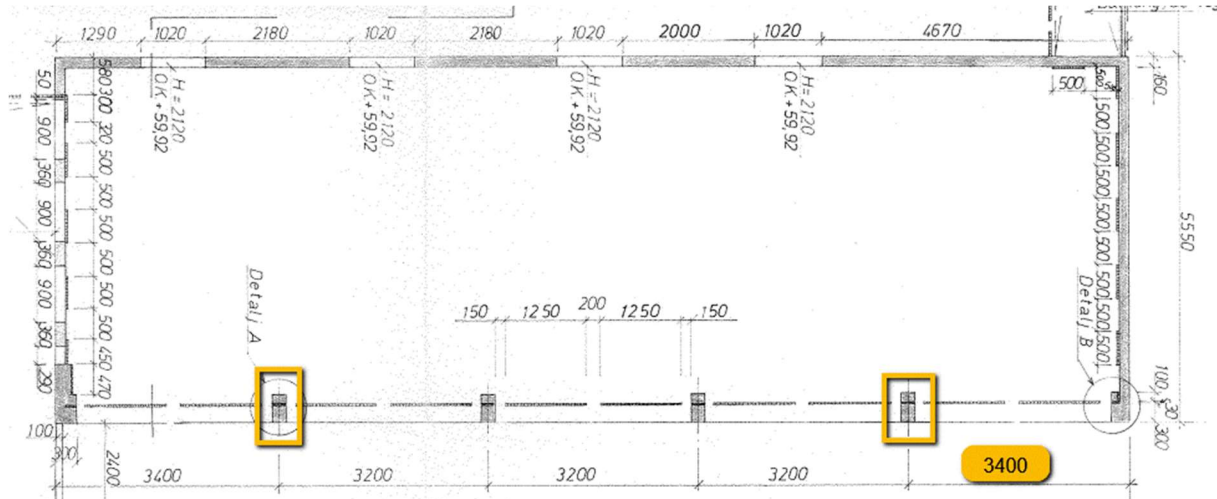
For å beregne restkapasitet i søylene er det gått ut ifra hva det var prosjektert til å tåle i 1971.

Iht. tegninger fra Ingeniørene Bonde & CO fra 1971 (vedlegg 1) er det opplyst om:

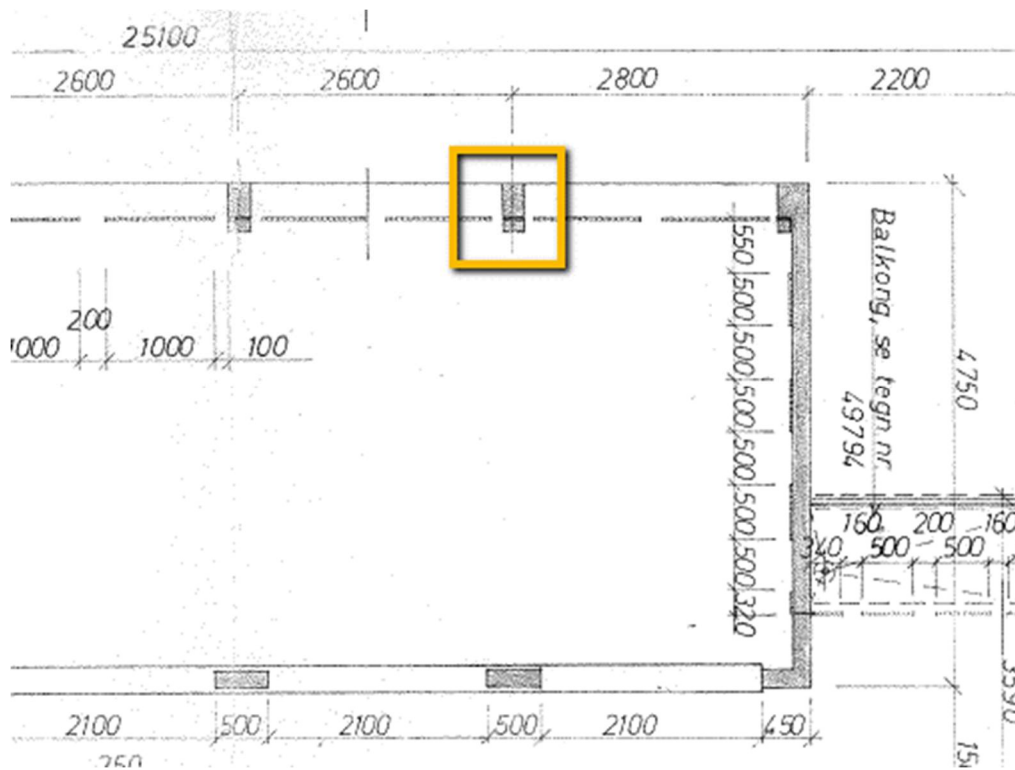
- Betongkvalitet B300 (tilsvarende B25 etter dagens betegnelse)
- Armeringskvalitet Ks40
- Nyttelast 150 kg/m^2 på dekker
- Snølast 200 kg/m^2 på tak

