

# ØDEGÅRD OG LUND AS

Konsulenttenester innen betongrehabilitering



## **BJØRNEBÆRSTIEN HUSEIERFORENING STIKKPRØVEBASERT TILSTANDSANALYSE AV GARASJE I ARMERT BETONG**

**OPPDRAKSGIVER: STYRET  
v. ARILD HENRIKSEN**

**SEPTEMBER 2024**

**OPPDRAKSOVERSIKT**

RAPPORTENS TITTEL:	Bjørnebærstien Huseierforening
	Stikkprøvebasert tilstandsanalyse av garasjeanlegg i armert betong
RAPPORT NR.:	Ø.L. 2288
OPPDRAKSGIVER:	Styret ved styreleder Arild Henriksen
SAKSBEHANDLER:	Olav S. Ødegård Pål Ødegård Hanssen
FAGANSVARLIG:	Pål Ødegård Hanssen

**Sammendrag.**

Undersøkelsen av armert betong i garasjen til Bjørnebærstien 1 – 13 har vist følgende tilstand:

- Dekket over tilfluktsrom er asfaltert og har omfattende armeringskorrosjon. Dette skyldes klorider fra veisalt som over lang tid er fraktet inn med biler og har trengt ned til flere lag med armering. Det er spesielt høyt kloridinnhold i kjørebane da alle biler kjører over dekke like innenfor porten.
- Bunn av søyler og skillevegger har høyt kloridinnhold på grunn av kapillært oppsug av kloridholdig veisalt på gulvet. Det er lett å finne synlige skader som skyldes armeringskorrosjon pga. klorider, særlig i søyler. I tillegg er det et stort skadeomfang under utvikling.
- Bunn av vegger på langs med blokkene har et mindre omfang av synlige skader da armeringen ligger dypere inn i betongen og veggene har større avstand til bilene enn søylene og skilleveggene. Dog er det målt kloridinnhold som kan gi korrosjonsskader.
- Det er ikke funnet klorider i betongen over bunnpartiet av søyler og vegger eller tak. Dette betyr at betongen ikke ble tilsatt klorider da den ble støpt. Dette er positivt da klorider gir størst skader.
- Tak har svært få synlige skader selv om en stor andel armeringen ligger i karbonatisert betong, tilstanden av armeringen er labil. Armering i søyler/vegger ligger delvis i karbonatisert betong.

Tiltak av armert betong er nødvendig:

- Reparasjoner av betongskader ble anbefalt utført om anslagsvis to år etter utbedringen av brann.
- I bunn av søyler og vegger samt dekke over tilfluktsrom der betongen er infisert av klorider fra veisalt, utføres meisling av skader, rengjøring av armering og oppbygging av sårene med mørtel. For søyler med store skader kan det bli behov for oppstempling. Pga. høye kloridinnhold er det behov for katodisk beskyttelse av armeringen med kloridinfisert betong. Katodisk beskyttelse (KB) utføres ved å installere en bestandig titananode som mørtles inn i betongen og det påtrykkes en likespenning mellom anoden og armeringen. Dette presser armeringen til å bli en enhetlig katode og en katode korroderer ikke, derav navnet katodisk beskyttelse, se vedlegg 5.
- For å hindre inntrengning av ytterligere klorider i bunn av søyler og vegger, etableres en hulkil og over denne føres et bånd med vanntett membran fra asfalt, over hulkilen og opp på betongen.
- På vegger, søyler og tak som har et begrenset skadeomfang, repareres skader etter prinsippet «begrenset mekanisk reparasjon» og overflaten males med karboniserings-bremsende maling (CO<sub>2</sub> – brems). Malingen hindrer videre karbonatisering og oppfukning av betongen og oppsug.
- Da dekke over tilfluktsrommet har store betongskader pga. dyp inntrengning av klorider, kan øvre del av dekke over tilfluktsrommet som et alternativ skiftes ut med ny armering og ny betong.
- Dekke påføres en vanntett membran / støpeasfalt som hindrer ny kloridinntrengning og nye fremtidige betongskader. I overgang gulv og søyler/vegger legges en hulkil og gulvmembranen som trekkes opp fra dekke, over hulkilen og opp på søyler/vegger. Velges støpeasfalt legges et forseglingsbånd av membran i overgangen gulv og søyler/vegger.

**Ødegård og Lund AS**

Rødbergveien 59 A, 0591 OSLO

Telefon: 22 72 12 60

email: olav@olbetong.no

Oslo 30 september 2024

Pål Ø. Hanssen

Olav S. Ødegård

Det presiseres at bruk – eller delvis bruk av rapporten for andre prosjekter ikke er tillatt uten skriftlig samtykke fra ØL.

## Innholdsfortegnelse

<b>STIKKPRØVEBASERT TILSTANDSANALYSE AV GARASJE I ARMERT BETONG</b> .....	<b>0</b>
<b>OPPDRAKSOVERSIKT</b> .....	<b>1</b>
<b>1. BAKGRUNN</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ÅRSAKENE TIL AT ARMERING I BETONG KORRODERER, GENERELL TEORI</b> .....	<b>4</b>
<b>3. UNDERSØKELSER</b> .....	<b>5</b>
<b>4. RESULTATER OG VURDERINGER</b> .....	<b>6</b>
<b>4.1 Visuell befaring av konstruksjonsdelene i garasjen til Bjørnebærstien Huseierforening</b> .....	<b>6</b>
<b>4.2 Overside dekke (gulv) over tilfluktsrom</b> .....	<b>7</b>
<b>4.3 Søyler</b> .....	<b>9</b>
<b>4.4 Vegger</b> .....	<b>10</b>
<b>4.5 Tak over garasjen</b> .....	<b>11</b>
<b>5. OPPSUMMERING AV ARMERINGSTILSTAND</b> .....	<b>12</b>
<b>6 VURDERING AV METODER FOR VEDLIKEHOLD AV ARMERT</b> .....	<b>14</b>
<b>6.1 Kloridholdig armert betong, generelt</b> .....	<b>14</b>
<b>6.2 Karbonatisert armert betong, generelt</b> .....	<b>15</b>
<b>6.3 Vurdering av mulige tiltak overkant av tilfluktsromsdekke</b> .....	<b>15</b>
<b>6.4 Vurderinger av tiltak i bunn av søyler</b> .....	<b>16</b>
<b>6.5 Vurderinger av tiltak i bunn av vegger</b> .....	<b>17</b>
<b>6.6 Vurdering av tiltak øvre del av vegger, søyler og tak</b> .....	<b>17</b>
<b>7. SKISSERING AV TILTAK</b> .....	<b>18</b>
Vedlegg 1: Foto	
Vedlegg 2: Feltresultater	
Vedlegg 3: Kloridanalyser	
Vedlegg 4: Armeringskorrosjon	
Vedlegg 5: Katodisk beskyttelse av armert betong	

## 1. BAKGRUNN

Bjørnebærstien Huseierforening har beliggenhet på Rykkinn i Bærum kommune. Bebyggelsen har 3 stk. boligblokker i armert betong som ble oppført av entreprenør Ragnar Evensen AS i perioden 1969-1971. Under boligblokkene med adresse Bringebærstien 1-13, er det et sammenhengende garasjeanlegg i ett plan med vegger, søyler og overliggende dekke i armert betong. Indre del av garasjen har dekke som består av fylling med stein/pukk med avsluttende asfalt. Dette betegnes «gulv på grunn». Innenfor porten ligger et armert betongdekke som er påført asfalt av samme type som brukes på vei. Under dekke er det i følge opplysninger et tilfluktsrom og dekke er derfor ekstra tykt og tett armert.

Den indre del av garasjen innenfor brannporten er bygget på samme måte, men denne del har ikke tilfluktsrom og tilhører Bjørnebærstien Boligsameie med adresse Bjørnebærstien 15-21. De benytter samme innkjøring via hovedporten i gavlen i Bjørnebærstien 1.

I forbindelse med undersøkelsene vi utførte etter bilbrannen som har vært i garasjen, utførte vi prøvetaking for å undersøke tilstanden av den armerte betongen over brannstedet. Den 3 august 2023 hadde vi en gjennomgang av resultatene i garasjen sammen med styrelederne i Bjørnebærstien Huseierforening og Bjørnebærstien Boligsameie. I denne forbindelse diskuterte vi hva som bør gjøres med betongskadene i garasjen som særlig er fremtredende i bunn av søyler og vegger. Vi anbefalte at det bør utføres en tilstandsanalyse av den armerte betong inkl. oversiden av det armerte dekke over tilfluktsrommet innenfor porten. Dette ble bekreftet som oppdrag i e-post fra styrene v. Arild Henriksen 7 august 2023. Vi utførte feltarbeid i oktober i 2023 og supplerende prøver i april 2024. Pga. pågående arbeider i garasjen etter brannen høsten 2023, ble det enighet om at rapporten skulle ferdigstilles i 2024.

Når det gjelder betongskadene fra brannen i søylene som har det laveste tverrsnitt med betong, beregnet statiker Martin Hofsgård hos Dr. Techn Olav Olsen AS behovet for oppstempling i forbindelse med betongreparasjonene. Med hans kunnskap til statikk og vår erfaring med betongskader, kan reparasjon av betongskadene som ikke skyldes brannen utsettes anslagsvis 2 år etter høsten 2023. På denne måten blir det tid til å planlegge og innhente tilbud for vedlikehold av garasjen og en slipper 15% påslag dersom arbeidene skulle legges under entreprenøren som styrte arbeidene i garasjen etter brannen. I tillegg ville det forlenget åpningen ytterligere etter brannen om arbeidene med vedlikehold av armert betong skulle utføres som en fortsettelse av arbeidene.

Det er også foretatt undersøkelser og laget en separat rapport for den indre del av garasjen (nr. 15 – 21) som tilhører Bjørnebærstien Boligsameie. Noen

av disse resultatene er også omtalt i denne rapporten, og vice versa. Dette gir et bedre bilde av tilstanden av den armerte betongen i garasjene ettersom man totalt sett får et større antall prøvelokaliteter å vurdere.

## **2. ÅRSAKENE TIL AT ARMERING I BETONG KORRODERER, GENERELL TEORI**

Dette kapittelet omtaler årsakene til at det oppstår armeringskorrosjon i betong. Kostnadene til vedlikehold av slike skader, kan bli høye. Dersom en ønsker en nærmere forklaring på skademekanismene som er omtalt her, har vi laget figurer og skisser om dette temaet i vedlegg nr. 4.

Nystøpt betong har en høy pH – verdi og dette gir armeringsjernet en naturlig beskyttelse mot korrosjon. I dette miljøet dannes det en naturlig beskyttende oksidfilm på overflaten. Dette oksidlaget kan brytes ned slik at armeringen kommer i korrosjonstilstand. De vanligste årsakene til dette er:

- Klorider når inn til armeringen i skadelige mengder
- Karbonatisering av betong på grunn av at karbondioksid (CO<sub>2</sub>) i luften trenger inn i poresystemet til betongen og reagerer med betongen. Når karbonatiseringen når til armeringen brytes oksidlaget ned.

Klorider: Av disse årsakene gir klorider de største og alvorligste korrosjonsskader. For garasjeanlegg skyldes armeringskorrosjon vanligvis klorider fra veisalt som blir dratt inn med bilene. Da betong inneholder et sammenhengende poresystem, blir kloridholdig vann suget opp kapillært i porene. I tillegg var det ikke uvanlig at bygg fra 1970 tallet ble tilsatt klorider ved støpning i kuldegrader vinterstid. Kloridene er da benyttet som ”frysepunktnedsettende tilsetningsstoff ” eller som akselerator for herding av betong.

