

# Betongskador

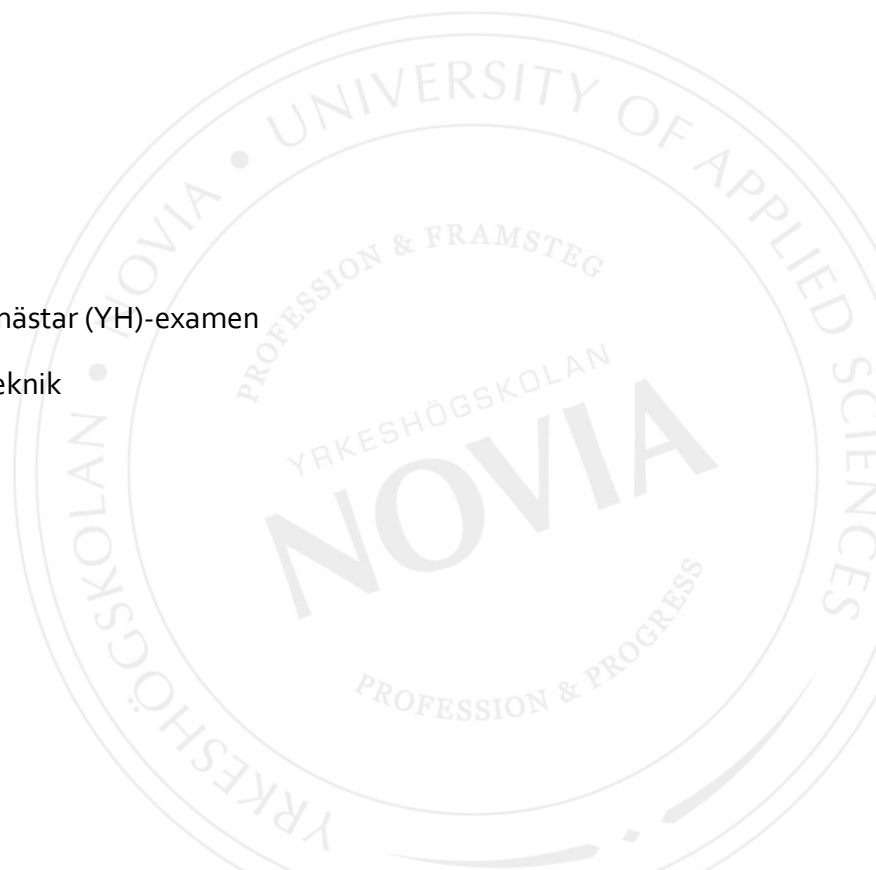
## Studie av skadad betongbalk

Patrik Grankulla

Examensarbete för byggmästar (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Vasa 2022



## EXAMENSARBETE

Författare: Patrik Grankulla

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Vasa

Handledare: Anders Borg, Yrkehögskolan Novia

Titel: **Betongskador-undersökning av olika betongskador**

---

Datum                      Sidantal 36

---

### Abstrakt

Detta examensarbete är uppdelat i en teoretisk-, studiedel och ett praktiskt exempel gällande en skadad betongflänsbalk och en skadad pelare. Det handlar om en undersökning av olika betongskador som kan uppstå av yttre påverkningar så som korrosion, spjälkning och momentbrott. I undersökningen har det retts ut vilka skador som förekommer, sedan av vilka orsaker de har uppstått och hur man kunnat minska eller förhindra dem. Det finns otaliga olika skadetyper inom betongbranschen som uppstår endera i gjutningsskedet eller senare av olika orsaker. För att arbetet inte skulle bli så brett så begränsades det till några huvudrubriker.

Syftet med studien var att min kunskap inom området skulle breddas och leda till en bättre förståelse för skaderisker på betongkonstruktioner, vilket behövs när man jobbar som arbetsledare inom byggnadsbranschen.

Studien gick ut på att söka material bland annat via Theseus, men också via Google spåra upp liknande studier runtom i Norden som publicerats i form av tidskrifter, examensarbeten, eller andra undersökningen som gjorts på olika universitet. Materialet som användes för studierna hittades i Finland, Sverige och Norge.

Det praktiska exemplet gav också mer insikt i hur korrosion på några år kan förstöra en betongbalk när den får pågå obehindrat. Genom att alltid planera noga alla arbetsskeden kan man förhindra många skador som påför onödiga kostnader.

---

Språk: svenska

Nyckelord: korrosion, frostsador, betongskador, krypning

---

# OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Patrik Grankulla

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Vasa

Ohjaaja(t): Anders Borg, Novia

Nimike: **Betonin vauriot-erilaisten betonin vaurioiden tutkimus**

---

Päivämäärä

Sivumäärä 36

Liitteet 0

---

## Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on jaettu tutkimuksen teoreettiseen osaan ja käytännön esimerkkiin vaurioituneesta betonilaippapalkista ja vaurioituneesta pilarista. Kyse on erilaisten betonivaurioiden tutkimisesta, joita voi esiintyä ulkoisista vaikutuksista, kuten korroosiosta, halkeilusta ja vääntömomentin rikkoutumisesta. Tutkimuksessa on selvitetty, minkälaisia vaurioita esiintyy, minkä takia ne esiintyvät ja miten niitä on voitu vähentää tai estää. Betoniteollisuudessa on lukemattomia erityyppisiä vaurioita, joita esiintyy joko valuvaiheessa tai myöhemmin eri syistä. Jotta työ ei olisi niin laaja, se rajoittui muutamaaan pääotsikkoon.

Tutkimuksen tarkoituksena oli laajentaa tietämystä alalta ja johtaa parempaan ymmärrykseen betonirakenteiden vaurioitumisriskeistä. Tätä tietämystä ja ymmärrystä tarvitaan rakennusalan esimiehen tehtävässä.

Tutkimuksessa etsittiin aineistoa muun muassa Theseuksen kautta, mutta myös Googlen kautta jäljitettiin vastaavia tutkimuksia eri puolilla Pohjoismaita, joita on julkaistu lehtien, tutkintoprojektien tai muiden eri yliopistoissa tehtyjen kyselyjen muodossa. Tutkimuksessa käytetty aineisto löytyi Suomesta, Ruotsista ja Norjasta.

Käytännön esimerkki antoi myös enemmän tietoa siitä, kuinka korroosio muutamassa vuodessa voi tuhota betonipalkin, kun sen annetaan jatkua esteettömästi. Suunnittelemalla aina huolellisesti kaikki työvaiheet voidaan estää monia vaurioita, jotka aiheuttavat tarpeettomia kustannuksia.

---

Kieli: ruotsi

Avainsanat: korroosio, pakkasvauriota, betonin vauriot, creep

---

# BACHELOR'S THESIS

Author: Patrik Grankulla

Degree Programme: Construction Engineering, Vaasa

Supervisor(s): Anders Borg, Novia

---

Title: **Research of Various Types Concrete Damages**

---

Date                      Number of pages 36

---

## Abstract

This thesis is divided into a theoretical part of the study and a practical example concerning a damaged concrete flange beam and a damaged pillar. It is an investigation of various concrete damage that can occur from external influences such as corrosion, splitting, and torque breakage. In the investigation, it has been clarified what injuries occur, then for what reasons they have occurred, and how it has been possible to reduce or prevent them. There are countless different types of damage in the concrete industry that occur either at the casting stage or later for various reasons. In order for the work not to be so broad, it was limited to a few main headings.

The purpose of the study was to broaden my knowledge in the field and lead to a better understanding of injury risks on concrete structures, which is needed when working as a supervisor in the construction industry.

The study consisted of searching for material via Theseus, among other things, but also via Google tracking down similar studies around the Nordic region that have been published in the form of journals, degree projects, or other surveys conducted at different universities. The material used for the research was found in Finland, Sweden, and Norway.

The practical example also provided more insight into how corrosion can destroy a concrete beam in a few years when it is allowed to go on unhindered. By always carefully planning all stages of work, you can prevent many injuries that impose unnecessary costs.

---

Language: Swedish              Keywords: corrosion, frost damage, concrete damage, creep

---

# Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	Egna erfarenheter .....	1
1.2	Betonganvändning och egenskaper .....	2
1.3	Syftet med min studie .....	2
1.4	Avgränsningar .....	2
2	OLIKA TYPER AV SKADOR.....	3
2.1	Korrosion i armeringsstålet.....	3
2.1.1	Karbonatisering.....	5
2.1.2	Kloridinträngning.....	6
2.2	Frostskador .....	8
2.2.1	Frostskador som uppkommit under betongens bearbetningstid .....	8
2.2.2	Åtgärder som förhindrar frostskador .....	9
2.3	Värmeskador som orsakats av brand.....	10
2.3.1	Spjälkning i betongen förorsakad av hög värme .....	11
2.4	Belastningsskador .....	12
2.4.1	Skjuvningsbrott.....	13
2.4.2	Skador förorsakad av nedböjning .....	13
2.4.3	Betongkrypning.....	14
3	UNDERSÖKNINGSMETODER.....	15
3.1	Besiktning i förebyggande syfte.....	15
3.2	Mätmetoder för korrosion i armeringen och karbonatiseringsdjupet i betongen.....	15
4	ETT EXEMPEL PÅ SKADAD BETONGKONSTRUKTION.....	18
4.1	Överbelastad balk och pelare .....	18
4.1.1	Balkens skador.....	19
4.1.2	Skador på stödmomentet.....	20
4.2	Undersökningsmetod.....	21
4.2.1	Kartläggning av skadan.....	22
4.2.2	Provbörning i pelaren.....	22
4.2.3	Provbörning i flänsbalken. ....	23
4.2.4	Analys av provcylindrar .....	24
4.2.5	Mätning av karbonatiseringsdjupet enligt SFS-EN 14630.....	28
4.2.6	Kloridmätning.....	29
4.2.7	Pikning av lösa betongflak.....	30
4.3	Åtgärd .....	31
4.3.1	Kolfiberförstärkning.....	31

4.3.2	Ingjuten vinkelprofil.....	31
4.3.3	Samverkande stålkonstruktion.....	31
4.4	Tillvägagångssättet .....	32
5	RESULTAT.....	33
6	SAMMANFATTNING.....	34
7	KÄLLOR.....	35

# 1 INLEDNING

Våren 1992 kom jag ur grundskolan fastbesluten om att jag skulle börja jobba för mitt levebröd. Min personlighet passade inte in i den teoretiska skolvärlden. Vad jag inte förstod i den unga åldern, var att en stor lågkonjunktur låg som en stor varböld över hela landet. Antalet företag jag sökte jobb hos blev inte dokumenterat, men de var ett stort antal. Svaren varierade mellan att de har knappt jobb åt de nuvarande, vi har redan permitterat en del eller så hade de sökts i konkurs.