5.5.1 Lastberegning

Egenlasten av ny fasade vil i hovedsak tas opp av fasedesøylene. Bygget er symmetrisk utformet hvor lastearealet er bortimot lik på hver søyle i sør-, vest- og nordfasaden. Søylene i østfasaden skiller seg ut med at de har større spennvidder i begge lengderetninger enn på de andre fasadene.



Figur 41. Utdrag av endesøyer i østfasaden som er mest påkjent.



Figur 42. Utdrag av endesøyle i sør-, vest- og nordfasade som er mest påkjent.

5.5.1.1 Østfasade

I østfasaden er det valgt å beregne lasten på endesøyleraden merket i figur 41 da denne rekken har størst lastareal. Lastarealet for disse søylene blir da beregnet til å være:

$$\left(\frac{3,4 - 0,15}{2} + \frac{3,2}{2}\right) * \frac{5,55}{2} = 9 \text{ m}^2$$

For ytterligere lastberegninger se vedlegg 5.

Beregnet søylelast på endesøyle ved overkant dekke i østfasaden er vist under i tabell 5.

Tabell 5. Beregnet søylelast på endesøyler i østfasaden (ikke reduserte nyttelaster iht. lastreduksjonsfaktor).

Spesifikasjon	Sum bruks-last kN	Bruddlast kN	Sum søylelast inkl. egenvekt søyle [kN]
Søyle plan 7	81,3	103,0	102,8
Søyle plan 6	70,8	89,0	191,7
Søyle plan 5	70,8	89,0	280,7
Søyle plan 4	70,8	89,0	369,7
Søyle plan 3	70,8	89,0	458,6
Søyle plan 2	70,8	89,0	547,6
Søyle plan 1	70,8	89,0	636,5

Det er beregnet søylelast ved bruk av etasjereduksjonsfaktor i vedlegg 5. Det er valgt å neglisjere dette da det er vanlig å regne med en nyttelast på 200 kg/ m² etter dagens standard. Det kan også nevnes at ved bruk av nyttelast på 200 kg/ m² og etasjereduksjonsfaktor gir det nesten eksakt samme søylelaster som i tabell 5 over og det kan derfor sies at beregningene er til konservativ side.

5.5.1.2 Vestfasade

Det er valgt å se på vestfasaden som er identisk med nord og sør, men denne har utvendige søyler i underetasjen som delvis også gjelder nordsiden. Her er det valgt å se på endesøyle raden som er merket på figur 42. Lastarealet her er beregnet til å være:

$$\left(\frac{2,8 - 0,15}{2} + \frac{2,6}{2}\right) * \frac{4,75}{2} = 6,2 \text{ m}^2$$

Beregnet søylelast på endesøyle ved overkant dekke i vestfasaden er vist under i tabell 6.

Tabell 6. Beregnet søylelast på endesøyler i vestfasaden (ikke reduserte nyttelaster iht. lastreduksjonsfaktor).

Spesifikasjon	Sum bruks-last kN	Bruddlast kN	Sum søylelast inkl. egenvekt søyle [kN]
Søyle plan 7	59,92	75,62	75,6
Søyle plan 6	50,38	63,25	138,9
Søyle plan 5	50,38	63,25	202,1
Søyle plan 4	50,38	63,25	265,4
Søyle plan 3	50,38	63,25	328,6
Søyle plan 2	50,38	63,25	391,9
Søyle plan 1	50,38	63,25	455,1
Søyle plan U	50,38	63,25	518,3

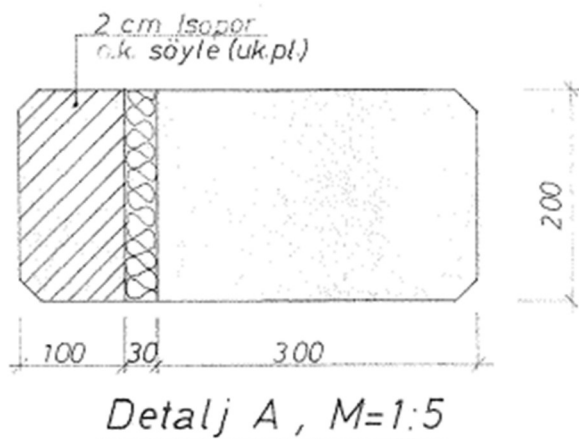
5.5.2 Materiale søyler

I forbindelse med manglende underlag for å beregne kapasiteten av søylene er det foretatt befarings sammen med Norconsult for å kartlegge armeringsmengde i søylene. Det er i den forbindelse brukt instrument for å måle antall armeringsjern samt meislet seg inn for å måle tverrsnittet av armeringsjernene. Resultatene vises under i tabell 7. Bilder av målingene er dokumentert i vedlegg 2.