Det naturlige kloridinnhold i betong på Østlandet, er inntil 0,1 vekt% av sementvekt. For betongkonstruksjoner fra denne tidsperiode, antar vi at sementinnholdet er 280 kg / m<sup>3</sup> betong. Videre i rapporten blir kloridinnhold av sementvekt forenklet betegnet som ” % ”. Grunnen til at kloridinnholdet oppgis i forhold til sementvekt, er at en andel klorider bindes av sementen. Klorider som ikke bindes kalles ”frie klorider”, og det er i første rekke denne andelen som gir fare for armeringskorrosjon. I Norsk standard anbefales at kloridinnholdet for en slakkarmert betong bør være lavere enn 0,4% for å unngå korrosjon på armeringen. Dersom kloridinnholdet er høyere enn dette, er det fare for korrosjon og faren øker jo høyere innholdet blir.

Karbonatisering: Karbonatisering av betongen er en naturlig prosess og skyldes at den sure gassen karbondioksid (CO<sub>2</sub>) i lufta, trenger inn i poresystemet i betongen. Gassen reagerer med sementpastaen og over tid oppstår en reaksjon mellom gassen og betongen slik at det dannes

karbonater i betongens porestruktur. Dette fører til at pH-verdien i betongen synker, endringen kalles karbonatisering av betong. Prosessen starter fra overflaten etter at betongen er støpt og beveger seg som en front som trenger dypere og dypere inn i betongen med tiden. Når karbonatiseringsfronten når inn til armeringsjernet, får betongen som er i kontakt med jernet en lavere pH – verdi (dvs. betongen blir surere. Denne miljøendringen fører til at den naturlige overflatebeskyttelsen (oksidsjiktet) som betongen gir armeringsstålet brytes ned og armeringen kommer i korrosjonstilstand. Dette er omtalt og illustrert med skisser i vedlegg nr. 4.

Når armeringsjern korroderer, opptar korrosjonsproduktene som omdannes fra stål et volum som er inntil 5 – 10 ganger så stort som metallisk stål. Det er dette som gir sprengkreftene på betongen som ligger over/utenpå armeringen.

### 3. UNDERSØKELSER

Tilstandsanalysen er utført som stikkprøver av følgende konstruksjonsdeler i garasjen.

- 2 stk. lokaliteter i gulvet som ligger over tilfluktsrommet
- 2 stk. lokaliteter i søyler.
- 4 stk. lokaliteter i tak over garasje inkl. tidligere prøver
- 4 stk. lokaliteter i langvegger/skillevegg

I tak er det tatt prøver av to lokaliteter, men vi har også benyttet resultatene fra 2 lokaliteter som ble tatt i tak der det var bilbrann.

Følgende undersøkelser / målinger er utført:

- Visuell kontroll
- Hammerbanking på betongen (bombanking). Dette er en effektiv metode for å lokalisere pågående betongavskallinger som ikke er synlig på overflaten. Når en treffer en avskalling av betong, som ofte er forårsaket av armeringskorrosjon som har sprengt løs betongen, høres en karakteristisk hull lyd som kalles ”bom”. Denne betegnelsen brukes i resten av rapporten.
- Utboring og analyse av kloridprøver av betongen i følgende dybdesjikt:
  - o.k dekke (gulv over bomberom) dybdesjikt à 10 mm, inntil 60 / 70 mm.
  - bunn av vegger / søyler 0 – 20, 20 – 40 mm.
  - brysthøyde vegger / søyler 0 – 40 mm.
  - tak 0 – 40 mm.

- Målinger av armeringsoverdekning med Covermeter. (avstand fra betongoverflaten og inn til armering). Benyttet Covermeter type "Profometer 3". Maks måledybde 55 mm.
- Punktmåling av betongens karboniseringsdybde. (naturlig forsuringssprosess i betongen pga. sure gasser i lufta), målt i oppmeislinger og borehull med pH – indikatoren fenolftalein.
- Opphugning til armering for visuell kontroll i enkelte lokaliteter for å vise armeringstilstand.

I undersøkelsen ble det lagt størst vekt på kloridanalyser av betongen. Grunnen til dette er at kloridholdig veisalt som dras inn med bilene gir størst fare for armeringskorrosjon. I tillegg fører klorider normalt til mer omfattende og kostbare betongskader. Med denne bakgrunn er kloridprøvene i disse konstruksjonsdelene tatt sjiktvis inn / ned fra overflaten, dette kalles en kloridprofil som viser fordelingen av klorider fra overflaten.

Kloridprøver som er tatt i tak og brysthøyde av vegger/ søyler er fra sjiktet 0 – 40 mm. Her påvirkes ikke betongen av klorider som dras inn med biler, og hensikten med disse prøvene er å undersøke om betongen ble tilsatt klorider ved støpning. På 70-tallet var det ikke uvanlig at dette ble gjort for å akselerere herdingen og dermed hindre frostskaader i fersk betong ved vinterstøp.

#### **4. RESULTATER OG VURDERINGER**

I vedlegg er det gitt følgende detaljinformasjon:

- Vedlegg 1: Foto
- Vedlegg 2: Feltresultater
- Vedlegg 3: Resultat fra kloridanalyser
- Vedlegg 4: Armeringskorrosjon, generell informasjon
- Vedlegg 5: Katodisk beskyttelse

##### **4.1 Visuell befaring av konstruksjonsdelene i garasjen til Bjørnebærestien Huseierforening**

Under feltarbeidet med målinger og uttak av prøver på den armerte betong i garasjen, har vi registrert følgende synlige forhold:

- Kjørebane og parkeringsplasser over tilfluktsrom har asfalt av samme type som brukes på vei, dette skjuler tilstanden av det underliggende armerte betongdekke (foto nr.11).
- Det er slitt hull i asfalten på flere steder i dekket over tilfluktsrommet (foto nr. 12, 13 og 14).

- I områder hvor asfalten lokalt er slitt bort er det imidlertid ikke vanskelig å avdekke synlige betongskader som er forårsaket av at pågående armeringskorrosjon sprenger løs betongen i overkant tilfluktsromsdekke (foto nr. 13, 14).
- Stedvis har pågående armeringskorrosjon også «sprengt løs» asfalten på tilfluktsromsdekke (foto nr. 15, 16).
- Søylar, vegger og tak i garasjen er nylig malt etter brannen (foto nr. 1). Det er ingen hulkil i overgang asfalt og vegger/ søylar som hindrer at kloridholdig vegsalt suges inn i betongen (foto nr. 2-4, 7)
- Ingen tegn til malingsavflassing i bunn av vegger/ søylar, men de er som sagt malt helt nylig. Dog ser man på flere steder åpenbare tegn til tidligere fuktoppsug i bunnpartiene (foto nr. 18 og 19). Dette kan skyldes oppsug av tinevann fra biler/ oppsug av fukt fra grunnen eller begge deler.
- Betydelig omfang av synlige betongskader i bunn av søylar, dette i form av både riss, bom og betongavskallinger, flere steder observeres korrodert armering i dagen (foto nr. 2, 4, 17, 18).
- Opphugning i bunn av søylar viser til dels kraftig korrosjon i bunnpartiet (foto nr. 3).
- Det er også synlige betongskader eller bom i bunn av vegger, først og fremst skillevegger, men lokalt også i langvegger. Det synlige skadeomfanget i bunn av vegger er dog mindre enn i søylene (foto nr.7, 10, 19).
- Lite synlige skader i tak (foto nr. 5). Opphugning inn til tilfeldig monteringsjern viste imidlertid overflaterust (foto nr. 6).
- Stedvis riss i tak som samsvarer med armeringsplassering.

#### 4.2 Overside dekke (gulv) over tilfluktsrom

Tilstand av armert betong:

Tabellen viser sammenstilling av felt – og laboratoriemålinger:

Undersøkte lokaliteter	Karbonatiseringsdybde[mm]	Armerings-overdekning [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt 280kg/m <sup>3</sup> ]
Nr. 4 og 5	2 – 3	7 – 32 (øvre lag)	00 – 10 mm: 1,6 – 2,4% 10 – 20 mm: 1,9 – 3,0% 20 – 30 mm: 1,3 – 4,3% 30 – 40 mm: 1,3 – 4,3% 40 – 50 mm: 1,3 – 4,3% 50 – 60 mm: 1,3 – 3,9%  (60 – 70 mm): 1,3% (1 lok)

Karbonatiseringsdybde: Det er målt 2-3 mm og dette skyldes at betongen jevnlig oppfuktes. Dette fyller porene i betongen og dette hindrer inntrengning



av CO<sub>2</sub> i luften å trengje inn i betongen. Da det er stor avstand fra målt karbonatiseringsdybde og inn til armeringen, skyldes ikke korrosjon at betongen er karbonatisert for denne konstruksjonsdel. Sammenligner en med målte karbonatiseringsdybdene i gulv med tak, er målte dybder i tak i størrelsesorden inntil 10 ganger høyere.

Klorider: Ved armeringen er kloridinnholdet 4 - 10 ganger høyere enn anbefalt grense 0,4% i Norsk Standard. Ved å studere de to profilene, som begge er tatt i sjikt a 10 mm, ser man dessuten at kloridinntrengningen er dyp. Innholdene avtar lite ned fra overflaten, for en av profilene registreres tvert i mot en økning i kloridinnhold jo lenger ned fra overflaten man kommer. Dette vitner om en relativt lav betongkvalitet som har vært utsatt for kloridinntrengning over lang tid. Lav betongkvalitet betyr at det ble benyttet mye vann i forhold til sement da betongen ble støpt. Da bare en del av vannet går med til reaksjon med sementen (kalles herding av betong), ble det et «stort» overskudd av vann. Når betongen var herdet og dette vannet fordampet, etterlot dette et stort og sammenhengende poresystem i betongen. Dette gir en lettere transportvei for kloridene ned i betongen til armeringen. Ser en på kloridinnholdet i sjiktet 50-60mm i kjørebanelen, er kloridinnholdet 4 vekt% av sementvekt, Dette er 10 ganger høyere enn anbefalt kloridgrense i Norsk Standard som er 0,4 % for å hindre armeringskorrosjon. I forhold til dagens betong i garasjer brukes det markert mindre vann i forhold til sementen. For å hindre kloridinntrengning og utvikling av betongskader er man i praksis avhengig av en vanntett overflatebehandling som påføres før garasjen tas i bruk. Vanlig Agb-asfalt som i prinsipp er det samme som veiasfalt, har ikke underliggende membran og er derfor ikke vanntett. Støpeasfalt som har mer bitumenbindemiddel, er ut fra erfaring vanntett og dermed tett mot klorider.

Gulvet er asfaltert og dette skjuler tilstanden av den armerte betongen. I områder hvor asfalten er nedbrutt er det imidlertid flere synlige betongskader. Andre steder har betongavskallinger sprengt løs asfalten og ved å banke med hammer på asfalten registreres et stort omfang med bom. Ut fra erfaring skyldes dette underliggende armeringskorrosjon som sprenger løs betongen under asfalten.