Med facit i hand så borde jag ha fortsatt i med en andrastadiets utbildning under de tuffa åren. Jag är övertygad om att den tiden fick mig att inse att utbildning inte är överflödigt och onödigt. Tankar kom och gick genom åren att en utbildning skulle vara intressant, jag ville ha revansch på min skolgång.

Våren 2019 ansökte jag till Novias byggmästarutbildning, jag hade då jobbat inom byggnadsbranschen i ca. 12 år. Jag började studera till hösten därpå med stor iver och beslutsamhet.

## 1.1 Egna erfarenheter

I min examen kommer jag att behandla olika betongskador som kan uppstå i en konstruktion av olika orsaker. Anledningen till att jag har valt betongskador som ämne har sin grund i att jag största delen av mitt arbetsliv har jobbat med betong. Jag har jobbat med betongleveranser, elementgjutning både i Finland och Norge, sen har jag varit kund åt betongleverantörer i många år. Där jag har format och gjutit alla typer av betongkonstruktioner, allt från grundsulor till kraftverksväggar åt biogasanläggningar.

Jag har varit i kontakt med gjutningar med färskbetong i olika temperaturer och väderleksförhållanden, samt reoveringar av gamla byggnader där man använt sig av de betongkonstruktioner som hört till det tidevarvet. Jag har också observerat på vilket sätt betongen tagit skada vid till följd av att man eftervårdat betongen på fel sätt vilket lett till skador i konstruktionen. Jag har också vid sanering av gamla byggnader upptäckt hur dåligt täckskikt runt armeringsstålet kan bidra till skador på konstruktionerna. Dessa iakttagelser har skapat ett intresse för att grundligt forska i olika skador och dess orsak. Därför blev det nästan genast klart för mig att mitt examenarbete skall vara en undersökning i dessa saker.

## **1.2 Betonganvändning och egenskaper**

I byggnadsbranschen har det använts stor mängd betong i olika konstruktioner genom åren. Ännu idag så är det en produkt som används i stor utsträckning. Enligt (Betoniteollisuus ry, 2020) används det ca 5 miljoner kubikbetong varje år i Finland. Omkring 45 % av egnahemshusens grund bestod av betong.

Man kan konstatera att kraven har gått framåt på betongsidan vad gäller utförandet av armering, täckskikt och gjutning. Om man ser på många gamla byggnader i betong så kan utförandet vara så illa att konstruktionerna har tagit skada genom åren.

Det har forskats mycket, och forskas mer eller mindre hela tiden, i betongens egenskaper och miljöpåverkningar. Man har kommit fram till att klorider påverkar betongen och armeringen mer än man tidigare kunnat ana. Vid havskusten där saltvatten stänker hela tiden och på vägbroar här uppe i Norden där vägsalter används, blir betongen angripen av klorider. Detta leder till skador.

## **1.3 Syftet med min studie**

Syftet med mitt examensarbete var att få en bättre förståelse av betongens reaktion i olika förhållandena. Jag ville få en bättre förståelse av hur betongen kan ta skada ifall man inte gör de rätta valen vad gäller betongsort och hur man eftervårdar betongen. Jag behövde känna till vilka kraven är i olika situationer för att kunna bibehålla betongkonstruktionens hållfasthet.

En del av syftet med min studie om betongskador hänför sig till ett eget exempel som behandlas i kapitel 4. Där undersöks en balk och pelare som blivit utsatta för överbelastning och klorider som lett till allvarlig korrosion i armeringen.

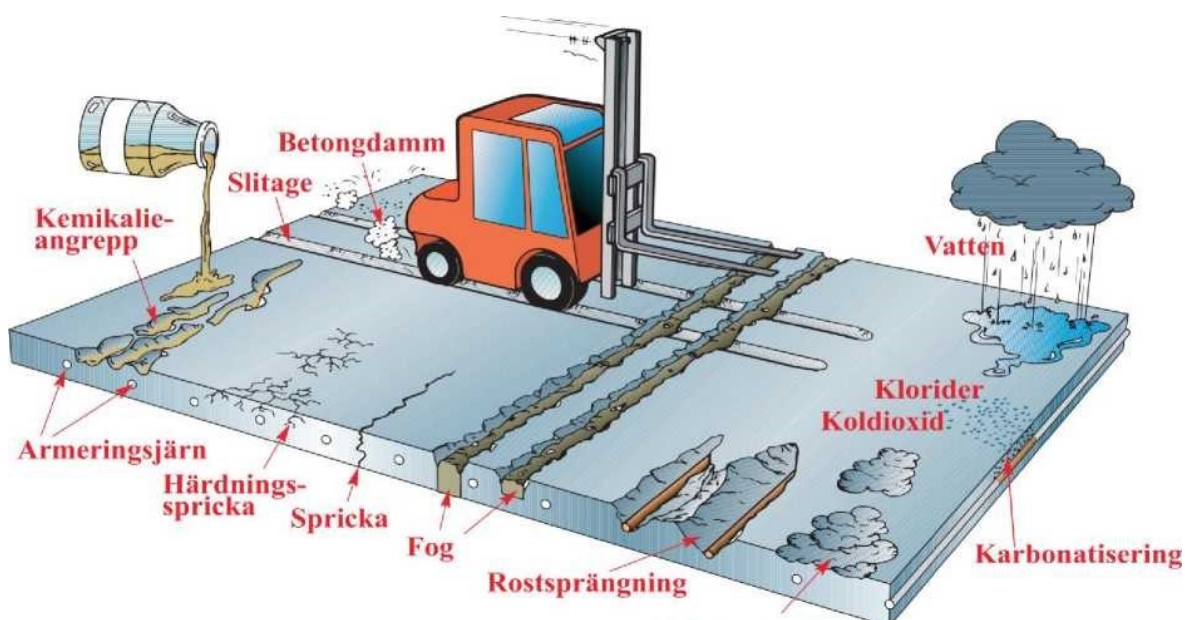
## **1.4 Avgränsningar**

För att min undersökning inte skulle bli så bred, så beslöt jag i samråd med min handledare Anders Borg att behandla i huvudsak fyra olika skadetyper. I och med att det finns otaliga typer av skador inom betonganvändning, så hade ett brett område lett till att mitt arbete blivit ganska ytligt. De flesta av de områden vi valde berör även mitt eget case i kap. 4.



## 2 OLIKA TYPER AV SKADOR

Skador i betongkonstruktioner kan uppstå av många olika orsaker. En del betongskador är bestämda till en viss tidsålder, eller ett byggnadssätt som var vanligt vid en viss tidsperiod. Andra skador kan härledas till olika yttre omständigheter så som till exempel extremt höga eller låga temperaturförhållanden under härdningsprocessen. Skador kan också uppstå ifall en konstruktion belastas i ett allt för tidigt skede, det vill säga om betongen inte hunnit uppnå tillräcklig hållfasthet. Betongkonstruktioner kan också ta skada av överbelastning under både längre och kortare perioder. Skador i betongkonstruktioner kan även vara stora efter den blivit utsatt för brand. Figur 1 här under visar de vanligaste skador som betongen kan bli utsatt av. Men i den här undersökningen så kommer ett begränsat antal skador att behandlas. (Manouchehr, 2014, ss. 5-11).



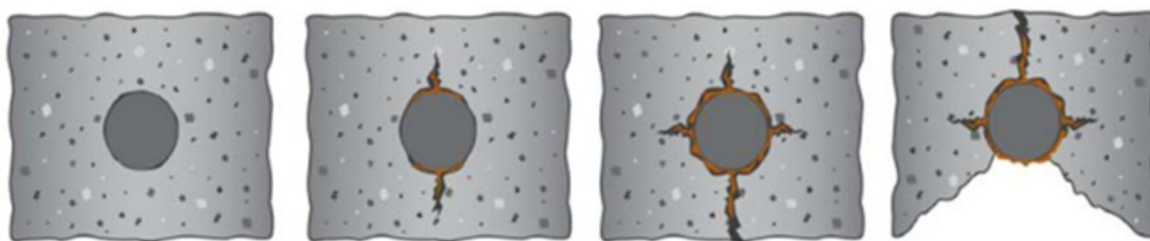
Figur 1. En sammanfattning av olika typer av betongskador. (Thörn, u.d.)

### 2.1 Korrosion i armeringsstålet

Korrosion innebär att armeringsstålet börjat rosta pga. att den blivit utsatt för fukt och syre. Det i sin tur leder till att armeringen får en större volym som förorsakar sprickor i konstruktionen. Efter att det uppstått sprickor i betongen så ger det mer utrymme för vatten att tränga in på armeringen som då rostar allt snabbare. Får det fortgå så kommer betongen att spjälkas lös, som leder till att armeringsstålet blottas. Efter att armeringen blottas, mister den också sin infästningsförmåga i betongen. Armeringsstålet som utsätts ytterligare för

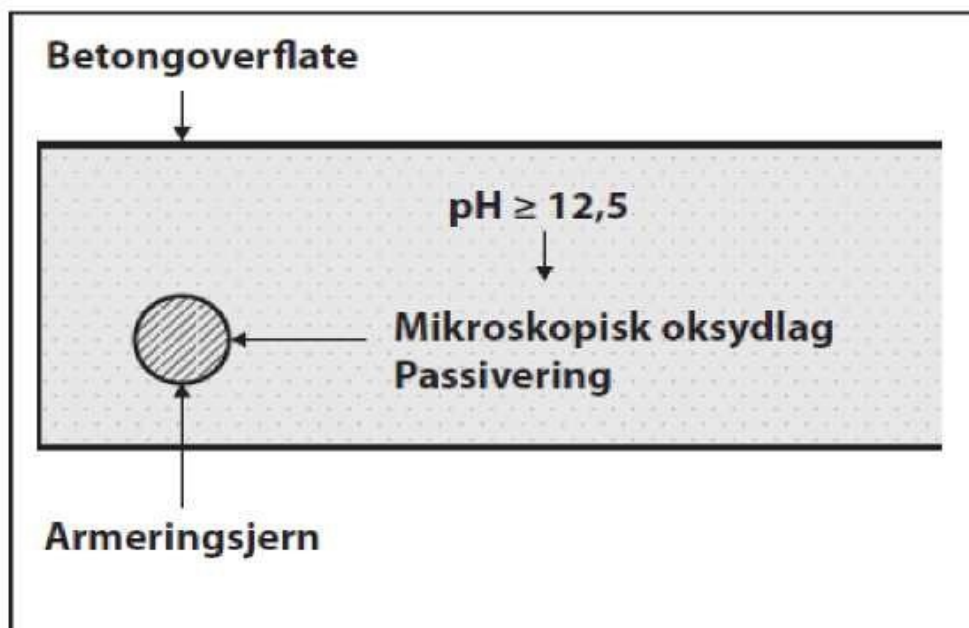
korrosion p.g.a. att den blottas får också ett minskat tvärsnitt, vilket leder till en lägre hållfasthet. (Nylund, 2015, s. 5).