Tabell 7. Målte søyletverrsnitt med armering.

Spesifikasjon	Armering	Betongkvalitet	Tverrsnitt
Søyle plan 7	4Ø16	B25	200x300
Søyle plan 6	4Ø16	B25	200x300
Søyle plan 5	4Ø16	B25	200x300
Søyle plan 4	4Ø16	B25	200x300
Søyle plan 3	4Ø20	B25	200x300
Søyle plan 2	4Ø20	B25	200x300
Søyle plan 1	2Ø16+4Ø20	B25	200x130+200x300
Søyle plan U	4Ø20	B25	200x300

I plan 1 er søylene forsterket med en søyle på innsiden. Denne er valgt å neglisjere i beregninger siden det er isolasjon mellom denne og hovedsøylen samt isolasjon i toppen under dekket som kan gjøre det vanskelig å anslå den bærende effekten.



Figur 43. Detalj av søyler i plan 1.

5.5.3 Utnyttelse av søyler

Det er beregnet kapasitetsutnyttelse av endesøyleraden i østfasaden og vestfasaden. Velger å legge hovedvekt på søylene i østfasaden siden disse er de med størst lastareal. Søylene er lagt inn i ett søylevernsnitt program (ISY Design) med følgende parametere:

- Betongkvalitet B25 (tilsvarende B300)
- Materialfaktor betong: $\gamma_c = 1,5$
- Armeringskvalitet Ks40
- Materialfaktor armering: $\gamma_s = 1,15$
- Betongvernsnitt 200 mm x 300 mm
- Overdekning for lengdearmering er satt til 25 mm
- Overdekning for skjærarmering er satt til 15 mm
- Lastfaktor egenlast: $\gamma_g = 1,2$
- Lastfaktor nyttelest $\gamma_n = 1,5$
- Knekk lengde er satt til 2,4 m tilsvarende høyden om begge akser
- Moment om sterk akse er satt til 5 % av søylelast
- Moment om svak akse er satt til 2 % av søylelast

5.5.3.1 Østfasade

Tabell 8. Utnyttelse av endesøyler i østfasaden.

	Armering	Betongkvalitet	Tverrsnitt	Ned [kN]	My sterk akse (5%) [kNm]	Mz svak akse (2%) [kNm]	Utnyttelse
Plan 7	4Ø16	B25	200 x 300	103,9	5,2	2,1	0,21
Plan 6	4Ø16	B25	200 x 300	191,9	9,6	3,8	0,39
Plan 5	4Ø16	B25	200 x 300	280,9	14,0	5,6	0,57
Plan 4	4Ø16	B25	200 x 300	369,8	18,5	7,4	0,75
Plan 3	4Ø20	B25	200 x 300	458,8	22,9	9,2	0,79
Plan 2	4Ø20	B25	200 x 300	547,8	27,4	11,0	0,94
Plan 1	4Ø20	B25	200 x 300	636,7	31,8	12,7	1,10

I plan 7, 6, og 5 er utnyttelsen markert som grønn fordi det er antatt at skadene i disse etasjene ikke er stor nok til at det skal utgjøre noen fare for bæreevnen med tanke på utnyttelsen som er beregnet. Utnyttelsen i plan 4, 3 og 2 er markert som gult. Dette fordi disse tallene bare vil gjelde for helt friske søyler. Her er det til dels ganske omfattende skader som resulterer i en betydelig reduksjon av kapasitet noen steder.

I plan 1 er kapasiteten oversteget, men det er ikke medberegnet at det er en ekstra innvendig søyle på 200 x 130 mm som tar noe av lasten som nevnt i kapittel 5.5.2, men vanskelig å anslå hvor mye. Sammendrag av beregningene kan ses i vedlegg 6.

5.5.3.2 Vestfasade

Tabell 9. Utnyttelse av endesøyler i vestfasaden (nord og sør).