Ved å vurdere kloridinnholdet i sjiktene ned i betongen i garasjergulvet, er kloridinnholdet ca. 3 ganger høyere i kjørebanelen enn i biloppstillingsplassen. Dette er det motsatte av det vi erfarer fra undersøkelser av flere 100 garasjer. Vanligvis erfarer vi at det er lavere kloridinnhold i kjørebanelen enn i biloppstillingsplassene, men dette er en lang og sammenhengende garasje der dekke ligger like innenfor innkjøringsporten og alle bilene som skal inn til Børnebærstien Boligsameie passerer også over dette dekke. Dette har sammenheng med det svært høye kloridinnhold som går dypt ned i betongen i kjørebanelen og er et resultat av alle bilpasseringene som har pågått vinterstid siden garasjen var ny. I biloppstillingsplassen på dekke i lokalitet nr. 5, er

kloridinnholdet lavere men så dypt som 60-70mm ned i betongen er kloridinnholdet så høyt som 1,3%. Dette er tilstrekkelige mengder klorider som har ført til betydelig armeringskorrosjon. Den naturlige korrosjonsbeskyttelsen som betongen gir armeringen er nedbrutt av klorider. Dette har ført til en kjemisk reaksjon mellom armeringsstålet og oksygen og danner korrosjonsprodukter som opptar 5 -10 ganger så stort volum som det opprinnelige stål. Da korrosjonsproduktene, som er det samme som i dagligtale kalles «rust» tar mye større plass, fører dette til sprengkrefter på betongen som skaller av. Ved å banke med hammer på betongoverflaten der det ble tatt kloridprøve, ga dette den typiske hulllyden som kalles bom som er omtalt i kap. 3 undersøkelser. Dette bekrefter at det pågår korrosjon på armeringen. Ved å sjekke overflaten på betongdekke over tilfluktsrommet, kunne en se at asfalten stedvis bulet opp som vist på foto nr. 15. Ved banke med hammer på overflaten, var det lett å finne områder med bomlyd som bekrefter at det er omfattende armeringskorrosjon. Klorider gir en spesiell form for korrosjon ved at det dannes felter med karakteristiske groper i stålet og ved siden av kan stålet være helt rent.

Et betongdekke over et tilfluktsrom er betydelig tykkere enn et vanlig dekke og et slikt betongdekke er dessuten markert tettere armert.

Korrosjonsproduktene som dannes når et så stort stålareal utvikler korrosjon resulterer i store sprengkrefter på betongen. Tilstanden av dette tilfluktsromdekke er svært lik to andre garasjedekker i området som er bygget på samme måte og har tilsvarende alder. Disse dekkene hadde svært omfattende og dype korrosjonsskader og har tilsvarende kloridinnhold.

### 4.3 Søylar

Tilstand av armert betong:

*Tabellen viser sammenstilling av felt – og laboratoriemålinger:*

Undersøkte lokaliteter	Karbonatiseringsdybde[mm]	Armerings-overdekning [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt 280kg/m <sup>3</sup> ]
Nr.1 og 7	2 – 10 (bunn)	17 – 38	Bunn: 00 – 20 mm: 1,9 – 2,6%
	17 – 20 (brysthøyde)	20 – 30	20 – 40 mm: 2,0 – 2,8%  Brysthøyde: 00 – 40 mm: 0,1%

Karbonatiseringsdybde: I bunn av søylene er det generelt god avstand fra karbonatisert betong og inn til armeringen. Korrosjonsfaren for armeringen er derfor lav. Sammenligner en karbonatiseringsdybdene i bunn av søylene i forhold til prøvene som er tatt i brysthøyde, er den merkbar lavere i bunnen. Dette skyldes at betongen i bunnen er mer utsatt for oppfukning som tidligere omtalt for dekke. I brysthøyde av søylar nærmer karbonatiseringen seg flere

steder armeringen, lokalt har fronten nådd inn til armeringen og brutt ned den naturlige korrosjonsbeskyttelsen. Fortsatt ligger dog hoveddelen av armeringen i betong som gir naturlig korrosjonsbeskyttelse pga. sin høye pH. Dagens tilstand viste ikke synlige betongskader i brysthøyde. Det er samsvar med resultatene fra Bjørnebærstien 15 – 21.

Kloridinnhold bunnparti: Det er ingen hulkil/ forsegling i overgang gulv og bunn av vegger. Det er lett å finne betongskader i bunnparti av søyler, disse skadene skyldes armeringskorrosjon pga. svært høyt kloridinnhold. Dette som følge av kapillært oppsug av klorider fra veisalt på gulv siden det ikke er noen hulkiler/ forsegling i overgangen. Opphugninger viser generelt korrosjon, til dels massivt. Ved armeringen er kloridinnholdet 5-7 ganger høyere enn anbefalt øvre grense i Norsk Standard, 0,4%. Også her er det samsvar med resultatene fra Bjørnebærstien 15 – 21.

Kloridinnhold brysthøyde: I brysthøyde påvirkes ikke betongen av kloridholdig tinevann, og et evt. forhøyet kloridinnhold i denne høyden vil ha sin årsak i at betongen er tilsatt klorider ved støpning. I begge søyler er kloridinnholdet i brysthøyde inntil 0,1% som regnes som det naturlige kloridinnhold i betong. Betongen er med andre ord ikke tilsatt klorider ved støpning. Det er samsvar med resultatene fra Bjørnebærstien 15 – 21.

#### 4.4 Vegger

Tilstand av armert betong:

Tabellen viser sammenstilling av felt – og laboratoriemålinger:

Undersøkte lokaliteter	Karbonatiserings dybde[mm]	Armerings-overdekning [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt 280kg/m <sup>3</sup> ]
Nr. 3 og 6	2 – 26 (bunn)  18 – 38 (brysthøyde)	7 til + 55 (bunn)  + 55(brysthøyde)	Bunn: 00 – 20 mm: 0,5 – 0,9% 20 – 40 mm: 0,5 – 0,9%  Brysthøyde: 00 – 40 mm: 0,1%

Karbonatisering i bunn av vegger: Dette varierer og er lokalt dypere enn hva som normalt forventes i bunn av vegger som periodevis oppfuktes. Når det gjelder skadepotensialet pga. karbonatisering i bunn av vegger, er dette likevel av underordnet betydning i forhold til kloridinnholdet som omtales nedenfor.

Karbonatisering i brysthøyde av vegger: Armeringsoverdekningen er generelt større enn karbonatiseringsdybdene og armeringen er dermed i all hovedsak fortsatt naturlig beskyttet mot korrosjon. Unntakene er armering med lav

overdekning eller i områder med lokalt mangelfull utstøpning. For eksempel hadde en av veggene i Bjørnebærstien 15 – 21 vesentlig lavere overdekning og armeringen lå her i karbonatisert betong, dette viser at det er variasjoner.

Kloridinnhold bunn av vegger: Som for søylene er det er ingen hulkil/ forsegling i overgang dekke og bunn av vegger. Det er funnet betongavskallinger, men det synlige skadeomfang er betydelig mindre enn for søyler. Dette skyldes trolig to forhold:

- Armeringen i veggene har generelt høyere overdekning.
- Kloridbelastningen med oppsug av tinevann fra biler er generelt lavere enn søylene.

Bilene parkerer tett inntil søylene som gjør at bunn av søylene er mer utsatt for klorider fra veisalt enn veggene. Andre forhold som innvirker er fallforhold på dekke og hvor ofte biloppstillingsplassen er brukt. Ser en på stikkprøvene så er innholdet forhøyet (0,5 – 0,9%), men likevel markant lavere enn søylene (1,9 – 2,8%). Dog forventes det variasjoner, og spesielt i skillevegger forventes lokalt områder med vesentlig høyere kloridinnhold enn hva som er målt i undersøkelsen. Når det gjelder armeringsoverdekning, er den generelt høyere i vegger enn i søylene og det samme ble målt på brannstedet. Dog finnes en del armering med lav overdekning i vegger. Resultatene fra vegger i Bjørnebærstien 15 – 21 viser tilsvarende tendens.

Kloridinnhold i brysthøyde av vegger: Stikkprøvene viser 0,1% klorider i begge lokaliteter, det vil si et naturlig – og ikke forhøyet kloridinnhold.

#### 4.5 Tak over garasjen

Tilstand av armert betong:

*Tabellen viser sammenstilling av felt – og laboratoriemålinger:*

Undersøkte lokaliteter	Karbonatiserings dybde[mm]	Armerings-overdekning [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt 280kg/m <sup>3</sup> ]
Nr. 2, Plass nr. 1-102	26 – 30	15 (mont. jern) 20 – 25 (bærearmering)	00 – 40 mm: 0,1%
Plass nr. 11-302 og 11-402 ( prøver brann)	22-30 (betongkjerne)	10 (mont.jern) +/- 20 feltarmering	00-10mm: 0,1-0,2 10-20mm: 0,1 20-30mm: 0,1
Tak plass 11-403	>40	18-24	00 – 40 mm: 0,1%

Karbonatisering: Det er benyttet monteringsjern som opplagring for bærearmeringen. I undersøkelsen av i tak på brannstedet, ble det funnet 10mm høye armeringsstoler / klosser som ble lagt på forskalingen som opplagring for monteringsjernene. I den undersøkte lokalitet nr. 2 tyder det på at stolhøyden er 15mm. Da monteringsjernene et sted ble målt opp mot

Ø 10mm, har bærearmeringen overdekning fra 20-25mm overdekning. Den målte karbonatiseringsdybde er 22-30mm og den ene prøven hadde over 40mm. Dette betyr at monteringsjernene generelt og mye av bærearmeringen har kontakt med karbonatisert betong. Denne armering har mistet sin naturlige korrosjonsbeskyttelse og er i korrosjonstilstand og hastigheten styres av fuktinnholdet i betongen. Oppmeisling av monteringsjern i tak medregnet brannstedet, viste fra lite til markert overflaterust, men det var ikke dannet rustsjikt / rustkaker på armering. Det ble ikke funnet betongavskallinger i tak og dette tyder på at korrosjonsprosessen går sent. Ved å sammenligne med 3 stk. taklokaliteter i Bjørnebærstien 15-21, er de målte karbonatiseringsdybder i størrelsesorden i samme nivå med tilsvarende store variasjoner. Dette viser at mye av armeringen i tak er i en labil tilstand da den ligger i karbonatisert betong.

**Kloridinnhold:** Det ble ikke funnet forhøyet kloridinnhold i taket og klorider utgjør dermed ikke et skadepotensial. Det er samsvar med resultatene fra Bjørnebærstien 15 – 21.

## 5. OPPSUMMERING AV ARMERINGSTILSTAND

Kap. 2 handler om to følgende hovedårsaker til at armeringskorrosjon i betong:

- Klorider som er i kontakt med armeringen bryter ned den naturlige korrosjonsbeskyttelsen som betongen gir armeringsjernet.
- Karbonatisering av betong når inn til armeringen og gir et surere miljø som også bryter ned den naturlige korrosjonsbeskyttelsen til armeringen.

**Klorider:** Betong i garasjen i Bjørnebærstien 1-13 som er infisert av klorider fra veisalt som er dratt inn med bilene har det største synlige skadeomfang og skadepotensial. Når vann med veisalt suges inn i betongen, blir saltet med klorider liggende igjen når vannet fordampes. For hver gang dette skjer, øker kloridinnholdet i betongen. Følgende konstruksjonsdeler er spesielt utsatt for korrosjon pga. klorider:

- Bunn av søyler
- Garasjegulv over tilfluktsrom
- Bunn av skillevegger
- Bunn av langvegger

Det er lettest å finne synlige skader i bunn av søylene pga. korrosjon og avskalling av betong. Det er klart at årsaken til skadene skyldes klorider fra veisalt som over tid er dratt inn med bilene. Kloridene oppløst i vann har pga. av kapillærsuget i poresystemet i betongen nådd inn til armering. Kloridene

har så brutt ned den beskyttende oksidfilmen på armeringen slik at armeringen korroderer.

I garasjgulvet over tilfluktsrommet er ikke det synlige skadeomfanget så iøynefallende som bunn av søylene, men garasjgulvet har det største skadeomfanget og skadepotensial pga. armeringskorrosjon. I gulvet har svært høye kloridinnhold trengt dypt ned til flere lag med armering. I gulvet er det ikke så lett å observere skadene, men ved å bruke hammerbanking og vurdere det analyserte kloridinnhold som er svært høyt, er skadeomfanget stort.

Bunn av skillevegger er også infisert av klorider, men armeringsoverdekningen (avstand fra overflaten og inn til armeringen) er her jevnt over større enn for søylene. Dog er det målt høye kloridinnhold som gir et relativt stort skadepotensial samtidig som armeringsoverdekningen varierer.

Når det gjelder bunn av langveggene som har størst avstand fra bilene, er det mindre mengder med klorider i betongen, men det finnes også delvis høye kloridinnhold i denne konstruksjonen også.