Figur 2 nedan visar hur korrosion angriper armeringsstålet, som slutligen leder till att betongen spjälkas. Det som man kan se från figuren är att karbonatiseringsfronten nått fram till armeringsstålet, med den påföljd att syre och fukt kan tränga sig fram till stålet. Orsaken till att syre och fukt kan tränga in i betongen efter att den karbonatiserats, är att betongen får en porösare konsistens. Efter armeringsstålet utsätts för syre och relativ luftfuktighet över 60 % så mister den sitt skydd mot korrosion. På bild tre av figuren så ser man hur armeringsstålet börjat svälla och fått en större diameter, varpå det p.g.a. spänningar i betongen bildas sprickor som når ut till konstruktionens yta. Sista bilden ser man hur det lett till spjälkning runt armeringen som då blivit blottad. (Nylund, 2015, ss. 5, 6)



Figur 2. Bilden ovan visar korrosionens framfart. (Benic, 2017).

Korrosion är ett angrepp eller förtäring på ett material som orsakas av en kemisk och/eller fysisk reaktion mellan materialet och olika partiklar i omgivningen, med den påföljd att materialet bryts ner. På figur 3 här nere framställs en betongkonstruktion med ett armeringsstål. Stålet har ett skyddande oxidskikt runt sig så länge  $\text{pH} \geq 12,5$  (Benic, 2017, s. 21).



**Figur 3.** Illustrerar skyddslagret i form av ett oxidskikt runt armeringen. (Benic, 2017).

Rostbildning sker genom en elektronisk process med anod och katod. Vid anoden sker det en oxidation som frigör elektroner, varvid det uppstår  $\text{Fe}^{2+}$  (upplöst järn, joner). Och vid katoden sker det en reduktionsreaktion som då drar till sig elektroner och bildar hydroxidjoner ( $2\text{OH}^-$ ). En slutprodukt av en armering som utsatts för korrosion kan vara upptill 10 gånger större i volym än innan. (Benic, 2017, ss. 21, 22).

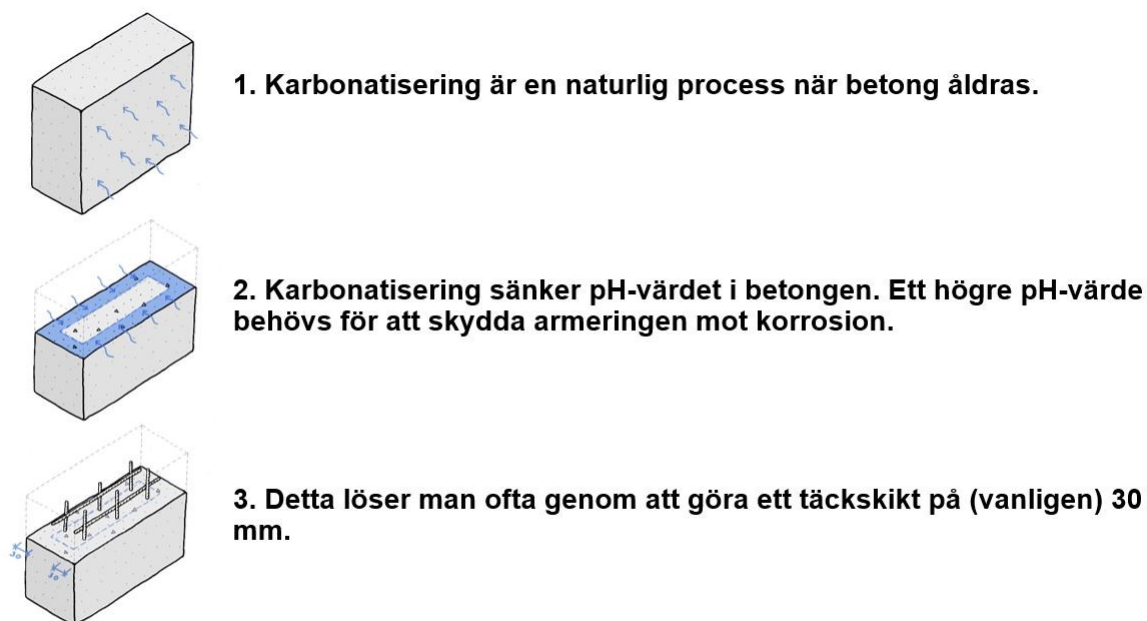
- Stål ger ifrån sig elektroner = anodreaktion
- Oxygen mottar elektroner = katodreaktion

### 2.1.1 Karbonatisering

Karbonatisering är ett naturligt sätt för betongen att åldras. Koldioxid som uppstått vid tillverkningen av cementen, som är ett bindemedel för betongen, återtas permanent ur luften. Det är en naturlig process som fortgår hela betongens existens. Enligt (källa: IVL-rapporten "CO<sub>2</sub> uptake in cement containing products") (2019 års siffror) återtas upptill 23 procent av all koldioxid som uppstår vid tillverkningen av cement tillbaka ur atmosfären. Totalt motsvarar detta 1 procent av världens totala koldioxidutsläpp eller 380 miljoner ton (2019 års siffror). (Cementa Stefan Sandelin, 2021)

Även om karbonatisering är positivt ur klimatsynvinkeln så bidrar det till ett sjunkande pH-värde i betongen. (Cementa Stefan Sandelin, 2021) Det leder till att betongen småningom förlorar sin förmåga att skydda armeringen från korrosion. Med ett tjockare täckskikt runt

armeringen som idag är normalt 30mm kan man förhindra korrosion i armeringen under en längre tid. Figur 4 nedan föreställer hur koldioxiden strömmar in i betongen. (Sjöberg, 2015).



Figur 4. Här framställer man en illustration av karboniseringsprocessen. (Cementa Stefan Sandelin, 2021).

Ett normalt pH värde i en ny betong ligger runt 12,5 men när pH värdet närmar sig 8–9 sägs det att betongen har karboniserats, och att korrosionsprocessen är igång. Armeringsstålet går då miste om oxidskiktet vilket betyder att betongen runt armeringsstålet inte längre skyddar det från korrosion. (Benic, 2017).

Armeringskorrosion som uppstått efter att karboniseringsdjupet nått fram till armeringen leder till att armeringen växer i volym. När armeringsstålet får en större diameter pga. korrosion, uppstår det sprickor i betongskiktet runt stålet med den påföljd att förankringen i betongen försvagas. Det uppstår även en stor risk till en spjälkning i betongen som då mister sin effektiva höjd i tvärsnittet, liksom armeringens tvärsnitt som också får en mindre diameter efter att den blivit utsatt för korrosion. Om denna process tillåts utan åtgärder så kommer konstruktionen att ge vika förr eller senare. (Sjöberg, 2015).

### 2.1.2 Kloridinträngning

Korrosion som förorsakas av klorider, sulfider eller bromider är betydligt allvarigare och har mer ödesdigra följder än vid karbonatisering, därför att den kan fortsätta påverka betongen egentligen hela tiden. Vid kusten där havsvatten kontinuerligt sköljer över betongen tränger saltet in i betongens kapillärer/luftporer. På samma vis händer det vid broar

och tunnlar där man vintertid använder vägsalter för vägunderhållet. Vägsaltet löses upp i kontakt med vatten och följer samma procedur som havsvattnet. (Benic, 2017) När pH-värdet så småningom sjunker, i takt med betongens åldrande, krävs mindre mängd kloridjoner för att kunna starta korrosion på armeringen. Till sist när mängden av kloridjoner är tillräckligt mycket runt armeringen, och relativ fuktighet är hög går armeringen miste om den skyddande oxidfilmen vilket resulterar i korrosion. Lokalt koncentrerad korrosion kallas gropfrätning, den är mycket farlig på en bärande konstruktion pga. att den fräter sönder armeringen varpå betongen mister sitt tvärsnitt utan att det syns på utsidan av konstruktionen. (Nylund, 2015).

**Tabell 1.** I tabellen nedan ser man olika exponeringsklasser.

### SS/EN 206-1 Miljöexponeringsklasser

	Ingen risk för korrosion eller angrepp	Korrosion som orsakats av karbonatisering				Korrosion som orsakats av klorider						Frost/tö-angrepp				Aggressiva kemiska miljöer		
						Havsvatten			Klorider som inte kommer från havsvatten									
	X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF 1	XF 2	XF 3	XF 4	XA 1	XA 2	XA 3
Maximalt v/c	–	0.65	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.45	0.55	0.55	0.45	0.55	0.55	0.50	0.45	0.55	0.50	0.45
Minsta styrkeklass	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
Minsta cementhalt (kg/m <sup>3</sup> )	–	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
Minsta lufthalt (%)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4.0a	4.0a	4.0a	–	–	–
Andra krav												Tillsatsmaterial enl. EN 126200: med tillräcklig frost/tö-beständighet				Sulfatresistent cement		

(EN 206-1 Europastandard för Betong SS, 2003)

När det handlar om rätt val av betong så behöver man välja rätt exponeringsklass för gjutningsobjektet.

- *X0 används om det inte finns risk för korrosion, ifall betongen inte innehåller några metaller. Eller armerad betongen som är i mycket torra utrymmen.*
- *XC1-4 används där armeringen utsätts för korrosion till följd av karbonatisering. Och då kan det vara allt från torrt till vått.*
- *XD1-3 används där betongarmeringen utsätts för korrosion på grund av klorider som inte kommer från havssalt. Då betongen är mer eller mindre fuktig hela tiden.*
- *XD1-3 används där havsvatten förorsakar klorider som utsätter konstruktionen för korrosion.*
- *XF1-4 används där man använder sig av tösalt, och där betongen utsätts för frostangrepp.*
- *XA1-3 används om betongen utsätts för kemiska angrepp.*

## 2.2 Frostsador

I Finland och de övriga nordiska länderna är man under vinterhalvåret utsatt för kalla förhållandena vid gjutningar av betongkonstruktioner. Av den anledningen behöver man känna till betongens egenskaper och hur den reagerar i olika temperaturer för att man skall kunna uppnå tillräcklig hållfasthet. Betongen behöver uppnå en hållfasthet på minst 5 [MPa] innan den når fryspunkten, annars kan den slutliga hållfastheten reduceras med upptill 80% enligt (Esping, 2012).

I de förhållanden som råder i Finland, utsätts utomhusbetongkonstruktioner för varierande grad av frostbelastningar. Vatten som finns i betongens porstruktur orsakar froststress vid frysning, d.v.s. det uppstår ett inre tryck i betongens porstruktur när vattnet expanderar. (Paavonen, 2018). Frostsador kan vara av olika slag. En del skador beror på ovannämnda, att betongen hinner frysa innan den uppnått tillräckligt hög hållfasthet. Andra kan bero på fel val av betongkvalitet i förhållande till konstruktionstypen eller dess plats. Det vill säga, man har inte använt en betong med tillsatt luftporbildande medel vid sådana ställen där fuktigheten är hög samtidigt som det fryser vintertid. När vattnet tränger in och sedan fryser till is, expanderar den och utvidgas med 9 volym% varpå det uppstår sprickbildningar i betongen. (Benic, 2017) Orsaken till sprickbildningar beror på att betongen tvingas över sin egen draghållfasthet, med den påföljd att det bildas micro-sprickor i betongen. Frostsadorna reducerar hållfastheten, bland annat när det gäller dess tryckhållfasthet, draghållfasthet samt elasticitetsmodulen. (Hanjari, 2010).