	Arme- ring	Betong- kvalitet	Tverr- snitt	Ned [kN]	My sterk akse (5%) [kNm]	Mz svak akse (2%) [kNm]	Utnytte lse
Plan 7	4Ø16	B25	200 x 300	75,6	3,8	1,5	0,15
Plan 6	4Ø16	B25	200 x 300	138,9	6,9	2,8	0,28
Plan 5	4Ø16	B25	200 x 300	202,1	10,1	4,0	0,41
Plan 4	4Ø16	B25	200 x 300	265,4	13,3	5,3	0,54
Plan 3	4Ø20	B25	200 x 300	328,6	16,4	6,6	0,57
Plan 2	4Ø20	B25	200 x 300	391,9	19,6	7,8	0,67
Plan 1	4Ø20	B25	200 x 300	455,1	22,8	9,1	0,78
Plan U	4Ø20	B25	200 x 300	518,3	25,9	10,4	0,89

Søylene i plan 7, 6 og 5 er markert som grønn på grunn av lav utnyttelse. Det er en del skader i plan 6 som manglende overdekning på skjærarmeringen. Fra avstand ser det ut til å være på grunn av lav overdekning ca. 15 mm som ble observert flere steder. Bæreevnen her vurderes fremdeles som god.

Utnyttelsen i plan 4 og nedover markeres som gult fordi det er økende omfang av skader på søylene herifra og ned i kombinasjon med høyere utnyttelse.

6 Løsninger og vurderinger av tiltak

Det anbefales at det iverksettes tiltak for å redusere videre nedbrytning av betongen og korrosjon av armeringen. Tiltak bør iverksettes snarest da kostnader tilknyttet utbedringstiltak vil øke sammen med skadeomfanget.

6.1 Mekanisk reparasjon

Løs og skadet betong bør fjernes der det er synlige tegn til skader og fjerne korrosjon på armeringen for å støpe på nytt. For å oppnå ett godt sluttresultat er det viktig at det velges produkter som er tilpasset hverandre, eksisterende betong og miljøet rundt betongkonstruksjonen. Det er viktig at leverandøren av reparasjonsproduktene sine anvisninger følges med hensyn til utstøping, herdetiltak, herdetemperaturer osv. Det anbefales at slike arbeider utføres ved temperaturer høyere enn + 5 °C.

Som en forbehandling kan det være behov for å rengjøre overflaten eller fjerne eksisterende overflatebehandling. Før det går i gang med utbedring av skader bør all betongoverflate undersøkes og merkes der hvor det er behov for å fjerne skadet betong. Da blir skadeomfanget bestemt før reparasjonsarbeidet går i gang.

Med løs og dårlig betong menes betong med lav fasthet, riss, sprekker, avskallinger eller tegn til avskallinger, frilagt armering, rustflekker, bomskader og porøs betong. Dette kan fjernes ved håndmeisling, vannmeisling eller fresing.

Det er viktig at gjenværende betong ikke skades unødig. Om det er behov for å fjerne mye betong må bæreevnen kontrolleres slik at det kan vurderes stimpling eller understøttelse av betongen.

Der hvor riss skyldes armeringskorrosjon må rissene hugges opp for å frilegge den korroderte armeringen. Der hvor mer enn 30 % av armeringens tverrsnitt er frilagt må hele tverrsnittet frilegges 50 mm inn på ikke-korrodert armering. Denne frileggingen må være tilstrekkelig for å sikre god omstøping av armeringen, dvs at det bør være minst 20 mm med plass bak armeringen også. Kantene på betongen bør være ru og ikke glatte for å sikre god heft mellom gammel betong og ny mørtel (Sintef, 1997).

6.1.1 Rengjøring av armeringen

Den korroderte armeringen kan rengjøres ved sandblåsing til stålet blir metallisk blankt. Etterpå bør betongen rengjøres for løse partikler ved støvsuging eller trykkluft.

Om rengjøringen av armeringstverrsnittet på konstruktiv armering blir redusert bør kapasiteten kontrolleres av byggeteknisk rådgiver. Det kan da være behov for å forsterke armeringen ved å eksempelvis sveise på nye armeringsjern eller montere inn nye armeringsjern.

Etter rengjøring bør armeringen påføres korrosjonsbeskyttelse. Denne skal dekke armeringen godt på framside og bakside. Dette bør påføres samme dag som rengjøringen finner sted (Sintef, 1997).

6.1.2 Mørtling og utstøping

Valg av metode for utstøping vil avhenge av omfanget av skader. Ved mindre mengder kan det foretas utfylling med reparasjonsmørtel. Da legges reparasjonsmørtelen vått i vått med en heftbro. Den må pakkes og formes slik at det oppnås full omstøping rundt armeringen slik at hele såret fylles med mørtel. Ved større skader kan det være behov å forskale for å så støpe ut med ny betong.

Det kan også brukes sprøytemørtel ved store reparasjoner. Denne metoden krever spesialkompetanse hos den utførende.

Reparasjonsmørtelen som blir brukt må ha tilnærmet samme egenskaper som den eksisterende betongen. Ved dårlig betongkvalitet kan egenskapene til reparasjonsmørtelen vurderes spesielt.