Ingen av prøvene som er tatt i brysthøyde av søyler og vegger samt tak gir indikasjoner på at betongen er tilsatt klorider ved støpning, dette gjelder begge garasjene.

Karbonatisering: Bunn av søyler og vegger samt gulv har lav karbonatiseringsdybde og det er forholdsvis stor avstand inn til armeringen. Karbonatisering gir derfor ikke fare for korrosjon i disse konstruksjonsdeler der kloridene er den rådende årsak til korrosjon.

For søyler og vegger over bunnparti viser følgende:

- Søyler: Armeringen som delvis ligger i karbonatisert betong er i korrosjonstilstand.
- Vegger: Armeringsoverdekningen er generelt større enn karbonatiseringsdybden men avvikende armering med lav overdekning er i korrosjonstilstand.
- Tak: Monteringsjern er omgitt av karbonatisert betong og er derfor i korrosjonstilstand. For bærearmeringen er karbonatiseringsdybden nådd inn til armeringen og en stor del er omgitt av karbonatisert betong. Store deler av armeringen er derfor korrosjonstilstand.

Når det gjelder den visuelle tilstanden av søyler og vegger over bunnpartiet og tak, er det totalt svært få synlige skader. Da en god del armering ligger i

karbonatisert betong er tilstanden av armeringen labil. Da det synlige skadeomfanget er begrenset, indikerer dette at skadeutviklingen er svært lav.

## **6 VURDERING AV METODER FOR VEDLIKEHOLD AV ARMERT**

### **6.1 Kloridholdig armert betong, generelt**

Reparasjoner av kloridholdig betong krever spesielle tiltak. Dersom kun synlige skader repareres ved meisling (frihugging) og reparasjonssåret bygges opp med mørtel, vil det raskt oppstå nye skader i randsonen av reparasjonene. Grunnen til dette er at kloridene blir fjernet i reparasjonene, mens den opprinnelige betongen fortsatt har høye kloridinnhold. Pga. den høye forskjellen i kloridkonsentrasjon, dannes en naturlig stor spenningsforskjell på armeringen mellom reparert / ikke reparert område. På denne måten oppstår et stort naturlig batteri der det går destruktive strømsløyfer mellom armeringen som ligger i reparasjonsmørtel og armeringen ved siden av som ligger i den originale betongen med klorider. Her blir armeringen som er rengjort, reparert omgitt av mørtel den negative pol av batteriet og armeringen i betongen den positive. Dette akselererer korrosjonen betydelig på armeringen som ligger i den gamle kloridholdige betong og nye korrosjonsskader oppstår etter kort tid ved siden av reparasjonen. Dette er kjent som «flekkeparasjon», på engelsk betegnes dette «patch repair» og vi har sett mange eksempler på slike skader.

For å hindre at det oppstår nye skader på armeringen som er omgitt av betong med høyt kloridinnhold, er det behov for katodisk beskyttelse (KB) av armeringen. Metoden innebærer å etablere en anode som plasseres på, - eller i betongen. Det benyttes en fuktbestandig anode av titan belagt med metalloksider med god anodekapasitet som støpes inn i betongen. Deretter påtrykkes en lav likespenning (som er det samme som å påtrykke en kraft) mellom anoden (pluss-pol) og armeringen (negativ pol). Den påtrykte likespenning fører til at armeringen blir en enhetlig katode og en katode korroderer i prinsipp ikke. Denne egenskap har gitt metoden navnet «katodisk beskyttelse (KB)» av armeringen, som også har sin egen standard, *NS – EN 12 696*. Anoden er laget av et material som, i motsetning til armeringsjern, ikke går i oppløsning av å være en anode. På denne måten får en kontroll på det naturlige batteriet som oppstår mellom reparert og ikke reparert område, samtidig hindres også fremtidig armeringskorrosjon i områder som per i dag har høye kloridinnhold, uten synlige skader. Metoden forutsetter at det er metallisk kontakt mellom alle armeringsjern. Dette kalles «armeringskontinuitet». KB gir også beskyttende virkning på armering som for eksempel ligger opptil 20 cm under asfalt. For at all armering skal få katodisk beskyttelse må den kobles fysisk sammen ved eks. sveising (dette kalles armeringskontinuitet).

Metoden (KB) er relativt kostbar, og krever fremtidig oppfølging også etter utløp av 5 års garantiperiode. Alternativet er å fjerne all kloridholdig betong rundt armeringen, også der det ikke er synlige skader. Dette medfører et

omfattende og kostbart arbeide med nye støy. En nærmere forklaring av katodisk beskyttelse (KB) er omtalt i vedlegg 5.

Vår tekniske anbefaling for vedlikehold av garasjeanlegget der armeringen er infisert av klorider, er en kombinasjon av mekanisk reparasjon av betongskader og katodisk beskyttelse av armeringen. Som avslutning på et slikt vedlikeholdstiltak, er det viktig at det for fremtiden hindres at betongen får kontakt med kloridholdig veisalt. For bunn av søyler og vegger legges en hulkil i overgangen gulv og søyle/vegg. Overgangen forsegles til slutt med et bånd med vanntett membran. Dette blir en «vannskjerm» som leder vannet bort fra betongen og hindrer nytt oppsug av klorider. Når det gjelder garasjergulv, legges en fleksibel vanntett membran eller vanntett støpeasfalt som avsluttes med hulkiler og forseglingsbånd av membran mot på søyler og vegger.

### **6.2 Karbonatisert armert betong, generelt**

For armering som delvis ligger karbonatisert betong, er metoden «begrenset mekanisk reparasjon» mest benyttet. Metoden er omhandlet i Norsk Standard *NS 3420, kap.LY*. Prinsippet for metoden er at betong fjernes i skader ved mekanisk meisling (frihugging) og en frimeisler og følger armeringen inntil den er fri for korrosjon. Skadene bygges deretter opp med reparasjonsmørtel.

Etter endt reparasjon, vil det fortsatt ligge armering i karbonatisert betong som kan gi nye skader. Som avslutning av denne metoden påføres betongoverflaten en spesialmaling som kalles «karbonatiseringsbrems» eller «CO<sub>2</sub>-brems». Denne hindrer effektivt inntrengning av CO<sub>2</sub> (karbondioksid) fra lufta og hindrer dermed videre karbonatisering av mørtel og betong. En annen viktig egenskap er at den CO<sub>2</sub>-bremsende maling også har gode vannavvisende egenskaper som hindrer at betongen fuktes opp. Dette er viktig for flater som utsettes for kondens eller vann. Betong som fuktes opp fører til et mer korrosivt miljø for armeringen.

Metoden «begrenset mekanisk reparasjon» er benyttet i Norge i over 30år. I noen tilfeller der betongen har uvanlig dyp karbonatisering, kan det bli omfattende meisling inntil det avdekkes ren armering ved meisling. Da kan det vurderes katodisk beskyttelse av armeringen.

### **6.3 Vurdering av mulige tiltak overkant av tilfluktsromsdekke**

Resultatene fra undersøkelsene og vår erfaring med gulv over tilfluktsrom, viser at det er behov for omfattende og kostbare reparasjoner dersom tilfluktsromsdekke skal tilbakeføres til opprinnelig stand. Vi kjenner ikke til om det er offentlig krav om å ta vare på dette tilfluktsrommet, det må i så fall undersøkes. Med tanke på tilstanden i verden i dag, er det mer fokus på å bevare tilfluktsrommene. Dette kan undersøkes nærmere. Nedenfor har vi satt opp to alternativ for utbedring av tilfluktsromsdekke.



Alternativ 1, betongreparasjoner + katodisk beskyttelse: Synlige betongskader må meisles opp og dette vil stedvis kreve at man må forbi flere lag med armering som ligger tett. Som omtalt i kap. 6.1, er det behov for KB for armering som er omgitt av klorider. Dette er forklart med skisser i vedlegg nr. 5. Betongdekke påføres til slutt et vanntett belegg egnet for garasjeglulv. Dette kan være et membransystem med slitelag eller vanntett støpeasfalt. Det legges en hulkil som membranforsegles mot søyler og vegger.

Alternativ 2, skifte ut øvre del av dekke: Øvre sjikt av betongen med forhøyede kloridinnhold (anslagsvis 15 – 20 cm men må avklares med prøvetaking) og all overkantarmoring fjernes. Ny armering legges på plass og det støpes med ny betong med miljøklasse som tilfredsstillende garasje eksponering. For at denne metoden kan brukes, må armeringstegninger skaffes og en statiker må vurdere styrken av nedre del av gjenstående dekke. For begge alternativene bør tilstanden av tak over tilfluktsrom undersøkes for evt. lekkasjer og kloridinntrengning gjennom dekke.

Valget avhenger av totalt skadeomfang under asfalten. Med høye kloridinnhold dypt ned i betongen og så høy armeringstetthet som et tilfluktsromsdekke har, kan det være utfordrende å få nok beskyttelsesstrøm fra anoden til all armering. Først og fremst til de nedre lag armering ettersom man vil få skyggeeffekter av armeringen som ligger nærmere overflaten. Generelt kan man si at dersom skadeområdet viser seg å være svært stort bør man tenke i retning av alternativ 2 (utskifting). En utskifting vil uansett være kostbart, men det gir i prinsipp et nytt dekke med svært lave fremtidige driftskostnader.

Velges alternativ 2, beskyttes betongen med belegg og hulkil med forseglig som for alternativ 1.

#### **6.4 Vurderinger av tiltak i bunn av søyler**

Bunn av søyler har høye kloridinnhold og utbedring utføres etter samme alternative metoder for å reparere betongskader og tilbakeføre tilstanden av den armerte betong i bunn av søyler:

Alternativ 1, betongreparasjoner + katodisk beskyttelse: Samme prinsipp som nevnt over, men armeringen ligger ikke så tett som for tilfluktsromsdekke og en har ikke tilsvarende skyggeeffekt som for katodisk beskyttelse. Fordelen er at katodisk beskyttelse vil også ha en beskyttende virkning mot korrosjon for den armerte betong under asfalten. Tilstanden under asfalt undersøkes.

Alternativ 2, betongreparasjoner ved meisling av kloridinfisert betong: Dersom en ønsker en bestandig reparasjon i bunn av søyler ved kun bruk av mekanisk meisling, er det behov for å fjerne all kloridinfisert betong, også rundt armeringen der det ikke er skader. For bunn av søyler som kun er ca.

16cm tykke, betyr dette at søylen må stemples opp og all betong i hele tverrsnittet må fjernes. Dette må også gjøres under asfalt der det også er trengt inn klorider. Hvor dypt ned det må fjernes betong må i så fall undersøkes.

Alternativ 2 er prinsipielt mulig, men anbefales ikke for bunn av søyler. Årsaken er at dette vil gi svært omfattende meisling med behov for oppstempling og bistand til statiske vurderinger. I prinsipp vil dette bety det samme som å skifte ut bunn av søylene. Alternativ 1 anses som mest hensiktsmessig og i forhold til tilfluktsromsdekke er armeringstettheten i søylene vesentlig mindre, slik at det er mindre utfordrende å beskytte all armering som har behov for det.

For å hindre ytterligere inntrengning av klorider i bunn av søyler, legges en hulkil i overgang asfaltgulv og søyle. Til slutt legges en membranforsegling i en stripe på asfalten og forseglingen føres videre over hulkielen og opp på betongen. Dette kalles en vannskjerm som leder kloridholdig vann å komme i kontakt med betongen.

For begge alternativene avsluttes arbeidene med å etablere en hulkil med en forseglende vannskjerm i overgang asfalt og søyler som hindrer fremtidig inntrengning av klorider.