### 2.2.1 Frostsador som uppkommit under betongens bearbetningstid

När man gjuter vintertid kan det uppstå en del olika frostsador. Därför behöver man planera gjutningen så noggrant att det inte uppstår permanenta skador i konstruktionen. Vilka typer av skador som kan uppstå vid gjutning är helt beroende av objektet i förhållande till omständigheterna. Man behöver olika åtgärder för att undvika alla eventuella skador som kan uppstå under gjutningen. Under de kalla vintermånaderna är utmaningarna stora, varför man behöver vara extra försiktig så att inte betongen kommer åt att frysa för tidigt. (Esping, 2012).

De olika faktorerna som kan förorsaka frostsador är bl.a.:

- utomhustemperaturen
- vindhastighet

- kallt underlag
- kall betongmassa vid ankomst
- för hög vct (vattencementtal).

Lufttemperaturen är den mest avgörande faktorn när det gäller vintergjutningar. Som redan nämntes i stycke 2.2 så skall betongen uppnå 5 MPa innan den når fryspunkten. Det som sker i betongen när den fryser för fort, är att vattnet som ännu finns kvar i betongmassan fryser till is. Betongen då får en större volym, vilket leder till permanenta skador i konstruktionen. Det har då inte någon betydelse om den varit längre eller kortare tid frusen, eller hur kall den varit. Skadan sker omedelbart när vattnet blir till is. (Esping, 2012).

### 2.2.2 Åtgärder som förhindrar frostsador

- Lägre vct.
- Tillsätta fryspunktneredsättande medel.
- En högre temperatur i betongen.
- Förvärma underlaget.
- Skydda konstruktionen efter gjutningen med isolering eller presenning.
- Använda isolerade formor.
- Använda värmekablar som gjuts.

Faktorer som påverkar frostangreppens intensitet är vattenmängden i betongen vid den tidpunkt den utsätts för frysning, samt antalet fryscyklar. Frostpåverkan är mindre allvarlig om betongen har lågt vct. Därav är det viktigt att under kallare vinterdagar ha ett så lågt vct. som möjligt. Den faktor som påverkar fryscyklerna är byggnadens väderriktning, på södra sidan, på grund av solvärmens, finns fler fryscyklar än till exempel på norra sidan. (Leivo, 2000) Vattnet har som uppgift att tillsammans med cement utföra själva härdningen av betongen. När de reagerar med varandra uppstår värme, vilket kan användas till fördel så att betongen hålls varm under processen. Ifall man skyddar konstruktionen med isolerande material så kan man förhindra de flesta frostsador. (Esping, 2012).

I konstruktioner, som mer eller mindre kommer att bli utsatt för frost, använder man en frostresistent betong. I den blandas luftporbildande medel som höjer lufthalten i betongen så att den blir upp till ca. fyra procent (Esping, 2012). Vid upprepade gånger av frysande vatten

i betongen, som i sin tur expanderar, utövas ett tryck i betongens kapillärporer. Detta resulterar i att betongen spricker. (Paavonen, 2018).

Sprickbildning minskar betongens hållfasthetsegenskaper. Så småningom kan sprickbildning få betongen att spjälkas, och till sist kan en konstruktion som utsatts för spjälkning kollapsa på grund av förlorad hållfasthet. I små porer av betong är frystemperaturen för vatten lägre än i större porer. I gelporerna fryser vatten praktiskt taget inte alls. Därför är kapillärporerna betydande för att förhindra frostangrepp. (Leivo, 2000, s. 9).

En alltför tät eller kompakt betong är inte frostbeständig. Frostbeständigheten förbättras med frosttillsatsmedel, vilket ger betongen ett tillräckligt antal skyddande porer. De skyddande porerna förblir luftfyllda, även om betongen är fuktig. De skyddande porerna utjämnar det hydrauliska trycket som härrör från kapillärporerna när vattnet fryser till is. (Leivo, 2000, s. 9).

Med ett lägre vattencementtal och en starkare betongsort så minskar man andelen kapillärporer, vilket också resulterar i en mindre mängd frysvatten. Med ett vattencementförhållande under 0,30–0,35 så är mängden vatten i betongen så liten att dess naturliga luftinnehåll skulle göra det frostbeständigt under normala förhållanden. En sådan betongsort uppnår en höghållfastighet. Man kan inte uppnå en tillräcklig frostbeständighet med en betong som har normal hållfasthetsnivå. (Leivo, 2000, s. 10).

### **2.3 Värmeskador som orsakats av brand**

Betongkonstruktioner tål mycket höga temperaturer korta stunder, men om den utsätts för höga temperaturer konstant är det tillåtna temperaturgränsvärdet för en vanlig betongkonstruktion cirka 200 °C. Smältpunkten för betong är cirka 1300–1500 °C, beroende på vilken typ av ballast och andra grundämnen. Specialbetong kan tillverkas för att klara temperaturer upp till 1200 °C. Exponering för temperaturskillnader under betongens härdningsfas är mycket skadlig, eftersom temperaturskillnader orsakar spänningar i betong, vilket lätt kan skapa sprickor i härdningsbetong. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018, ss. 105,120-121,127).



### 2.3.1 Spjälkning i betongen förorsakad av hög värme

Cementens egenskaper eller struktur förändras vid höga temperaturer. Vid en början av förhöjda temperaturer avlägsnas först vatten från betongytorna, och när temperaturen stiger börjar strukturellt bundet vatten också lämna cementstenen. Porvatten från betong kan förångas vid temperaturer över 200 °C (särskilt när temperaturen ändras snabbt), vilket leder till en allt större volym när det blivit till vattenånga. Det i sin tur bildar ett inre tryck på betongen, som kan leda till spjälkning i betongen. Ett resultat av vattnets bortfall kan bidra till att volymen av cementen förändras genom krympning eller expansion, samt skapar spänningar i betongen, vilket sänker betongens hållfasthet. (Kettunen, 2018, s. 64)

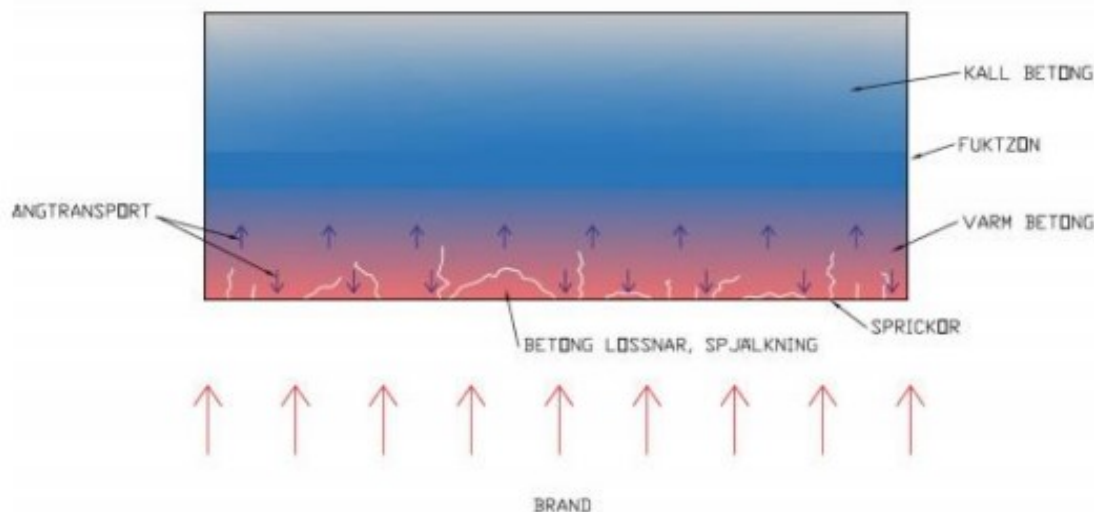
Som redan nämdes i föregående stycke så stiger portrycket när porvattnet förångas och således växer i volym. Portrycket är beroende av uppvärmningshastighet, fukthalt, permeabilitet, porositet och förekomsten av polypropylenfibrer, samt artificiell permeabilitet (Beraki & Russom, 2021). Fuktmängden i betongen i kombination med poröst material höjer risken för en så kallad explosiv brandspjälkning. När en betongkonstruktion utsätts för brand frigörs vattnet ur betongen, som då samlas i betongporerna. När branden tilltar så stiger temperaturen i betongen, även ångtrycket ökar, som då i sin tur kan leda till brandspjälkning. Det finns olika typer av spjälkningsskador i en betong som blivit utsatt för brand. Följderna är också olika beroende på vilken betongkvalitet det handlar om, var branden ägt rum, men också på vilket vis den blir utsatt. (Beraki & Russom, 2021).

En forskning som gjorts i Sverige har kommit fram till att relativ fuktighet troligen är orsaken till spjälkning. I Sverige kan det vara svårt att ha relativ luftfuktighet som är lägre än 60 % för inomhusklimatet (Betongföreningens rapport 16, 2011).

Trots att betongkonstruktioner räknas som obrännbar mister den sin totala bärförmåga då den utsätts för brand. Efter att en del av betongen utsatts för spjälkning och armeringsstålet utsätts för hög värme, minskar stålets hållfasthet. Av den höga värmen utvidgas stålet vilket ytterligare bidrar till sprickor i betongen genom att det bildas spänningar runt stålet som får en större volym. (Elias Lindqvist, 2015, s. 8)

I figur 5. nedan ser man en illustration av hur ångan förflyttas vid en brand. Man illustrerar också hur sprickbildningen vidtar med den påföljd att betongbitar lossnar efter att det skett en spjälkning. Torktiden för ett betongelement är lång. Det kan pågå i flera år innan det helt torkat ut eller komma till samma fuktighet som omgivningen. I tunnlar eller gruvor där

fuktigheten allmänt är hög är risken för spjälkning betydligt högre p.g.a. betongen aldrig riktigt torkar ut där. (Eriksson & Nessmar, 2020)



Figur 5. Visar illustration av ångtransporten ibetong vid brand. (Eriksson & Nessmar, 2020).

## 2.4 Belastningsskador

Överbelastade betongkonstruktioner kan vara av flera olika slag, dels kan det vara en tillfällig last som påverkar konstruktionens bärförmåga, även permanenta eller olyckslaster kan vara orsaken till skadade betongkonstruktioner. Lasterna enligt de nämnda beräknas enligt eurokoderna på alla konstruktioner. Ifall det handlar om äldre byggnader som granskas så tas det i beaktande räknemetodernas revideringar som skett genom åren. (Fyrqvist, 2018).