Etter utstøping må reparerte flater beskyttes mot uttørking ved ettervanning av ferskvann, tildekking med plastfolie eller med en membranherder. De reparerte flatene må beskyttes mot frysing og mekanisk belastning fram til det er oppnådd tilstrekkelig fasthet i betongen (Sintef, 1997).

6.2 Katodisk beskyttelse

Det anbefales katodisk beskyttelse der hvor armeringen ligger i karbonatisert betong samt der hvor kloridinnholdet er over faregrensen for korrosjon. Dette vil endre stålets potensial til ett nivå hvor det ikke kan fortsette å korrodere. Denne metoden er avhengig av armeringskontinuitet som må kontrolleres. Her kan det benyttes forskjellige anodesystemer.

Det kan være gunstigst å gå for elektrisk ledende dekkjikt som er en maling som er strømførende som males utenpå betongsøylene. Da tverrsnittet på søylene ikke er så stort og tre av fire sider på søylene er lett tilgjengelig kan det være tilstrekkelig med strømlerende maling på de tre synlige flatene. Det vil da ikke være behov for å rive innvendige skillevegger for å komme til baksiden av søylene. Dette må i så fall vurderes av noen med kompetanse på området.

Utfordringene med denne metoden kan være omfanget av undersøkelser som må gjøres av armeringen i søylene for å sikre kontinuitet. Strømanlegg må monteres og overvåkes over tid. Andre problemstillinger som må tas hensyn til er innfestning av ny fasade i søylene som kan kortslutte strømføringer om noe kommer i kontakt med armeringsjernene. Dette stiller derfor høye krav til forarbeid og presisjon under montering av ny fasade.

6.3 Ny fasade

I forbindelse med den nye fasaden som blir å skjule dagens betongkonstruksjon både på innside og utside anbefales det at det legges inn inspeksjonsluker til søylene utvalgte steder slik at det blir mulig å overvåke tilstanden til betongen i fremtiden.

Ved rehabilitering av skadede søyler slik at tverrsnittet gjenopprettes kan det antas at kapasiteten er nær opprinnelig kapasitet og det ikke vil være behov for forsterkning i følge med ny fasade.

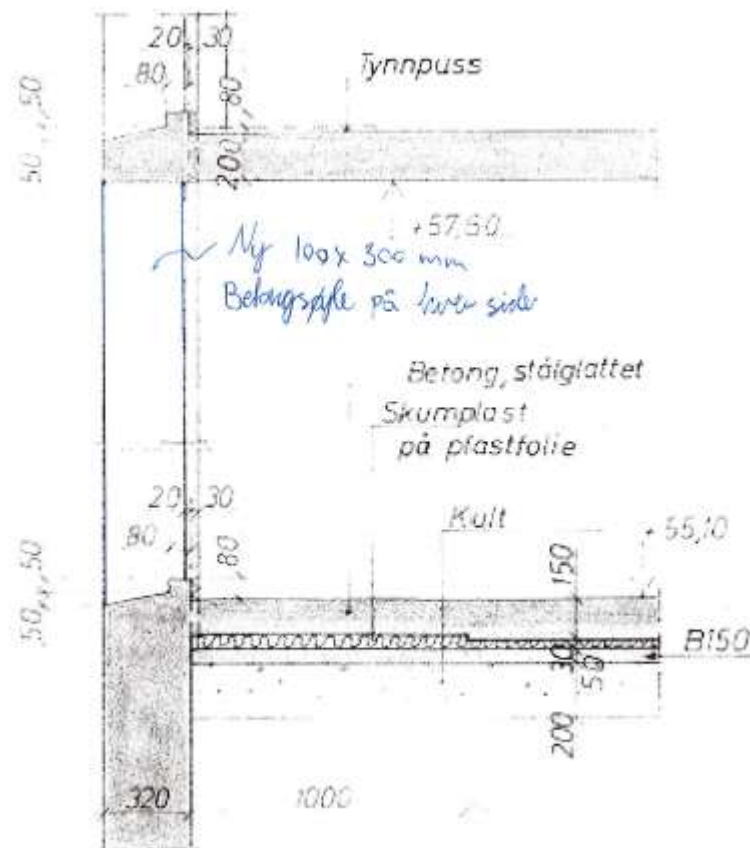
Det er fremdeles noe usikkerhet om kapasitet er redusert som følger av karbonatisering, redusert armeringstverrsnitt pga. høyt kloridinnhold eller oppsprekking som ikke lar seg inspisere i alle søylene. Det burde derfor vurderes å forsterke søylene i plan U, 1, 2, 3 og 4 for å ikke ligge så nært 1,00 i utnyttelse med disse usikkerhetene.