### **6.5 Vurderinger av tiltak i bunn av vegger**

For skillevegger med til dels høyt kloridinnhold er tilstanden sammenliknbar med søylene, selv om det synlige skadeomfanget pr. nå totalt sett er mindre. Samme vurdering av tiltakene med KB som nevnt over gjelder. Tendensen er at langvegger har et mindre synlig skadeomfang enn øvrige vegger og dette har sammenheng med at de er mindre belastet av kloridholdig veisalt. Supplerende målinger av armeringsoverdekning og kloridinnhold bør utføres i forbindelse med et vedlikehold for om mulig å kunne redusere omfanget av katodisk beskyttelse. Dog bør det tas høyde for KB i bunn av alle langvegger da det kan være utfordrende å avgrense KB på en fornuftig måte og samtidig opprettholde en akseptabel grad av sikkerhet mot fremtidig skadeutvikling.

Som for søyler etableres hulkil med vannskjerm i overgang asfalt og vegg.

### **6.6 Vurdering av tiltak øvre del av vegger, søyler og tak**

Det er ikke funnet klorider i prøver tatt i brysthøyde av vegger, søyler og tak og det synlige skadeomfanget er som forventet lavt. For utbedring av skader i armert betong uten klorider, benyttes metoden «begrenset mekanisk reparasjon» som gitt i NS 3420 kap. LY. Dette er omtalt i kap 6.2 karbonatisert armert betong.

For å hindre at karbonatisering av betong når inn til enda mer armering, kan overflaten påføres karbonatiseringsbremsende maling, CO<sub>2</sub>-brems.

Ved å utføre dette tiltaket, vil det fortsatt være mye armering som ligger i karbonatisert betong, særlig i tak og tilstanden av armeringen er labil. Dersom det ønskes stor sikkerhet for å hindre fremtidige betongskader, er det i følge «læreboka» riktig å benytte katodisk beskyttelse av armeringen slik det er anbefalt for bunn av søyler og vegger. Med store arealer betongarealer vil dette gi høye kostnader og forholdet mellom kost- og nytteverdi er usikker. I alle fall bør en følge med utviklingen da tilstanden for armering som ligger i karbonatisert betong er labil.

## 7. SKISSERING AV TILTAK

Resultatene fra undersøkelsen viser at det er behov for tiltak i garasjen med metodene for konstruksjonsdelene som er omtalt over. Når det gjelder tid for å utføre reparasjoner og vedlikehold i garasjen, er det tidligere meddelt i samråd med statiker at arbeidene utføres om to år etter at arbeidene i garasjen etter brannen var ferdig. Dette vi gi et lite pusterom da garasjen var stengt i lang tid etter brannen. Skadene en ser i dag har utviklet seg over tid og må før eller siden utføres.

Som et diskusjonsgrunnlag har vi listet opp følgende prinsipielle framgangsmåter for tiltak:

- Fjerne asfalt på dekke over tilfluktsrom.
- Garasjegalvet over tilfluktsrommet repareres etter 2 alternativ:
  - o Alt. 1: Reparasjon av betongskader, erstatte skadet armering + katodisk beskyttelse (KB) i øvre del av dekke.
  - o Alt. 2: Fjerne all skadelig kloridholdig betong og armering i øvre del av dekke. Legge ny armering og støpe ny betong egnet for garasje. Det er behov for bistand fra statiker.
  - o For alternativet som velges, legges membran / støpeasfalt med hulkiler med vanntett forsegling mot søyler og vegger.
- Bunn av søyler utbedres også etter 2 alternativ:
  - o Alt. 1: Reparasjon av betongskader, erstatte skadet armering + KB. Dette vil kreve noe oppstempling av søyler, bistand statiker.
  - o Alt.2: Fjerne all skadelig kloridholdig betong både over og under asfaltnivå, erstatte skadet og armering. Dette trenger bistand fra statiker med omfattende oppstempling rundt søyler.
  - o For metoden som velges, etableres hulkil med vannskjerm i overgang asfalt og søyler.
- Bunn av vegger:
  - o Reparasjon av betongskader, erstatte skadet armering, + KB.
  - o Når det gjelder langveggene utføres supplerende kloridprøver og måling av armeringsoverdekning for å se om en kan slippe KB.

- Det legges hulkiler med vannskjerm i overgang asfalt og vegger. I konstruksjonsdeler som skal ha KB kontrolleres det at alle armeringsjern er i innbyrdes metallisk kontakt (kontinuitet). Ved behov kobles armeringen sammen. Det benyttes en fuktbestandig anode med god anodekapasitet slik at påtrykt spenning kan holdes så lav som mulig.
  
- I øvre del av søyler, vegger og tak utføres:
  - Reparasjon av betongskader etter prinsipper begrenset mekanisk reparasjon.
  - Betongoverflaten påføres CO<sub>2</sub>-bremsende maling for å hindre videre karbonatisering og beskytte betongen mot oppfukning.Etter endt rehabilitering vil mye eller deler av armeringen fortsatt ligge i karbonatisert betong. Ønskes større sikkerhet mot utvikling av korrosjonsskader her, benyttes KB. Som omtalt vurderes kost – nytteverdi for et slik tiltak.

**Foto nr. 1:**

Oversiktsfoto av garasjeanlegget under Bjørnebærstien 1 – 13. Vegger, søyler og dekke er oppført i armert betong. I tillegg er deler av gulvet et armert tilfluktsromsdekke. Øvrige gulvareal er asfaltert, trolig på grunn.



**Foto nr.2:** Lok 1, søyle plass 1-102 / 3- 201 er valgt pga. synlige betongskader. Hjørnet har en betong-avskalling med armering «i dagen», lengre inn på sideflaten er det en begynnende utsprengning av betong. Ved å banke med hammer på denne høres en karakteristisk hullyd som kalles «bom».

**Foto nr. 3:**

Lok 1 søyle. Opphugning bekrefter at pågående armeringskorrosjon er årsak til bom. Korrosjonsproduktene innehar et volum som er inntil 10 ganger høyere enn rent jern, dette gir sprengkrefter på betongen. Tilslutt sprenges betongen løs.

**Foto nr.4:**

Lok 1 søyle – hjørnet på motsatt side er også i ferd med å sprenges løs, det er både riss og bom. Det er ingen hulkil/ annen forsegling i overgangen til asfalt. Dette gjør at kloridholdig tinevann fra biler suges kapillært opp i bunn av betongen. Dersom en hadde meislet opp risset her, ville en garantert sett korrodert armeringsjern.

**Foto nr. 5:**

Lok 2 tak. Tilfeldig valgt uten synlige tegn til skader. For å registrere armeringsoverdekning (avstand fra overflaten inn til armeringen) og plassering benyttes et covermeter. Her måles 22 mm overdekning på bærearmeringen i tak

**Foto nr. 6:**

Lok 2 – tak. Det er benyttet monteringsjern i taket. Disse ligger på armeringsstoler/ plastklosser som ble lagt mot forskalingen. Monteringsjernene skal holde bærearmeringen på plass når betongen støpes. Monteringsjernet på foto har tydelig overflaterust. Det var en del riss over monteringsjernene.



**Foto nr. 7:**

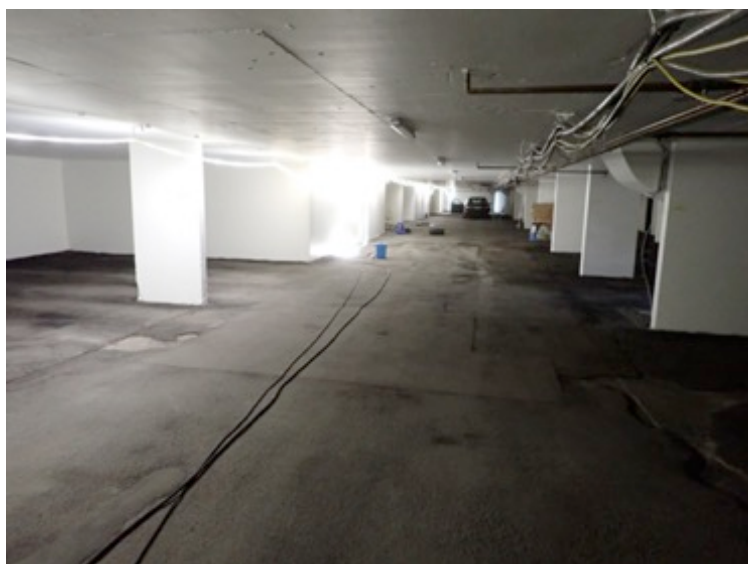
Lok 3 – vegg. Valgt pga. bom og noen synlige skader i ytre del av vegg. Det ses spor etter tidligere reparasjoner, det registreres nye skader i randsonen av reparasjonene. Heller ikke vegger har noen hulkil i overgang mot asfalt og de er på samme måte som søyler utsatt for kapillært vannoppsug.

**Foto nr. 8:**

Lok 3 – vegg. Betongens karbonatiseringsdybde (naturlig forsurening pga.  $\text{CO}_2$  i lufta) ble målt i borhull / oppmeislinger ved bruk av pH-indikatoren fenolftalein. Væsken er fargeløs på karbonatisert betong (pH under ca. 9,5). «frisk» ukarbonatisert betong får derimot et kraftig lilla fargeomslag.

**Foto nr. 10:**

Lok 3. Ytterhjørnet av veggen har riss. Hammerbanking avdekker bom (delaminering) dette er en begynnende betongutsprengning som skyldes armeringskorrosjon.

**Foto nr. 11:**

Innenfor porten består gulvet av et armert dekke og under ligger et tilfluktsrom. Slike dekker er vesentlig tykkere og har høyere tetthet av armering som ligger i flere lag i forhold til vanlige dekker. Når armeringen mye armering korrodere ,gir dette store sprengkrefter og med tiden store betongskader.

**Foto nr. 12:**

Lok. 4 er i kjørebane i tilfluktsromsdekke og er valgt med bakgrunn i at det var hull i asfalten. Vi ser ingen spor etter membran under asfalten. Da vanlig Agb-asfalt ikke er vanntett, forventes det at kloridene har trengt ned i betongen.



**Foto nr. 13:**

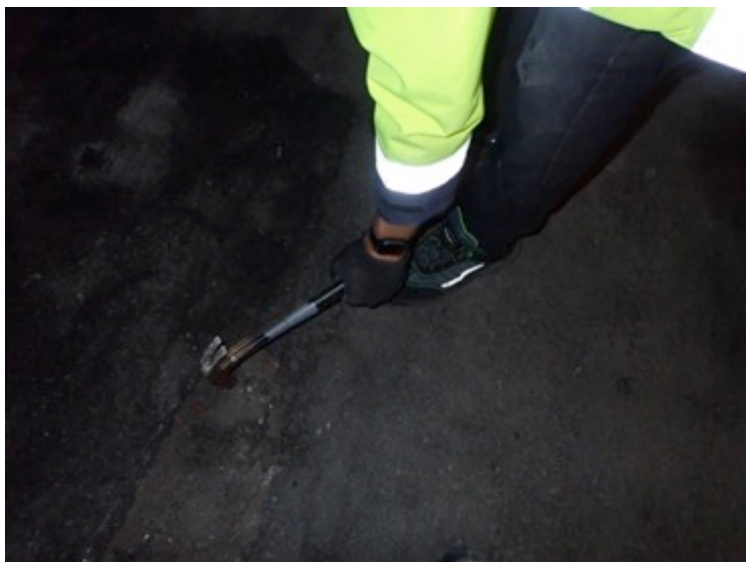
Lok. 5 er i hjulplassering av biloppstillingsplass på tilfluktsromsdekke. Området er ofte spesielt utsatt for betongskader da tinevann renner fra bilenes hjulbuer blir liggende under bilen. En ser rustutslag i overflaten som viser at det er armeringskorrosjon.

**Foto nr. 14:**

Lok 5. Det er massiv bom (delaminering) på stedet og en ser tydelig hvordan betongen er sprengt løs over armeringsjernene.