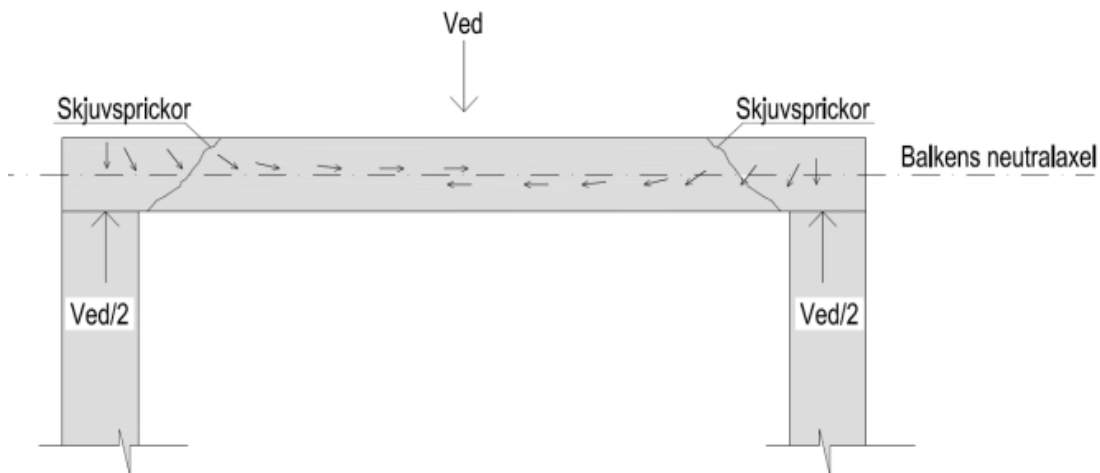
De mekaniska orsaker som kan orsaka överbelastningsskador är:

- stöt (olycksskador)
- Direkt överbelastning, för stor vikt på betongkonstruktionen både före den hunnit uppnå tillräcklig hållfasthet.
- rörelser/sättningar
- vibrationer
- genomstansningsbrott.

Överbelastningsskador kan uppstå av flera olika orsaker. Dels överbelastning, men brister i konstruktionsplaneringen eller utförandet kan också vara en av orsakerna till skador.

### 2.4.1 Skjuvningsbrott

För att förhindra skjuvningsbrott behövs både bygelarmering och huvudarmering som samverkar med varandra. Figur 6 visar på vilket vis skjuvsprickor uppstår ifall momentkraften överskrider det beräknade.



**Figur 6.** Föreställer en balk som överbelastas (Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja).

När man armerar mot skjuvningsbrott i ett bärande betongvalv vars stödmoment består av pelare så kan man använda tillexempel j-byglar. Byglarna placeras över pelaren med den nedbockade delen åt båda hållen. De är ofta bockade med en 45° vinkel för att skjuvsprickor skall skära genom bygeln så när vinkelrätt som möjligt. (Nyberg, 2017).

### 2.4.2 Skador förorsakad av nedböjning.

Betongen är ett material som har hög tryckhållfasthet men låg draghållfasthet. Därför används armeringsstål som samverkar med betongen, vilket bidrar till bättre draghållfasthet. Ifall det sker en nedböjning som överskrider den beräknade maxtillåtna så kan det uppstå permanenta skador i konstruktionen. Man räknar i vanliga fall en nedböjning enligt formeln:

$a = \frac{L}{250}$  där L står för konstruktionens spännvidd eller konsolens dubbla längd. Men om konstruktionen håller upp tillexempel väggar som lätt spricker får nedböjningen vara max:

$a = \frac{L}{500}$  (Miljöministeriet 2016 SFS-EN 1990 (6.14), s. 10).

När man dimensionerar en betongkonstruktion så är syftet att man skall förflytta kraften till stödet, fast man belastar konstruktionen med punktlast. En betongkonstruktion är alltid dimensionerad för en viss böjmomentkapacitet, och när den belastas så deformeras den, d.v.s. den byter form genom nedböjning. Ifall konstruktionen i något skede belastas över sin kapacitet bildas det spänningar i konstruktionens underkant och det sker ett brott, det uppstår större sprickor i konstruktionens underkant. Vanliga skador som kan uppstå när en balk utsätts för nedböjning är bland annat: tryckbrott i betongen, flytning i både drag-och tryckarmering, eller sprickbildning som då leder till vidhäftningsbrott i armeringen. (Fyrqvist, 2018).

### 2.4.3 Betongkrypning

Krypning i betongen är ett fenomen som har att göra med åldrandet av betongen i samband med belastning. Krypningens hastighet är beroende av flera olika yttre påverkningar så som fukthalt, temperatur, betongkvalitet och påförande laster. Det som sker är att betongen sakta mister sin spänningskraft när den deformeras i takt med att krypning pågår. När en betongkonstruktion deformeras så blir den svagare med tiden. (EN 1992-1-1:2004 avsnitt 3.1.4).

Med tiden kan det uppstå allvarliga skador på sådana konstruktioner som fungerar som bärverk. Man räknar med krypning endast i brottsgränstillstånd där man har bärande konstruktioner, speciellt betongkonstruktioner med förspänd armering. Krypning är en såkallad uppskjuten deformation där man räknar med krypstammen enligt (EN 1992-1-1 avsnitt 3.1.4) där:

$$t = \infty \epsilon_{cc}(\infty, t_0) = \varnothing(\infty, t_0) \cdot \frac{\sigma_c}{E_c}$$

$E_c$  är tangent stamningsmodulen lika med  $1,05 \cdot E_{cm}$

$\sigma_c$  är den konstanta kompressionsspänningen.

$t_0$  är betongåldern vid lastning i antal dagar.

$\varnothing(\infty, t_0)$  är krypkoefficienten, där man beaktar luftfuktigheten, dimensioneringen av betongkonstruktionen, tiden hur länge den belastats och vilken cementtyp som använts.

### 3 UNDERSÖKNINGSMETODER

För att kunna fastställa skadornas omfattning behövs rätt typ av utrustning och metod för respektive objekt. Vissa skadetyper kan man upptäcka med blotta ögat, och utifrån det kunna i någon mån diagnostisera skadans typ och omfattning. När granskningar blir utförda borde man känna till vilka yttre påverkningar eller *nedbrytningsmekanismer* som angriper konstruktionen. Genom att känna till hur allting påverkas av olika omständigheter har man lättare att utifrån en analys fastställa behovet av reparationer. (Manouchehr, 2014).

#### 3.1 Besiktning i förebyggande syfte.

Många andra skador kunde förhindras, eller i varje fall förminskas i storlek, ifall man hade kontinuerliga besiktningar och konsekvensbedömningar på hur konstruktioner belastas eller utsätts för olika yttre påverkningar. Ifall sådana granskningstillfällen ordnades skulle det spara pengar sett ur flera synvinklar. Man skulle kunna förutse byggnadens uppskattade livslängd om en pålitlig analys gjordes av konstruktionen. (Johansson & Westerberg).

Huvudsyftet och den egentliga nyttan med en analys eller undersökning av skador, är att kunna fastställa vilka åtgärder som behövs. Utifrån resultatet från en sådan analys kan man bedöma och säkerställa den resterande bärförmågan i konstruktionen, och även riskbedöma säkerheten för omgivningen efter noggranna konstruktionsberäkningar som då baseras på analysen. (Manouchehr, 2014).

De skador som blivit behandlade i ovannämnda stycken är av olika slag, men slutprodukten är ungefär det samma. Konstruktionen är försvagad och åtgärder behöver vidtas.

#### 3.2 Mätmetoder för korrosion i armeringen och karbonatiseringsdjupet i betongen.

Korrosion kan pågå inne i en betongkonstruktion en längre tid innan det nödvändigtvis syns på utsidan. Men med tiden kan man upptäcka bruna ränder, till exempel på en fasad, där armeringen börjat korrodera. Även synliga utbuktningar kan uppdagas där korrosionen angripit armeringen en längre tid. I sådana fall behövs inga mätningar för att vara medveten om att korrosion pågår, men dess omfattning kan man ändå inte känna till ifall man inte undersöker objektet mera ingående och på djupet av konstruktionen. (Betongföreningen Trä-på-Betong forskningsrapport).

Innan man mekaniskt börjar undersöka skadornas omfattning som förorsakats av korrosion, behöver man samla in så mycket uppgifter om konstruktionen som möjligt. Konstruktionsritningar på objektet, betongkvaliteten som blivit använd, hur gammal konstruktionen är, men även om man tidigare utfört reparationer av något slag är viktigt att känna till. Den som utför granskningen behöver besitta goda kunskaper i betongens och armeringens materialteknologi, samt vilka nedbrytningsmekanismer som försvagar materialhållfastigheten. (Johansson & Westerberg).

Den metod som man vanligen använder sig av är att borra ut cylindrar ur den skadade betongen. Cylindrarna används sedan för olika undersökningar i laboriemiljö. (Betongföreningen Trä-på-Betong forskningsrapport) Man behöver då utifrån de konstruktionsuppgifter man tillhandahållit, noga utföra själva utbörningen på sådana ställen att det inte på något vis påverkar konstruktionens bärförmåga mer än absolut nödvändigt. Borrningen sker på de punkter där det är minst tryck eller drag, det vill säga där det inte påverkar bärrigheten nämnvärt. (Johansson & Westerberg).

Borrningen utförs så att det till exempel inte skär av huvuddragarmeringen i en balk eller pelare, vilket skulle äventyra både konstruktionens bärförmåga, även säkerheten för omgivningen kunde då äventyras. Figur 7 nedan visar en borrning som gjordes på en bro i Trondheim i Norge. Man borrade i misstag genom en huvudarmering av grövre dimension. Konsekvenserna var en försvagad konstruktion som man var tvungen att förstärka med ny armering för att uppnå tillräcklig belastningskapacitet. (Benic, 2017).



*Figur 51 Kappat grov armering ved kjerneboring på Ladedalen bru. Perica Benic*

*Figur 7. Borrning i huvudarmering. (Benic, 2017).*

Då man har borr cylindrarna så kan man få reda på konditionen i betongen samt armeringsstålet. Från en cylinder kan man få resultat enligt följande:

- karboniseringsdjup
- täcksiktets tjocklek, armeringsdimension och -skick
- tryckhållfastighet
- draghållfastighet
- spjälningshållfastighet
- kloridinnehåll
- betongens mikrostruktur (Betongföreningen Trä-på-Betong forskningsrapport).