6.4 Forsterkning av fasadesøylar

Med usikkerhetene som er nevnt ifølge med skadene i kapittel 6.3 bør det vurderes å forsterke søylene.

6.4.1.1 Alternativ 1 – Støpe nye betongsøylar

Eksisterende søylar kan påstøpes med en 100 x 300 mm betongsøyle på hver side av svakaksen som støpes fast i bolter som går igjennom hovedsøylen for å binde de sammen. Dette vil gi økt kapasitet for knekking om svak akse. Ulempen med en slik løsning er at de nye påstøpte betongsøylene ikke vil være virksom før det legges på nytte- eller snølastar. De vil derfor ikke være behjelpelig med å ta opp noe av den allerede store egenlasten som er den dominerende lasten i bygget. Brantteknisk vil det være en god løsning.

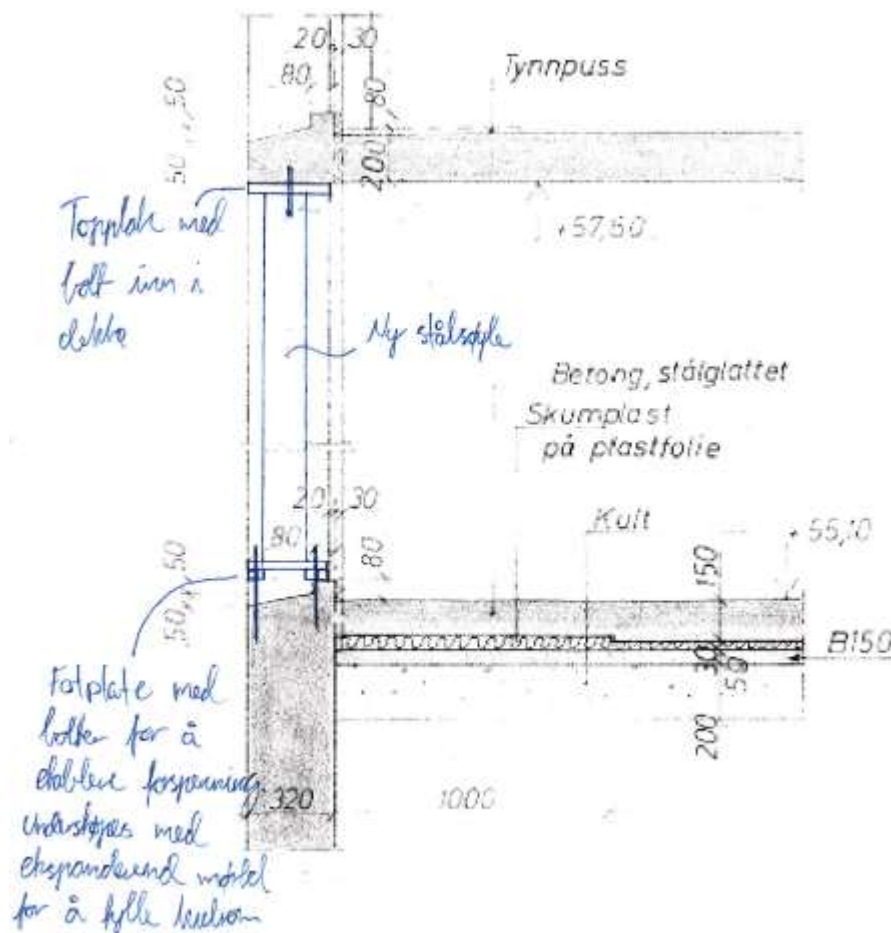


Figur 44. Forslag til ny betongsøyle på hver side av eksisterende søyle.

6.4.1.2 Alternativ 2 – Stålförsterkning

De eksisterende søylene kan forsterkes med å bolte på stålsøyler på hver side av betongsøylene. Dette vil som alternativet over også øke kapasiteten om svak akse. Fordelen med stålförsterkning er at disse kan forspennes ved montering slik at de kan ta noe av egenlasten i bygget umiddelbart. Noe av lasten fra betongsøylene vil da flyttes over til stålsøylene slik at utnyttelsen til betongsøylene vil synke noe.

Her vil det være flere alternativer til valg av stålsøyler. Det kan benyttes USP, UNP eller HUP søyler. Valget bør baseres på hva som enklest lar seg montere. Disse bør da også brannisoleres for å bevare bæreevnen ved brann.



Figur 45. Forslag til ny stålsøyle på hver side av betongsøyle som kan forspennes.

6.4.1.3 Alternativ 3

Ved å velge alternativ 2 kan disse dimensjoneres for å ta over lasten til de skadede betongsøylene. Med det menes at det kan unngås en kostbar og omfattende prosess med renovering av betongsøylene og kartlegging av armeringsføringen før en eventuell katodisk beskyttelse skal monteres.