**Foto nr. 15:**

Flere steder på tilfluktsromsdekke registreres det at asfalten buler opp, plassering samsvarer med overkantarmoring i dekke. Når armeringsstål omdannes til korrosjonprodukt, øker volumet 5-10 ganger. Dette er årsaken til at betongen sprenges løs og asfalten buler opp.

**Foto nr. 16:**

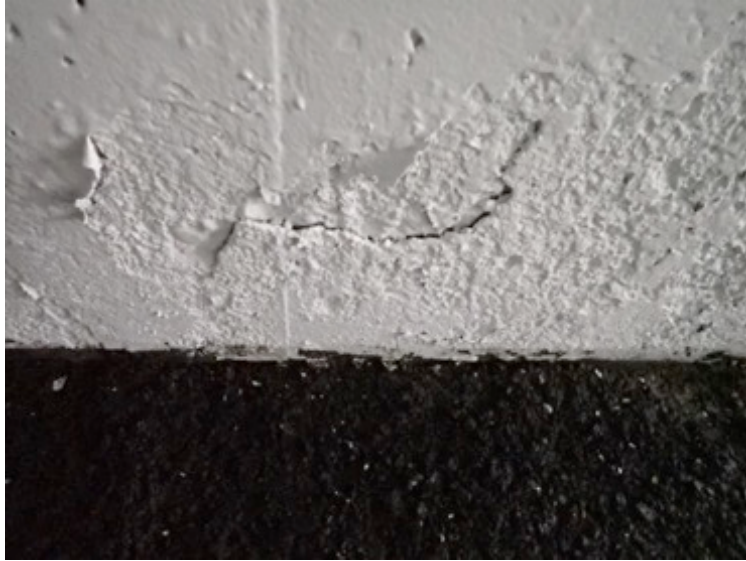
Hammerbanking på tilfluktsromsdekke avdekker generelt et svært stort omfang av bom, både der det ikke er asfalt og der det er asfalt. Skadeomfanget er stort og dette er som forventet utfra erfaring med tilsvarende type tilfluktsromsdekker.

**Foto nr. 17:**

Lok 7 er søyle som ble valgt pga. riss og begynnende betongutsprengning av hjørnet.

**Foto nr. 18:**

Generelt. Garasjen er nylig malt etter at det tidligere har vært brann. I flere bunnpartier har korrosjon sprengt ut betongen og armeringen ligger i dagen. Etter kort tid har en fått rustutslag gjennom ny maling.



**Foto nr. 19:**

Nymalt vegg med tydelige tegn til gammel malingsavflassing.

I bunnpartier som dette må en forvente ny malingsavflassing.

Årsaken til dette er kapillæroppslag av tinevann fra biler eller som følge av oppslag av fukt i grunnen.

På foto er det også en betongskade, se risset.

**FELTRESULTATER TILSTANDSUNDERSØKELSE GARASJE, 2023****Søyler/ vegger:**

Oversikt over undersøkte lokaliteter.

Målinger Lokalitet	karbonatisering [mm]	Overdekning målt i striper på betongoverflate [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt]
Lokalitet nr. 1. Søyle Plass nr. 1 – 102	Bunn: 2 – 3  Brysthøyde: 17 – 20	Bunn: 17 – 25 (bøyler) 24 – 38 (vertikalt)  Brysthøyde: 20 (bøyler) 30 (vertikalt)	<u>Bunn:</u> dybde 00 – 20 mm: 2,6% dybde 20 – 40 mm: 2,0%  <u>Brysthøyde av søyle:</u> dybde 00 – 40 mm: 0,1%
Lokalitet nr. 3. Skillevegg Plass nr. 3 – 402	Bunn: 2  Brysthøyde: 18 – 20	Bunn: 16 – 38 (høyere lenger inn på veggen)  Brysthøyde: +55	<u>Bunn:</u> dybde 00 – 25 mm: 0,5% dybde 25 – 50 mm: 0,5%  <u>Brysthøyde av vegg:</u> dybde 00 – 40 mm: 0,1%
Lokalitet plass 11-402 og 11-103 Skillevegger		40-55	
Lokalitet nr. 6. Vegg Første til høyre etter rampe	Bunn: 22 – 26  Brysthøyde: 34 – 38	Bunn: 7 – 9 (to horisontale jern)  Øvrig: +55 (bunn og brysthøyde)	<u>Bunn:</u> dybde 00 – 20 mm: 0,9% dybde 20 – 40 mm: 0,9%  <u>Brysthøyde av vegg:</u> dybde 00 – 40 mm: 0,1%
Lokalitet nr. 7. Søyle ved lok. 6	Bunn: 10 – 15	Bunn: 17 – 32 Bøyler 11 – 15 (lenger opp)  Brysthøyde: 20 (bøyler) 30 (vertikalt)	<u>Bunn:</u> dybde 00 – 20 mm: 1,9% dybde 20 – 40 mm: 2,8%  <u>Brysthøyde av søyle:</u> dybde 00 – 40 mm: 0,1%

**Kommentarer:**

Lokalitet nr. 1: Malt, ingen hulkil/ forsegling i bunn. Valgt pga. synlig skade i bunn av søyle, utsprengte hjørner og synlig utsprengning på sideflaten. Hammerbanking avdekker bom.

Lokalitet nr. 3: Malt, ingen hulkil/ forsegling i bunn. Valgt pga. noen synlige skader i bunn. Blant annet hjørneskade med riss og begynnende utsprengning. Avdekker mye bom, også der hvor det ikke er tegn til synlig skade. I lokaliteten er det også en tidligere reparasjon, med noe ny bom i – og rundt. Nylig malt etter brannen, men det er tydelige tegn til tidligere fuktoppsug (malingsavflassing) i bunnpartiet av veggen.

Lokalitet nr. 6: Malt, ingen hulkil/ forsegling i bunn. Det ligger 1 – 2 horisontale jern med lav overdekning i bunn av veggen, det er en del bom i forbindelse med disse to jernene. Utenom dette ingen bom eller synlige tegn til skader.

Lokalitet nr. 7: Flere bom. Bunnpartiet har riss og begynnende utsprengning flere steder, blant annet på hjørnene.

**Tak:** Oversikt over undersøkte lokaliteter.

Målinger Lokalitet	karbonatisering [mm]	Overdekning målt i striper på betongoverflate [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt]
Lokalitet nr. 2. Tak Plass nr. 1-102	26 – 30	15 (monteringsjern) 20 – 25 (bærearmering)	dybde 00 – 40 mm: 0,1%
Tak plass 11-302 (lagt inn fra brannsted)	25-30 Målt på betong kjerne	10 (monteringsjern) +/- 20 feltarmering	dybde 00-10mm: 0,2 dybde 10 -20mm: 0,1 dybde 20 -30mm: 0,1
Tak plass 11-402 (lagt inn fra brannsted)	22	10 (monteringsjern) +/- 20 feltarmering	dybde 00-10mm: 0,1 dybde 10 -20mm: 0,1 dybde 20 -30mm: 0,1
Tak plass 11-403	>40	18-24	dybde 00 – 40 mm: 0,1%

**Kommentarer:**

Lokalitet nr.2: Malt. Tilfeldig valgt. Ikke bom. Avdekket et riss som følger monteringsjern med 15 mm overdekning. Opphugning avdekker tydelig overflaterust på dette jernet, men ikke kakedannelse av rust.

Tak plass 11-403, malt tak, kunne se spor t tak der armeringen var plassert over.

**Gulv (tilfluktsromsdekke):** Oversikt over undersøkte lokaliteter.

Målinger Lokalitet	karbonatisering [mm]	Overdekning målt i striper på betongoverflate [mm]	Kloridinnhold [vekt% av sementvekt]
Lokalitet 4, gulv, kjørebane Utenfor plass 5 – 302	2 – 3	30 – 32 (øvre lag) 42 – 50 (neste lag)	dybde 00 – 10 mm: 2,4% dybde 10 – 20 mm: 3,0% dybde 20 – 30 mm: 4,3% dybde 30 – 40 mm: 4,3% dybde 40 – 50 mm: 4,3% dybde 50 – 60 mm: 3,9%
Lokalitet 5, gulv. Biloppstillingsplass Plass 5 – 202	2 – 3	7 – 17 (øvre lag) 39 – 44 (neste lag)	dybde 00 – 10 mm: 1,6% dybde 10 – 30 mm: 1,9% dybde 30 – 40 mm: 1,3% dybde 40 – 50 mm: 1,3% dybde 50 – 60 mm: 1,3% dybde 60 – 70 mm: 1,3%

**Kommentarer:**

Lokalitet nr.4: Valgt pga. hull i asfalt i kjørebane (ca. 20 x 40 cm) med tilkomst til betongoverflaten. Ingen tegn til membran under asfalten. Hammerbanking på betongoverflaten avdekker bom. Hammerbanking på asfalten i og rundt lokaliteten avdekker også massivt omfang med bom. Armeringen ligger tett da dette er et tilfluktsromsdekke. Kloridinnholdet for sjiktene ned i betongen er ekstremt høye og er høyere i kjørebane der alle bilene i hele garasjen kjører.

Lokalitet nr.5: Valgt pga. nedbrutt asfalt med tilkomst til betongen. Massivt omfang med bom på betongoverflaten. Ingen tegn til membran under asfalten. Flere betongutsprengninger langs armeringsjern utenfor søyle. Rustutslag på overflaten. Sjikt nr. 2 i kloridprofilen tatt i dybde 10 – 30 mm, ikke 10 – 20 mm som planlagt pga. en delaminering ca. midt i sjiktet. Kloridinnholdet er høyt nok til å gi armeringskorrosjon. For begge kloridprofilene i lok. 4 og 5 avtar ikke kloridinnholdet for dybder over 30mm.

Hammerbanking på asfalten i området rundt lokaliteten avdekker massivt omfang med bom. Registrerer flere steder der armeringskorrosjon har sprengt løs både betong og asfalt.



**Kloridanalyser**

PROSJEKT: Bjørnebærstien 1 – 13

OPPDRAGSGIVER: Bjørnebærstien Huseierforening

MÅLEMETODE: Syreuttrekk av betongstøv, nøytralisert, og målt med Quantab. – strips.

QUANTAB KONTROLLNR.: A1315 (Nedre deteksjonsgrense er 30mg Cl- / l, øvre grense 643 mg Cl- / l Verdier under/ over disse grensene er ekstrapolerte verdier).

ANTATT SEMENTMENGDE: 280 kg pr. m<sup>3</sup> betong.

Rester av prøvematerialet blir lagret i 3 uker etter at resultatene foreligger, dersom ikke annet er avtalt.