## **4 ETT EXEMPEL PÅ SKADAD BETONGKONSTRUKTION.**

Mitt eget arbete berör en skadad betongkonstruktion jag deltagit i undersökningen av, både med provtryckning och laboratorieundersökningar. Konstruktionen är en pelare som verkar som ett stöd åt en flänsbalk, det vill säga att pelaren håller upp balkens ena ända. Konstruktionen finns i källarvåningen som hör till Oy Snellmans Ab nedlagda korvfabrik. Fabriksdelen där den skadade konstruktionen befinner sig är en tillbyggnad som blev utförd 1974.

Nordic Byggtjänst Ab köpte hela kvarteret av Snellmans år 2014 efter att de flyttat hela sin verksamhet till nya utrymmen på Granholmen utanför centrum av Jakobstad. Tanken var då att planera ett bostadsområde i kvarteret. Rivning på största delen av den gamla fabriksbyggnaden påbörjades i maj 2017 efter att planeringen och byggloven var klara.

### **4.1 Överbelastad balk och pelare**

Det som förorsakat skadorna på balken och pelaren, är att överbelastning har skett någon gång under Snellmans verksamhetstid på området. Upphovet till skadorna är en maskin som stått på våningen ovanför, med en alltför hög vikt i förhållande till underlagets bärförmåga. Maskinen var en kutter som användes till att tillverka korvsmet för deras produkter. I tillägg till alltför hög vikt hade kuttern stora vibrationer när den kördes, vilket bidrog till ännu större belastningar på underlaget.

Efter att skadorna uppdagats har man förstärkt med en stålkonstruktion utefter balkens undersida, som alltjämt fanns kvar tills undersöknings- och reparationsarbetet påbörjades. På figur 8 nedan ser man på vilket vis balken förstärkts efter att den skadats på grund av överbelastning. Stålet som blev använd bestod av rhs-profiler som stolpar, och h-profiler som konsoler.





*Figur 8. Bild på hur balken blivit stödd efter att den försvagats.*

#### **4.1.1 Balkens skador.**

Skadorna som kom efter själva överbelastningen borde inte ha varit så omfattande som de är idag. Men med åren har skadorna vuxit i storlek och då bidragit till en allt svagare konstruktion. Skulle man ha gjort en analys av skadornas omfattning redan i ett tidigt skede så kunde man ha bromsat nedbrytningen av balken.

Skadorna som kommit på balken, är längsgående sprickor från mitten av balken fram till pelaren som är stödmomentet. Den nedre sprickan ligger helt i linje med balkens huvudarmering, som befinner sig i balkens underkant. Det som skett med delar av balken är att betong börjat lossna utefter sprickorna.

På bilden ovan så ser man balken från den mindre skadade sidan. Där finns nog också sprickor, men inte lika djupa och långa som på den andra sidan. Figur 9 nedan visar balken från den sida som har mer omfattande skador.



*Figur 9. Bild på balkens skador.*

#### **4.1.2 Skador på stödmomentet.**

Runtom pelarens översta del ser man sprickor och bruna fläckar, även rostiga armeringsstål gör sig synliga på ställen. Betongen har små bucklor vid toppen av pelaren och små bitar har lossnat på två sidor. En längre spricka som börjar från toppen av pelaren sträcker sig ca. 500mm ner utefter ena kanten.

På figur 10 nedan syns den långa sprickan som går längsmed sidan av pelaren några centimetrar från ena kanten. Man kan också se den korroderade armeringen som blottar sig efter den bortflagnade betongen.



*Figur 10. På bilden syns en del av de skador som uppstått på pelaren.*

## **4.2 Undersökningsmetod**

Innan undersökningarna påbörjades på ett praktiskt plan, kartlades behovet av tillfälliga stöd för balken. I och med att stålet, som tar upp en del av bärigheten som balken gått miste om, måste demonteras så behövdes en annan tillfällig lösning. Ovanpå balken vilar ett bjälklag som består av TT-plattor på båda sidorna av flänsbalken. På marknivå ovanför balken har byggts ett radhus med tre lägenheter, med en total våningsyta på ca. 220m<sup>2</sup>.

Det gjordes en säkerhetsbedömning över balkens förlorade bärförmåga under reparationstiden. Utifrån konsekvensbedömningen placerades stålstöttor strategiskt under en del av balken, även under de TT-plattor som belastar den skadade flänsbalken. Figur 11 nedan visar på vilket sätt vi stöttade bjälklaget underifrån.



*Figur 11. På bilden ser man hur bjälklaget stöttades.*

#### **4.2.1 Kartläggning av skadan.**

Efter att balken och bjälklaget stöttats upp påbörjades undersökningen. Man kunde med en vanlig byggkniv bända loss större betongbitar på balkens undersida. Också på flänsens överkant, på den sida där balken hade större skada, lossnade större bitar med lätt mekanisk påverkan.

De ställen där betongen lätt lossnade, var runt sådana områden där armeringen utsatts för korrosion. Redan innan man påbörjade öppnandet av skadorna, kunde man se lösa betongflak som inte längre satt fast i själva konstruktionen. Skadorna var i form av större och mindre sprickor, samt svullnader och utbuktningar utefter balkens sidor.

#### **4.2.2 Provbörning i pelaren.**

I samråd med Leif Östman och Tom Lipkin på Novia konstaterades att provtagningar av den skadade konstruktionen skulle vara nyttigt för att få en helhetsbild av skadornas omfattning. Anders Borg gav instruktioner om ungefär hur utbörningar skall utföras, och vilka prover man kan få utav cylindrarna.

Utborrningen av cylindrarna på pelaren placerades strategiskt enligt den planerade reparations åtgärdsmodellen. Det borrades tre hål i pelarens övre kant i den påliggande balkens längdriktning, ett hål i vardera kanten och ett mitt emellan. Hålen användes senare för genomföring för konsolens huvudarmering. Utborrningen utfördes innanför pelarens huvudarmering, men ändå så långt ut mot kanten som möjligt, för att få tillräcklig bredd på konsolens armering genom hålen.

Nedan i figur 12 visas pelaren som genomborrats på tre punkter, de är numrerade från ett till tre för att man skall hålla koll på varifrån provcylindrarna är tagna. Med ögat skådat kunde man anta att kvaliteten varierade mellan de tre provtagningspunkterna, därför var det en viktig detalj att veta varifrån proven blivit tagna samt vilken riktning cylindrarna varit.



**Figur 12.** På bilden ser man hur hålen placerats.

Utifrån provcylindrarnas utseende kunde man bilda sig en uppfattning om pelarens kondition. Prov nummer ett var den som var minst skadad, däremot var tvåan och trean i betydligt sämre skick. Av den okulära besiktningen hade man redan kunnat gissa, att pelaren var mer skadad från mitten och ut mot den kant där provcylinder nr. 3 borrats.

Provcylindrarna var spruckna på olika ställen, men alla hade någon spricka endast en par centimeter från ena ändan. Man kunde även mäta och konstatera att armeringens täckskikt var på ställen ca. 15mm vilket är alldeles för lite i en sådan miljö.

#### **4.2.3 Provborrning i flänsbalken.**

När provborrningen av balken skulle utföras vågade man inte borra i balkens nedre del, det vill säga flänsdelen där TT-plattorna vilar. Av säkerhetsskäl för både balken och

byggnaderna ovanför, så att ingen större skada skulle inträffa, borrades hålen i själv livet på balken. Skulle borrningen skett i nedre delen av balken där skadorna var som störst, skulle man säkert fått ett helt annat mätresultat. Men då hade den resterande delen av huvudarmeringen äventyrats och konstruktionen försvagats ytterligare. På figur 13 nedan ser man balkens sida och hur borrhålen placerats.



**Figur 13.** Bilden visar hålplaceringen i balken.

#### 4.2.4 Analys av provcylindrar

För en närmare analys fördes provcylindrarna till Novia i Vasa, där laboratorieingenjören Petter Forth ansvarade för utförandet. Cylindrarnas mått och vikt dokumenterades, vartefter de kapades i bitar enligt det test som var planerat för vardera provbiten. De delar av cylindern som var längre in i mitten testades för endera tryckhållfastheten eller spräckhållfasthet. På de bitar som var längst ut mot ytan på pelaren/balken mättes både kloridtest och karbonatiseringsdjupet.

Prov nummer 1. hade en liten spricka i ena ändan, där var täcksiktet ca. 12mm runt armeringen. I övrigt så var provcylindern i gott skick utan någon rostig armering eller övriga angrepp. Största stenstorlek som hade använts var upp till 30mm. Därför blev

provtryckningarna inte fullständigt rättvisa i o m att diametern på cylindrarna var ca.63mm, och diametern på provcylindern borde vara minst tre gånger största sten storlek.

Cylindern kapades i 5 delar a, b, c, d, e. Då b och d testades för tryckhållfastheten så stod c för spräckhållfasthetstestet. Provbitarna a och e, som var cylinderns båda ändar, blev använda för att mäta karbonatiseringsdjupet.

Måtten på b och d, som skulle prov-tryckas för tryckhållfastheten, sågades i b=64,5mm och d=65mm, så nära som diametern på 63,5mm som möjligt. Cylinderbitarna placerades på stående med varderas flata sida mot pressytorna. De prov-trycktes av laboratorieingenjören Petter Forth, enligt standarden SFS-EN12390-2 för kubhållfasthet.

Den mittersta biten c, användes för att mäta spräckhållfastheten och då placerades cylindern på liggande i pressen. Man pressade tills den klövs i mitten, från ända till ända. Det utfördes enligt standarden SFS-EN12390-6, som styr tillvägagångssättet hur man testar spräckhållfastheten.

Hållfastheten på cylindrarna var i ton mätt:

- B. 17,55 ton
- C. 3,8 ton
- D. 18,55 ton

Omräknat i Newton  $1\text{kg}=9.82\text{N}$  så blir:

- B. 172341 N
- C. 37316 N
- D. 182161 N

För att räkna ut tryckhållfastheten i b. och d. använder man formeln  $f_c = \frac{F}{A_c}$

Som dimensioneringsvärde för tryck- och draghållfastighet används koefficienten:

$$a_{cc} = 0,85$$

$$\text{B. } A_c = \pi \times 63.5^2 \text{mm} / 4 \approx 3167 \text{mm}^2 \quad f_c = \frac{172341 \text{N}}{3167 \text{mm}^2} \quad f_c \approx 54,42 \text{N/mm}^2$$

$$f_c \times a_{cc} = 54.42 \text{N/mm}^2 \times 0.85 \approx \mathbf{46.26 \text{N/mm}^2}$$

$$D. \quad A_c = \pi \times 63,5^2 / 4 \approx 3167 \text{ mm}^2 \quad f_c = \frac{182161 \text{ N}}{3167 \text{ mm}^2} \quad f_c \approx 57,52 \text{ N/mm}^2$$

$$f_c \times a_{cc} = 57,52 \text{ N/mm}^2 \times 0,85 \approx \mathbf{48,9 \text{ N/mm}^2}$$

Cylinder c så som testades för spräckhållfasthet användes formeln:

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d} \quad \text{resultatet reducerades sedan med 5\% för att få den verkliga}$$

spräckhållfastheten.