Løs og dårlig betong fjernes da fra søylene i plan 4 og nedover og nye søyler etableres som permanent understøttelse. Disse vil etter hvert ta over som bærende element som følger av at kapasiteten til hovedsøylen synker i fremtiden. Mens i plan 5 og oppover hvor utnyttelsen er lav og skadene er meget begrenset kan det gjøres en fullverdig betongrehabilitering av søylene uten behov for forsterkninger.

7 Konklusjon

I kapittel 5 og 6 er de forskjellige skadeårsakene fastsatt, og tiltak for utbedringer er vurdert isolert sett til disse skadene. Ved renovering av betong med flere ulike skader må utbedringer vurderes på nytt i det store bildet. I lys av hva som har kommet fram i denne casen vurderes det å anbefale følgende løsning:

- Det monteres permanent understøttelse ved alle betongsøyler i form av stålsøyler som ligger i plan 0 opp til plan 4 som er dimensjonert for å ta den totale lasten på søylene. Disse forspennes slik at de kan ta over litt av lasten allerede nå. Det legges conlitt på for å sikre en brannmotstand tilsvarende R90.
- Det gjøres en begrenset mekanisk reparasjon av søylene som forsterkes med at all løs og dårlig betong fjernes. Noe ytterligere er det ikke behov for da stålsøylene etter hvert kan ta over som bærende element.
- Fra etasje 4 og oppover til plan 7 gjøres en fullverdig mekanisk reparasjon med overflatebehandling før bygget til slutt kles inn med ny kledning.

Ved å gjennomføre disse tiltakene vil levetiden for bygget forlenges betydelig. Tilstanden på betongen bør fremdeles overvåkes med noen års mellomrom for å sikre at det ikke utgjør noen fare for bæreevnen.

8 Oppsummering

Hensikten med arbeidet i denne oppgaven har vært å beskrive typiske skadeårsaker som forekommer i eldre betongbygg som skal brukes i en case. I denne casen har det vært gjennomført befaringer og prøvetakinger som skal tilfredsstillende nivå 2 i en tilstandsanalyse av betongen. Dette er gjort med bakgrunn i at Norges arktiske studentsamskipnad som eier og drifter mange store leilighetsbygg i nord ønsker å oppgradere byggene. Ved oppgraderinger har de fokus på å redusere energiforbruk samtidig som rehabiliteringen er bærekraftig.

Oppgaven startet med en innledning om hvor omfattende bruken av betong er og de utfordringene som følger med renovering av betongblokker. Deretter er det en gjennomgang av hvilke skademekanismer som er vanlig å finne i eldre betongblokker i Norge og hvordan skille disse. For å forlenge levetiden på betongen er det nødvendig å iverksette de rette tiltakene for å stoppe nedbrytningen av betongen før den lappes sammen slik at det ikke skjer på nytt. Etter dette ble det knyttet opp til en case som var studentsamskipnaden sin boligblokk i Åsgårdvegen, Tromsø. Her ble tilstanden til betongen vurdert ved hjelp av tester og analyser for å finne skadeårsak slik at rette tiltak for utbedring skulle kunne anbefales.

Ut ifra teorien ser vi at kunnskapen om senskader i betong har kommet veldig langt de siste 30 år mens veldig mye av bygningsmassen er eldre enn dette. Det betyr at veldig mye av dagens betongkonstruksjoner som er bygget etter krigen i Norge har veldig mye skader som kunne vært unngått med dagens kunnskaper. Disse skadene sammen med nye strenge krav i plan og bygningsloven gjør det vanskelig å renovere disse. Dette betyr at byggene må analyseres grundig mot eventuelle skader og kilden til disse slik at rette tekniske tiltak kan iverksettes. Ved å gjøre grundige tester og analyser vil det fortelle mye om bygningsmassens tilstand og hvor det må utføres tiltak for å kunne forlenge levetiden til bygget.

Etter å ha befart blokken i Åsgårdvegen var det tydelig at det var veldig mye store skader på betongen som har vært utsatt for vær og vind. Utførelse av tester og analyser av betongen visste at armeringen var utsatt for både karbonatisering og kloridangrep som vil føre til oppsprekking og avskallinger av betongen over tid. Det ble da utført tester i skadede soner og friske soner for å kartlegge om hele blokken er utsatt for kloridangrep eller bare enkelte deler. Dette ga grunnlag for å anslå skadeårsak og da videre foreslå de rette metodene for å rette opp i disse skadene.

I slike renoveringsprosjekt med store betongskader er det nødvendig med god planlegging og samarbeid mellom byggetekniske rådgivere og entreprenør. Dette er fordi feil valg av utbedringstiltak ikke vil stoppe skadeforløpet og det tar da ikke lang tid før skadene kommer tilbake. I dette tilfellet hvor utvendig betong skal bygges inn i en ny fasade er det desto viktigere å få stoppet skademekanismene som er i gang da disse lett kan overses når de ikke er synlig til daglig.