Prøvenummer og lokalitet	Innveid mengde betong	Avlest Quantab	Mengde Cl- (mg/l)	% Cl- av betongvekt	% Cl- av antatt sementvekt
1. Lok 1, søyle bunn p. 1-102, 0 - 20 mm	10	7,8	643	0,322	2,6
2. Lok 1, søyle bunn p. 1- 102, 20 - 40 mm	10	7,2	511	0,256	2,0
3. Lok 1, søyle brysth p.1-102, 0 - 40 mm	10	1,0	20	0,010	0,1
4. Lok 2, tak, p. 1-102, 0 - 40 mm	10	1,0	20	0,010	0,1
5. Lok 3, vegg bunn, p. 3-402, 0 - 25 mm	10	3,4	117	0,059	0,5
6. Lok 3, vegg bunn, p. 3-402, 25 - 50 mm	10	3,6	129	0,065	0,5
7. Lok 3, vegg brysth, p. 3-402, 0 - 40 mm	10	1,0	20	0,010	0,1
8. Lok 4, gulv kjørebane, 0 - 10 mm	10	7,6	594	0,297	2,4
9. Lok 4, gulv kjørebane, 10 - 20 mm	10	8,2	756	0,378	3,0
10. Lok 4, gulv kjørebane, 20 - 30 mm	10	9,0	1066	0,533	4,3
11. Lok 4, gulv kjørebane, 30 - 40 mm	10	9,0	1066	0,533	4,3
12. Lok 4, gulv kjørebane, 40 - 50 mm	10	9,0	1066	0,533	4,3
13. Lokk 4, gulv kjørebane, 50 - 60 mm	10	8,8	978	0,489	3,9
14. Lok 5, gulv p.plass, 0 - 10 mm	10	6,6	412	0,206	1,6
15. Lok 5, gulv p.plass 10 - 30 mm	10	7,0	475	0,238	1,9
16. Lok 5, gulv p.plass 30 - 40 mm	10	6,0	333	0,167	1,3
17. Lok 5, gulv p.plass 40 - 50 mm	10	6,0	333	0,167	1,3
18. Lok 5, gulv p.plass 50 - 60 mm	10	6,0	333	0,167	1,3
19. Lok 5, gulv p.plass 60 - 70 mm	10	6,0	333	0,167	1,3
20. Lok 6. vegg bunn, 0 - 20 mm	10	4,8	214	0,107	0,9
21. Lok 6, vegg bunn, 20 - 40 mm	10	4,8	214	0,107	0,9
22. Lok 7, søyle bunn, 0 - 20 mm	10	7,0	475	0,238	1,9
23. Lok 7, søyle bunn, 20 - 40 mm	10	8,0	696	0,348	2,8
24. Lok 7, søyle brysth, 0 - 40 mm	10	1,0	20	0,010	0,1

Analysert av PØH, 16 – 18.okt 23

## VEDLEGG 4 - Armeringskorrosjon i betong

### HVA ER BETONG OG HVORFOR BRUKES ARMERING

Betong består av hovedkomponentene:

- Sand / stein
- Sement
- Vann

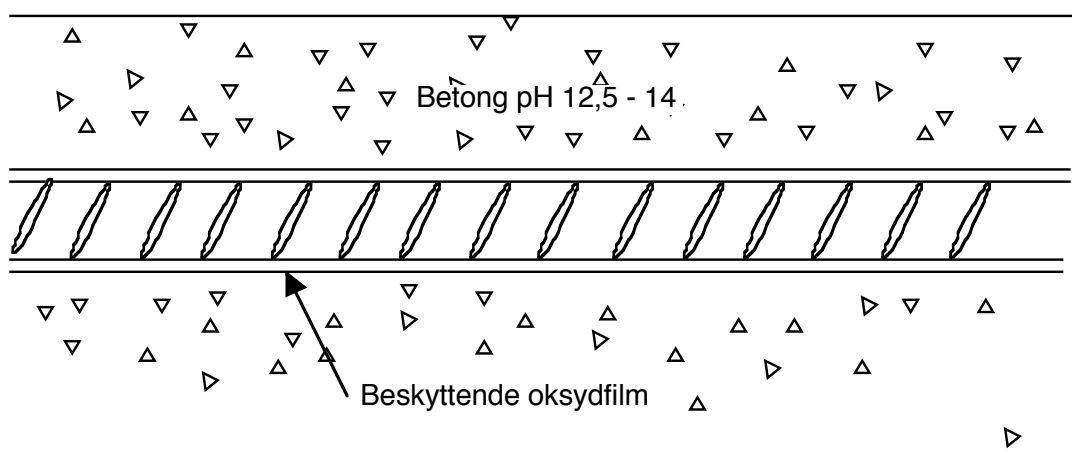
Når disse komponentene er blandet, fylles de vanligvis i en forskalingsform som rives når betongen er blitt sterk nok. Det som gir betongen styrke, er at vann og sement går sammen og danner en såkalt "sementpasta" som omslutter sand og stein. Denne prosessen kalles "herding" av betong.

Betong er et gammelt kjent bygningsmateriale. Slottet i Oslo ble oppført rundt 1850 og søylene på slottsbalkongen er av betong uten armering. Disse har et langt større tverrsnitt enn dagens betongsøyler hvor det er lagt inn jernstenger.

Etter ca. 1900 begynte man å legge inn jernstenger i betongen, og det er dette som kalles "armert betong" eller forsterket betong. Grunnen til dette er at betong tåler stor trykkbelastning og forholdsvis lave strekkrefter. Ved å legge inn jernstenger hvor betongen er utsatt for strekkrefter, er det mulig å lage betydelig slankere søyler og større spennvidder av dekker og bjelker.

Jernstenger som ligger ute begynner å ruste. Når jernstenger støpes inn i betong, blir de naturlig beskyttet av sementpastaen som har et såkalt basisk miljø, med pH - verdi 12,5 - 14 (nøytralt er pH = 7.) I dette miljøet med den høye pH - verdien, dannes det naturlig en tynn usynlig "hinne" som består av en oksydfilm på jernoverflaten. Denne filmen gir så god beskyttelse at jernet i praksis er evigvarende. Dette er vist på skissen som følger hvor oksydfilmen er markert:

### LUFT



Skisse nr. 1. Armering i betong omgitt av en tynn beskyttende film som er markert



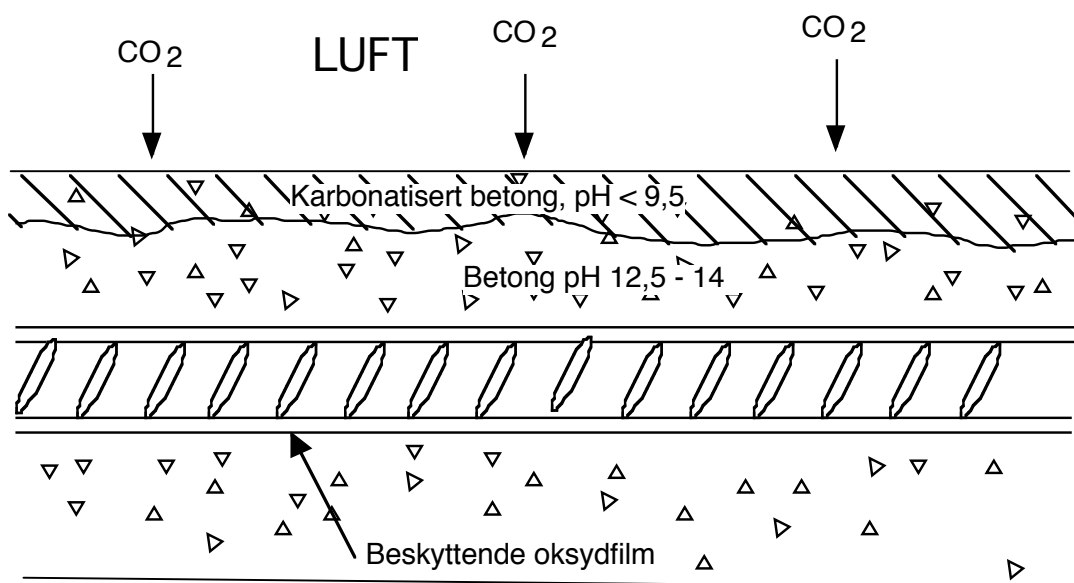
## HVORDAN OPPSTÅR ARMERINGSKORROSJON I BETONG ?

Selv om betong i utgangspunktet er et bestandig bygningsmateriale, erfarer vi at det oppstår nedbrytning av armert betong. Av nedbrytning er armeringskorrosjon den mest vanlige. Korrosjon oppstår når den beskyttende oksydfilm brytes ned. Det er to hovedårsaker til at denne filmen brytes ned slik at det oppstår armeringskorrosjon:

- Karbonatisering
- Klorider

### Karbonatisering

Vanlig betong er et porøst materiale som består av små porer og et nettverk av små sammenhengende ganger. Dette gjør at luft kan trenge inn i betongen. En bestanddel av luften er karbondioksyd ( Kjemisk betegnelse  $\text{CO}_2$  ) og denne lager en "karbonatforbindelse" med betongen, derav navnet "karbonatisering". Dette medfører at betongen blir forsuret slik at pH - verdien synker fra 12,5 - 14 til under 9,5. På skisse nr. 2 som følger har karbonatiseringen foregått i det skraverte sjiktet i overflaten.



Skisse nr. 2. Det skraverte sjikt i overflaten er karbonatisert.

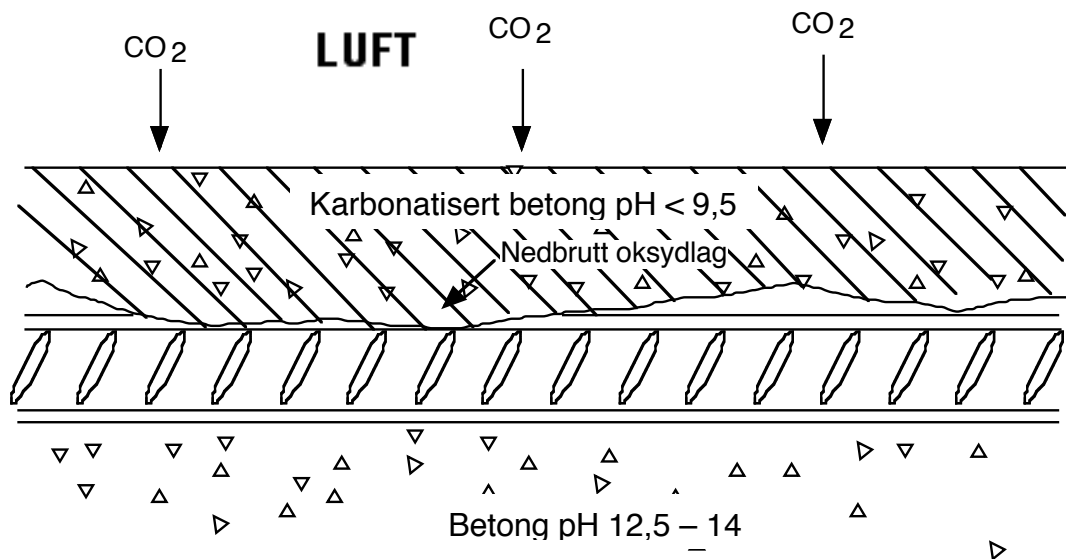
Skille mellom den karbonatiserte betong som er skravert på skisse nr. 2 og betongen under som ikke er påvirket, sees lett ved å bruke en spesiell indikatorløsning (fenolftalein). Dette gjøres ved å sprøyte løsningen på en fersk bruddflate i betongen. Karbonatisert betong (skravert) beholder sin naturlige grå- farge, mens betongen som er upåvirket blir rødlilla.

Tilstanden som vist på skisse nr. 2 har ingen betydning for armeringen. Når det gjelder betongen blir denne sterkere da dannelsen av karbonat fyller porene i betongen.