Längden = 99,5 mm

diametern = 63,5 mm

F = 37316 N

$$C. \quad f_{ct} = \frac{2 \times 37316 \text{ N}}{\pi \times 99,5 \text{ mm} \times 63,5 \text{ mm}} \approx 3,756 \text{ N/mm}^2 \quad f_{ct} \times 0,95 \approx \mathbf{3,57 \text{ N/mm}^2}$$

Provcylinder 2 var i fyra delar när den borrades ut. Dels för att det i centrum av pelaren varit en infästningsgrop för eftergjutning, som skulle foga samman pelare med balkarna. Efter utborrningen så konstaterades att det tydligt inte blivit utfört enligt kraven. Man såg med blotta ögat att den mittersta delen av cylindern var av mycket dålig betongkvalitet. För att få någon uppfattning av hållfastheten i den delen så togs ett tryckhållfasthetstest på den. Men den blev inte ett fullständigt test i o m att man inte kunde uppfylla den behövliga längden av cylindern. I den ena ändan hade korrosionen på armeringen åstadkommit en spricka som gjorde att den del som var utanför armeringsstålet var helt lös.

Hållfastheten omräknat till Newton:

➤ B. 203765 N

➤ C. 30442 N

$$B. \quad A_c = \pi \times 63,5^2 / 4 = 3167 \text{ mm}^2 \quad a_{cc} = 0,85$$

$$f_c = \frac{203765 \text{ N}}{3167 \text{ mm}^2} = 64,34 \text{ N/mm}^2 \times 0,85 \approx \mathbf{54,69 \text{ N/mm}^2}$$

$$C. \quad f_c = \frac{30442 \text{ N}}{3167 \text{ mm}^2} \approx 9,61 \text{ N/mm}^2 \times 0,85 \approx \mathbf{8,17 \text{ N/mm}^2}$$

Betongkvaliteten varierade en del mellan provbitarna. Kubhållfastheten för b var ca. 54,7 N/mm<sup>2</sup>, och för c ca. 8,17 N/mm<sup>2</sup>. Allt det som är märkt med grönt är resultatet av



provpressningen på cylindrarna. Resultatet på de provcylindrar som testades för tryckhållfasthet är kubhållfasthetsvärdet.

Av provcylinder 3, som sågades i fem bitar, testades b. och d., för tryckhållfasthet. C. testades för spräckhållfastheten. Både a och e användes för karbonatiseringsmätningen. Hållfasthet i Newton för respektive bit var:

- B. 161539N
- C. 34861N
- D. 198364N

$$B. \quad a_c = \pi \times 63,5^2/4 = 3167\text{mm}^2$$

$$f_c = \frac{161539\text{N}}{3167\text{mm}^2} \approx 51,01\text{N/mm}^2 \times 0,85 \approx 43,36\text{N/mm}^2$$

$$D. \quad f_c = \frac{19836\text{N}}{3167\text{mm}^2} \approx 62,63\text{N/mm}^2 \times 0,85 \approx 53,24\text{N/mm}^2$$

$$C. \quad \text{Längden}=95\text{mm} \quad \text{Diametern}=63,5\text{mm} \quad f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

$$f_{ct} = \frac{2 \times 34861\text{N}}{\pi \times 95\text{mm} \times 63,5\text{mm}} \approx 3,68\text{N/mm}^2$$

$$3,68\text{N/mm}^2 \times 0,95 \approx 3,49\text{N/mm}^2$$

I flänsbalken borrades två cylindrar för laboratorieundersökningar. Livet på balken var ca. 300 mm tjock, så man fick inte lika många provbitar från balken som på pelaren. Från cylinder fyra togs ett spräckhållfasthetsprov, och från cylinder fem två tryckhållfasthetsprov. De övriga bitarna användes för mätning av karbonatiseringsdjupet. Nummer 4 b. klarade trycket:

$$\text{➤ B. } 30442\text{N} \quad \text{och för den användes formeln:} \quad f_{ct} = \frac{2 \times F}{\pi \times L \times d}$$

$$\text{Längden}=117\text{mm} \quad \text{diametern}=66\text{mm}$$

$$f_{ct} = \frac{2 \times 30442\text{N}}{\pi \times 117\text{mm} \times 66\text{mm}} \approx 2,51\text{N/mm}^2 \times 0,95 \approx 2,38\text{N/mm}^2$$

På cylinder fem, som användes för tryckhållfasthet, misslyckades kapningen på b så att den ena endan inte var vinkelrät. Trots det så höll den för 14,1 ton innan den gav efter.

➤ B. 138462N      Formel som används för tryckhållfasthet:  $f_c = \frac{F}{A_c}$

➤ C. 97218N       $A_c = \pi \times 66^2 \text{mm} / 4 \approx 3421 \text{mm}^2$

B.      Längden=69mm      diametern=6mm       $a_{cc} = 0,85$

$$f_c = \frac{138462 \text{N}}{3421 \text{mm}^2} \approx 40,47 \text{N/mm}^2 \times 0,85 \approx \mathbf{34,4 \text{N/mm}^2}$$

C.      Längden=71mm      diametern=66mm

$$f_c = \frac{97218 \text{N}}{3421 \text{mm}^2} \approx 28,42 \text{N/mm}^2 \times 0,85 \approx \mathbf{24,15 \text{N/mm}^2}$$

#### 4.2.5 Mätning av karbonatiseringsdjupet enligt SFS-EN 14630.

Utförandemetoden för mätning av karbonatiseringsdjupet var att testcylindern spräcktes i två halvor längsmed cylindern. Sen avlägsnades lösa partiklar med tryckluft varefter man sprayade på fenolftalein, som är en pH-indikatorvätska. När man sprayat på insidan av de båda halvorna, så färgas den del där pH är högre än ca. 9,7 och resten förblir färglös. På bilderna nedan ser man reaktionen på två av de bitarna som testades. På figur 14 ser man hur karbonatiseringen vandrat in i balken. På figur 15 kan man se att karbonatiseringen hunnit fram till armeringsstålet, med den påföljd att armeringen börjat korrodera varefter det fått betongen att spricka.



Figur 14. Bilden visar karboniseringsdjupet.



Figur 15. Man ser hur korrosion angripit stålet.

Karboniseringsdjupet varierade en del mellan olika provbitar. Där karboniseringen gjort minst intrång var medeldjupet 15,65mm, och där den hunnit längst in var medeldjupet 40,1mm. Medeldjupet räknades från de gemensamma punkterna, som var åtta/cylinder, fyra på vardera halv.

#### 4.2.6 Kloridmätning

Av de bitar, där man tydligt såg att karboniseringen hunnit en bra bit in i konstruktionen, togs kloridprover. Det togs av 3e, där medel karboniseringsdjupet var 40,1mm och maxdjupet 49mm. Det andra provet togs från 5d, där medeldjupet var 28,4mm och maxdjupet 32,5mm.

Kloridtestet utfördes med RCT-metoden, där Petter Forth ansvarade för utförandet. RTC metoden går ut på att man hackar och finfördelar betongmassan till ett pulverstadie. En RCT-1023 behållare med 10 ml extraktionsvätska fylles med 1,5 gram pulveriserad betong. Behållaren skakades i fem minuter, varefter man mätte kloridhalten med RCT-mätaren som kalibrerats i fyra olika vätskor som hade definieringen:

- Färglös 0.005

- Violet 0.020
- Grön 0.050
- Ljusröd 0.500

Av vardera provbiten togs två provbehållare, och 5d som tagits från balkens liv visade sig ha en kloridhalt som översteg ett gränsvärde på 0.050 till 0.070.

Pelarprovet 3e hade inte lika högt värde, men överskred gränsvärdet till 0.055 på ena provet, och det andra till 0.064.

#### 4.2.7 Pikning av lösa betongflak.

Efter att provborrningen utförts påbörjades bortpikning av lösa betongflak för att få fram armeringen. Armeringen visade sig vara kraftigt angripen av korrosion, vilket man redan hade misstänk utifrån en okulär bedömning. Man hade observerat stora sprickbildningar och



Figur 16. Korrosion på armeringen.



Figur 17. Dragarmeringen kapad före stödet.

bruna områden på betongytorna. På figur 16 och 17 ser man tydligt vad korrosion kan åstadkomma där den obehindrat får pågå i en konstruktion. Ett betydligt antal armeringsbyglar på både balken och pelaren var helt avrostade. Även en del av huvudarmeringarna var ordentligt angripna av korrosion.

Ett av huvudarmeringsjärnen på flänsbalken visade sig inte nå fram till pelaren. Det betyder att det redan i tillverkningskedet har det skett ett fel i utförandet.

## 4.3 Åtgärd

Det undersöktes en del olika åtgärdsmetoder som förstärkning åt de skadade betongkonstruktionerna. Det fanns en del utmaningar att ta hänsyn till, bland annat höjden kunde äventyras ifall man kom med en lösning som byggde nedåt. I och med att det var en bilparkeringsgrotta så fanns ett behov av att bibehålla den nuvarande höjden om möjligt.

### 4.3.1 Kolfiberförstärkning

En möjlighet hade varit kolfiberförstärkning, vilket skulle ha varit en smidig lösning utifrån utrymmes synvinkeln. Kolfiber är ett så starkt material när det gäller draghållfasthet att man inte behövt bygga på så mycket volymmässigt på balken för att få den att hålla. Problemet med kolfiber var att det inte var så lätt att snabbt få tag i någon som hade kunskap att beräkna konstruktionsförstärkningen. Sen kräver det också en viss kunskap att kunna utföra arbetet, och att hitta yrkesskickliga personer på kort tid var inte heller så enkelt. Sist men ändå en viktig detalj var också kostnaden, kolfiber är ett dyrt material.

### 4.3.2 Ingjuten vinkelprofil

En annan lösningsmetod som undersöktes var att förstärka flänsbalken med vinkelstål på vardera sidor, och gjuta konsoler på pelarna för att få en större bäryta för balken. Tanken var också att balken skulle ha breddats en del för att få ett bättre täckskikt runt både gamla men också kompletterande armeringsstål. Med den metoden hade man kortat av spännvidden på balken, vilket då hade bidragit till en större bärförmåga åt balken.

Men det blev utmanande att räkna ut nyttokraften i balken, i och med att det är svårt att veta hur bra man får den pågjutna delen att samverka med den befintliga delen. Därför beslöts det att man inte använder sig heller av den lösningen.