Forslag til videre arbeid

Når studentsamskipnaden går i gang med å opprette ny fasade vil det få gode gevinster, ikke bare rent estetisk sett. Levetiden til konstruksjonen forlenges betraktelig og CO2 avtrykket som følger av at de slipper å rive for å bygge opp igjen holdes lavt. Bygget vil bli tettere som gir bedre varmekomfort, fuktsikkerhet, støydemping og energisparing. Alt dette vil sammen gjøre det til en god og bærekraftig løsning for samfunnet.

Dette vil igjen stille høyere krav til ventilasjonen i blokken siden gamle bygg har høye luftskifter i form av eksfiltrasjon og infiltrasjon av luft gjennom lekkasjer og dårlige utført tettesjikt i kledningen. Det bør derfor vurderes oppgradering av ventilasjonen i bygningen for å sikre god lufttilførsel i bygget og ett godt inneklima for beboerne.

9 Referanser

Johannesen, A., Tufte, P. A., & Christoffersen, L. (2016). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Abstrakt forlag.

Kristiansen, B., Lindland, J., & Østmoen, T. (1998). *Betongrehabilitering - Metoder og utførelse*. BA forlaget.

Lindland, J., & co, S. &. (2004, Januar). *Riksantikvaren*. Hentet fra Veiledning i metoder for utbedring av karbonatisert betong i verneverdige bygninger:
https://ra.brage.unit.no/ra-xmlui/bitstream/handle/11250/176897/karbonatisert_betong_veileder.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Millab Consult AS. (u.d.). *Nedbrytning av betong og betongskader*. Hentet fra http://www.millab-consult.no/artikkel_betongnedbrytning.html.

NORCEM. (u.d.). *God betong er bestandig*. Hentet fra https://www.norcem.no/sites/default/files/assets/document/godbetongerb Bestandig_web.pdf.

Nordlys. (2021, Februar 2). *Tromsø-blokka er kjent for helt andre ting enn fasaden. Nå skal den gjennom en ekstrem forvandling*. Hentet fra <https://www.nordlys.no/tromso-blokka-er-kjent-for-helt-andre-ting-enn-fasaden-na-skal-den-gjennom-en-ekstrem-forvandling/s/5-96-21607>

Norsk standard. (2012). *NS 3424*. Hentet fra <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587800>.

Sintef. (1997). *720.232 Armeringskorrosjon i betongkonstruksjoner. Utbedring av skader*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/661/armeringskorrosjon_i_betongkonstruksjoner_utbedring_av_skader.

- Sintef. (1998). *720.112 Skader på betongkonstruksjoner. Skadesymptomer, tilstandsgrader og utbedringsmåter*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/2572/skader_paa_betongkonstruksjoner_skadesymptomer_tilstandsgrader_og_utbedringsmaater.
- Sintef. (2000). *720.114 Betongkonstruksjoner i driftsbygninger. Skader og utbedring*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/2961/betongkonstruksjoner_i_driftsbygninger_skader_og_utbedring.
- Sintef. (2007). *520.063 Alkalireaksjoner i betong. Skademekanisme og regelverk ved nybygging*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/299/alkalireaksjoner_i_betong_skademekanisme_og_regelverk_ved_nybygging#i0.
- Sintef. (2009). *520.061 Armeringskorrosjon*. Hentet fra <https://www.byggforsk.no/dokument/298/armeringskorrosjon>.
- Sintef. (2015). *520.034 Kloridinnhold i betong. Prøveuttak og analysemetoder*. Hentet fra https://www.byggforsk.no/dokument/292/kloridinnhold_i_betong_proveuttak_og_analysemetoder.
- TU Bygg. (2020, April 2). *Teknisk Ukeblad*. Hentet fra Rehabilitering i stedet for nybygg kan redusere utslipp med 63 prosent: <https://www.tu.no/artikler/rehabilitering-i-stedet-for-nybygg-kan-reducere-utslipp-med-63-prosent/488706>
- UN Global Compact. (2021, April 19). *FN's Bærekraftsmål*. Hentet fra Mål 13: Stoppe klimaendringene: <https://globalcompact.no/barekraftsmal/mal-13-stoppe-klimaendringene/>

Vedlegg

Vedlegg 1: Plantegninger

Vedlegg 2: Bilder fra befaring

Vedlegg 3: Utvendige kloridprøver

Vedlegg 4: Innvendige kloridprøver

Vedlegg 5: Lastberegninger

Vedlegg 6: Kapasitetsutnyttelser