Med tiden vil fronten mellom karbonatisert betong og frisk betong bevege seg videre innover. Karbondioksyd fra luften vil stadig få lengre vei inn til fronten og dette medfører at prosessen går saktere og saktere. Av denne grunn er det viktig at armeringen plasseres slik at

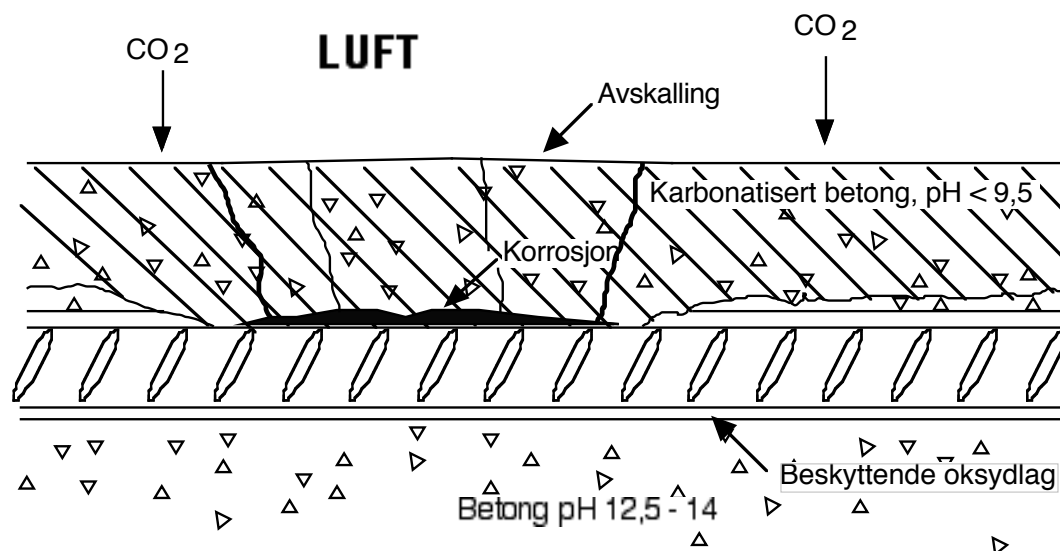
overdekningen tilsvarer anbefalingene som stilles i Norsk Standard, da det i standarden er nedfelt en bred erfaring med tanke på bestandighet.

Når karbonatiseringen når armeringsjernet, brytes beskyttelsesfilmen ned, som vist på skisse 3.



Skisse nr. 3. Karbonatisering har nådd armeringen og beskyttelsesfilmen er nedbrutt.

Når jernet har mistet sin beskyttelse, ruster jernet dersom det er fukt og tilgang på luft. Dette er tilfelle for utendørs konstruksjoner. Rust dannes av jern og luft og det opptar et volum som er flere ganger større enn opprinnelig jern. Dannelse av rust fører derfor til at det oppstår sprengkrefter mellom armering og betong og resultatet sees som avskallet betong over armeringsjernet. Dette er vist på skisse nr 4.



Skisse nr. 4. Nedbrutt film og dannelse av rust på armeringen. Rusten sprenger løs betongen.

Karboniseringshastigheten er svært avhengig av betongkvalitet. Det er viktig at det brukes minst mulig vann i forhold til sementmengden. Forholdet er slik at jo mer vann det brukes, jo mer porøs og åpen blir betongen. Dette kommer av at overskuddsvann vil etterlate seg hulrom i betongen når den tørker. På sementsekkene er de trykket en oppfordring om å spare på vannet når en lager betong.

## Klorider

Selv om betongen ikke er karbonatisert, kan den beskyttende film på jernoverflaten brytes ned. Dette skjer dersom betongen rundt jernet har et kloridinnhold over en bestemt mengde. Det har vist seg at denne mengden varierer fra konstruksjon til konstruksjon i de ulike miljø.

Dersom en tar utgangspunkt i Norsk Standard 3420, som gjelder i dag, anbefales at kloridinnholdet i betong som lages skal være lavere enn 0,4 vekt % av sementmengden.

Klorider i betong er tilsatt som salt ved støping for å unngå frost om vinteren. Samtidig oppnås en akselererende herding av betongen. Ellers kommer salt inn i betongen utenfra, enten ved salting, eller saltvann i marint miljø.

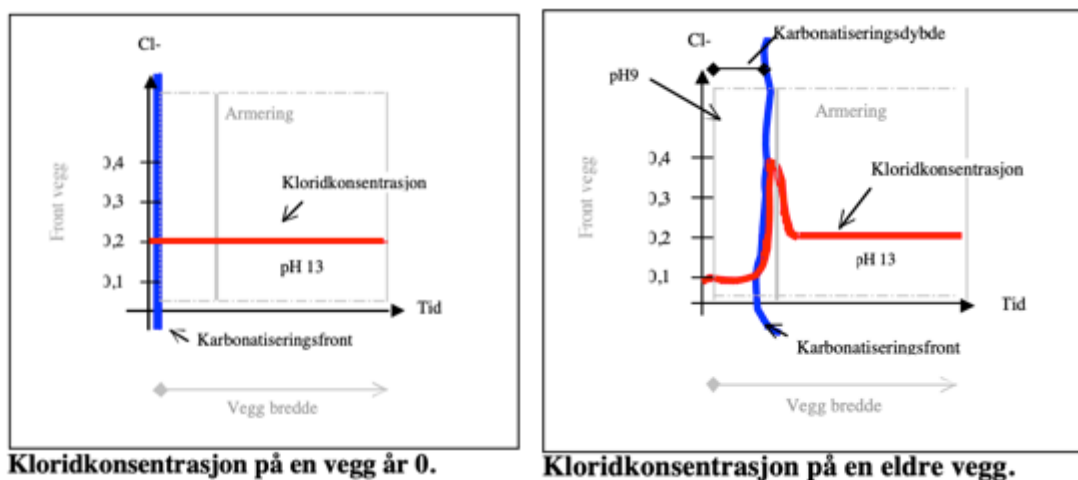
Når korrosjon (rust) på jern oppstår pga klorider oppstår det markerte gropdannelser på jernet. (av mange betegnet pitting).

Korrosjon som oppstår pga klorider, medfører et mye større problem enn karbonatisering.

## Karbonatisering + klorider

For konstruksjoner der karbonatiseringsdybden er i ferd med å nå, men ikke har nådd, armeringen er det funnet armeringskorrosjon selv ved så lave kloridkonsentrasjoner som 0,2 vekt % av sementvekten. Årsaken til dette er at kloridene naturlig anrikes i den friske betongen like foran karbonatiseringsgrensen. Denne kombinasjonen av karbonatisering og klorider øker faren for armeringskorrosjon betydelig.

Som figuren til venstre under viser er kloridinnholdet likt i hele konstruksjonen dersom det er tilsatt klorider i støpeprosessen. Karbonatiserings-fronten sammenfaller med veggens yterflate fordi forskalingen tetter til slik at det ikke kommer karbondioksid i kontakt med betongflaten. Når forskalingen fjernes vil det normalt oppstå en karbonatisering av de første 1 – 3 mm betong målt fra yttersiden. Deretter beveger karbonatiseringsfronten seg langsomt innover i konstruksjonen, avhengig av betongkvalitet, overflatebehandling og fuktinnhold.



Etter noen år vil karbonatiseringsfronten ha trengt dypere inn i betongen. Kloridene er ikke en del av reaksjonen som kalles karbonatisering, men blir dyttet videre inn i

betongen på grunn av prosessen. Det oppstår en opphopning (bølge) av klorider ved karbonatiseringsfronten. Klorid-innholdet før og etter ”bølgen” er så lavt at det alene ikke vil initiere korrosjon.

I den perioden armeringen ligger i området med høyest kloridinnhold, som vist på figuren til høyre på forrige side, er det et risiko for at det oppstår armeringskorrosjon. Når korrosjon først er igangsatt har jernet vesentlig lavere terskel for videre korrosjon selv om kloridinnholdet er lavt. Samtidig har man ikke lenger den korrosjonsbeskyttelsen betongen gav før den ble karbonatisert.

## **HVORFOR ER ARMERINGSKORROSJON ET PROBLEM?**

Som tidligere nevnt skal armeringen oppta strekkraftene for betongen. Armeringsstengene er derfor plassert i strekksonene.

I første fase er armeringskorrosjon av estetisk art ved at en ser enkelte korroderte jern. Etter hvert vil korrodert armering sprengte løs betongbiter, og dette kan for eksempel føre til personskaade dersom betongbiter faller ned hvor det ferdes mennesker.

Etterhvert som korrosjonsprosessen skrider frem, vil armeringen miste sitt tverrsnitt slik at det er fare for bæreevnen.

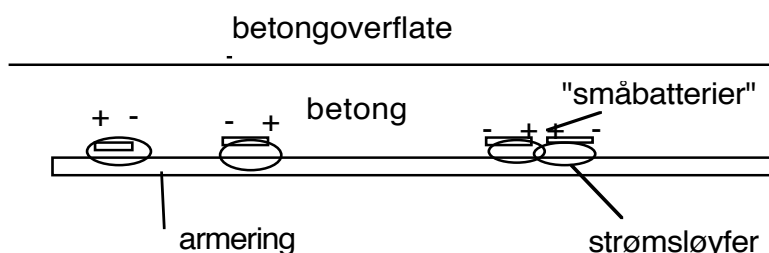
## VEDLEGG 5

### Katodisk beskyttelse av armert betong

Der armeringen ligger i betong med høyt kloridinnhold må det gjøres spesielle tiltak dersom en ønsker å stoppe fremtidig armeringskorrosjon.

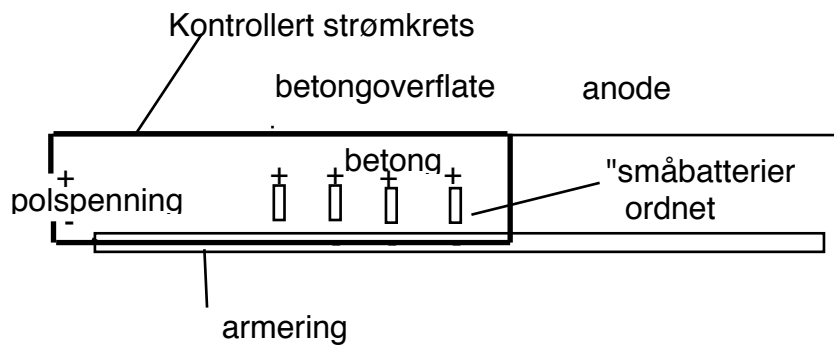
I prinsipp består en korrosjonsprosess av strømmer av ladninger mellom ulike områder på armeringen og disse områdene ligger "hulter til bulter" på ståloverflaten. Dette kan sammenlignes med mange batterier der det løper strøm mellom polene på batteriet. Dette betyr at det går destruktive og ukontrollerbare strømmer på armeringen, og dette fører til korrosjon som kan sprengte løs betongsjiktet over armeringen. Det kan også dannes dype groper i armeringen ( pitting ). Prinsippet er vist på skisse 1:

Skisse 1 som viser prinsippet for ukontrollert korrosjon på armeringen



Det finnes i praksis kun en metode for å kontrollere disse destruktive strømmene på armeringen i betong. Dette gjøres ved å påtrykke en tilsvarende batterispenning mellom armeringen og et elektrisk ledende spesialmateriale som plasseres i betongen eller påføres betongoverflaten. Ved bruk av den omtalte spenning som kan sammenlignes med en påtrykt kraft, presses alle batteriene inn i et ordnet mønster slik at armeringen blir en enhetlig negativ pol ( katode ), mens det elektrisk ledende materialet blir den positive pol ( anode ). Det er i prinsippet gjort, er at områdene som rustet flyttes over til anoden som er laget bestandig mot oppløsning i motsetning til armeringstål. Dette kalles katodisk beskyttelse ( KB ) av armering i betong. Prinsippet er vist på skissen nedenfor hvor en får ordnet «småbatteriene» slik at en får kontroll over korrosjonen:

Skisse 2 viser prinsippet for katodisk beskyttelse på armeringen



Alternativt kan en velge mekanisk reparasjon ved meisling av armert betong. Dette vil medføre et stort meislingsomfang fordi den kloridinfiserte betongen må fjernes. Dersom man kun meisler synlige skader, viser erfaring at det vil oppstå nye skader i randsonene av reparasjonene.

Vi har sett mange forsøk på å legge en tett membran eller støpeasfalt over garasjedekker der betongen har et høye kloridinnhold. Dette vil hindre at betongen blir tilført fukt og veisalt, men all erfaring viser at dette ikke stopper videre korrosjon. Betongen inneholder mer enn nok fukt og oksygen slik at korrosjonen på armeringen fortsetter.

Teknisk sett er derfor katodisk beskyttelse (KB) av armeringen i kloridholdig betong den beste metoden for å hindre armeringskorrosjon.