### 4.3.3 Samverkande stålkonstruktion

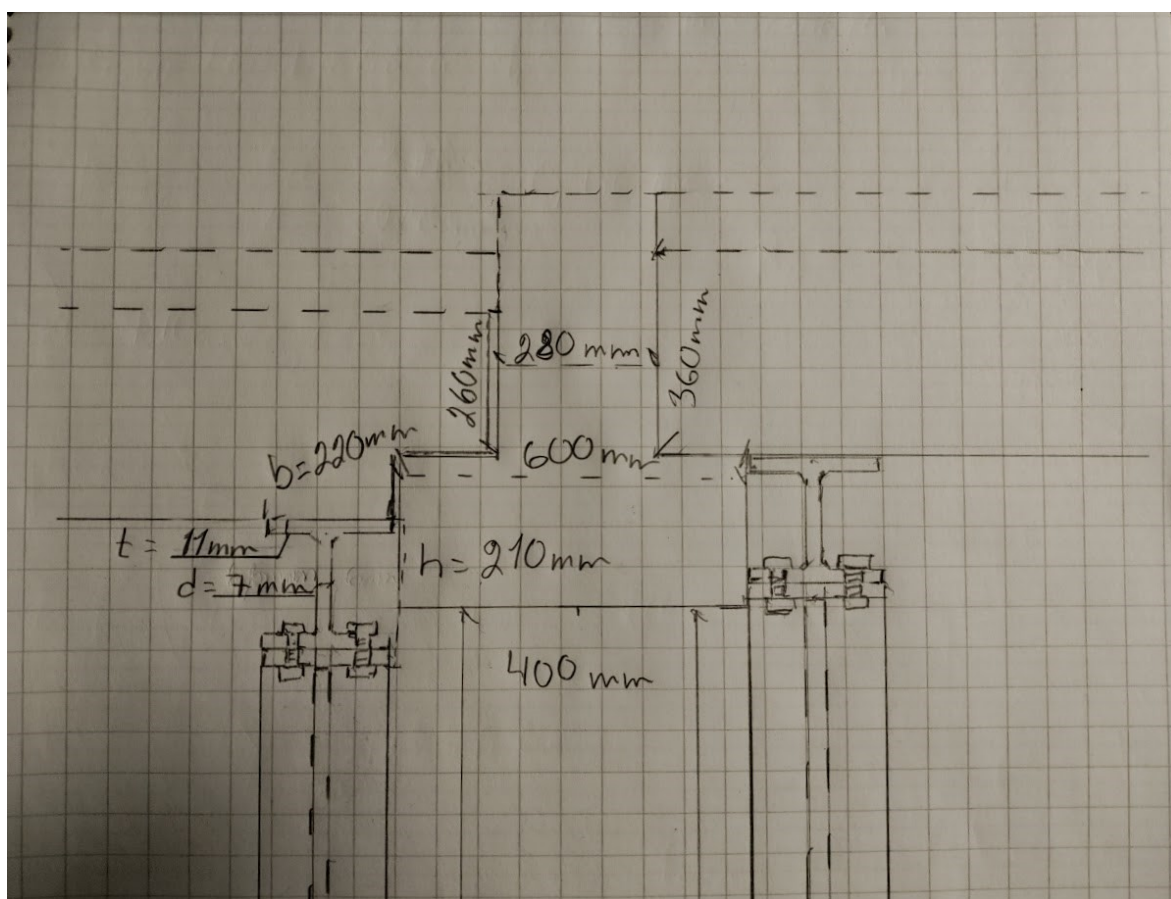
Efter en del beräkningar och funderingar kom man fram till att det enklaste och billigaste alternativet blir en kompletterande stödkonstruktion av stål. Man kom också fram till att man endast skulle gjuta ett skyddsskikt på balken och pelaren, men stålet skulle ta upp bärlast som betongkonstruktionen mistat. I tillägg skulle man nog gjuta konsoler ut från pelaren för att korta av spännvidden på balken. Med tanke på att en del av flänsbalkens dragarmering inte nådde ända fram till stödet så var det behov av att gjuta en konsol som stöder upp balkändan.

#### 4.4 Tillvägagångssättet

Utförandet blev enligt konstruktörens förslag, balken breddades en aning för att få lite mer betong runt armeringen. Även pelare blev breddad till samma dimension som balken, på så vis fick balken en aningen bredare stödyta en tidigare.

Stålkonstruktionen blev planerad med en stålpelare av en HEA-profil på vardera sida av balkens båda stödmoment. Ovanpå stålpelarna placerades HEA-balkar bredvid flänsbalkens båda sidor för att hjälpa till att ta upp lasten från TT-plattorna. Balkarna sammanfogades med bultförband.

Pelaren breddades från 400 mm till 600 mm vartdera skärnittet, man formade och gjöt konsoler på två sidor i balkens riktning. Genom de borrarade hålen kom byglar för konsolen åt båda sidorna av 20 mm armeringsstål, som svetsades samman. All stålkonstruktion blev brand skyddad med gipsskivor efteråt. Figuren 18 är en skiss på hur balken förstärks.



Figur 18. Bilden ovan är en skärning av balken som förstärkts.

## 5 RESULTAT

Målet med den här studien var att få en bättre förståelse allmänt för vilka konsekvenserna kan vara till följd av olika skador i betongkonstruktioner. Genom att läsa olika litteraturer från större delen av Norden, så har de olika erfarenheterna från deras forskningar resulterat i en allt djupare kunskap om området.

Det har bidragit till en bättre planering och övervakning på byggarbetsplatsen, som i sin tur ger en bättre slutprodukt med mindre skador i betongkonstruktioner.

I kapitel 4, där en skadad balk undersöktes och planerades för förstärkning, krävdes en del funderingar över uppstötning under den tid balken och pelaren renoverades. Det fordrades en förståelse om vilka krafter som verkade, för att rätt planera och placera tillfälliga stödmoment under TT-plattorna och balkarna.

När man pikat bort den spjälkta betongen från undersidan av balken och såg att en del av dragarmeringen inte kom ända fram till stödmomentet, insåg man viktigheten av att alltid kontrollera armeringen innan man gjuter.

Utborrningen visade även att gjutningen som utfördes på 70-talet och som skulle sammanfoga balkarna och pelarna inte hade lyckats. Det hade lett till infästningsbrott i balken. Laboratorie- och provtrycktillfället med Petter Forth gav en bredare kunskap om området. Speciellt när man insåg vilka följder det har för konstruktionerna, när det uppstår fel både i byggnadsskedet och fel som förorsakas av överbelastningar.

## 6 SAMMANFATTNING

Det här examensarbetet var lärorikt på många sätt både när det gäller det egna caset i kapitel 4, och allmänt då det handlar om skadade betongkonstruktioner. Fast jag begränsade området till fyra huvudrubriker så blev det ändå rätt så brett arbete. När man jobbar som arbetsledare på större byggprojekt så behöver man kunskap inom betongens reaktion i olika miljöer. Med den här studien har jag nog lärt mig att ta på allvar övervakningen av både nya gjutningar och restaurering av gamla konstruktioner. Även när det gäller att skydda konstruktioner från både värme, köld och fukt så har jag fått en ännu större inblick i konsekvenserna av att man inte eftervårdar betongkonstruktioner på rätt sätt.

Det som jag kunde ha gjort ännu bättre är att forska i skador som uppkommit av hög värme till följd av värmekablar. Problemet var där att man hade svårt att hitta material på det området. Man fick endast träffar på positiv effekt till följd genom användningen av ingjutna värmekablar.

En annan sak som jag gärna hade tagit del av är kolfiberförstärkningar. Hade vi haft mer tid med den skadade balken så skulle man kunnat beräkna med kolfiberförstärkning. Kolfiber är ett otroligt smidigt material att använda på sådana ställen där man vill bibehålla storleken på konstruktionen så nära befintlig som möjlig. Det används kolfiber ganska mycket i Jakobstad inom båtindustrin, så kunskapen att utföra det kunde man ha hittat i när regionen. Men det var svårare att hitta någon som beräknade inom byggnads sidan. Möjligen så inom några år blir det vanligare med kolfiberförstärkta betongkonstruktioner, bara prisnivån kommer ner.



## 7 KÄLLOR

- Benic, P. (10 2017). Prinsipper og metoder til reparasjon av betong. Norge: Norwegian Univerity of Science Technology.
- Beraki, E., & Russom, F. (den 4 6 2021). Betong och brandspjälkning. Stockholm, Sverige: Kungliga tekniska högskolan. Hämtat från <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1617392/FULLTEXT01.pdf>
- Betongföreningen Trä-på-Betong forskningsrapport. (u.d.). Vasa.
- Betongföreningens rapport 16, 2011. (u.d.). Betongföreningen. Hämtat från <https://betongforeningen.se/product/betongrapport-nr-16/>
- (December 2014). *Betong-och-armeringsteknik*. Umeå: Umeå universitet . Hämtat från <https://docplayer.se/20607424-Betong-och-armeringsteknik.html>
- (den 6 5 2021). *Cementa Stefan Sandelin*. Hämtat från <https://www.cementa.se/sv/karbonatisering-vad-ar-det>
- Elias Lindqvist, S. M. (2015). Värmestrålningsskador som brandskydd av stålelement. Sverige: Uppsala Universitet.
- EN 1992-1-1 avsnitt 3.1.4. (u.d.). *The European Union* (s. 30). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General.
- EN 1992-1-1:2004 avsnitt 3.1.4. (u.d.). *The European Union* (s. 30). Eurocode 2 Deign of concrete structures-Part 1-1:General rules and rules for buildings.
- EN 206-1 Europastandard för Betong SS. (2003).
- Eriksson, J., & Nessmar, B. (Juni 2020). Korrelationen mellan fuktkvot och brandspjälkning i sprutbetong i tunnlrar. Uppsala, Sverige: Uppsala Universitet.
- Esping, O. (den 17 9 2012). Experten. *Tidskriften Betong*, s. 54.
- Fyrqvist, T. (2018). Kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner. Raseborg, Finland: Novia.
- Hanjari, K. (7 2010). Skadade betongkonstruktioners bärförmåga. *Bygg & teknik*, ss. 67-71.
- Johansson, L., & Westerberg, B. (u.d.). Bedömning av reparationsbehov.
- Kettunen, T. (2018). *Betonin kemikaalikestävyys ja suojaaminen kemikaaleilta teollisuusrakentamisessa*. Tammerfors: Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Leivo, M. (2000). Betonin pakkasenkestävyyden. Esbo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Manouchehr, H. (2014). Reparation av betongkonstruktioner. Lund, Sverige: Lunds Universitet.
- Miljöministeriet 2016 SFS-EN 1990 (6.14). (u.d.). Helsingfors: FINLANDS BYGGBESTÄMMELSESAMLING MILJÖMINISTERIET. Hämtat från

file:///C:/Users/Patrik%20Grankulla/Downloads/Samverkanskonstruktioner%20i%20st%C3%A5l%20och%20betong,%20anvisningar,%202016.pdf

Nyberg, S. (den 8 Juni 2017). Beräkning av skjuvbrott i pelarunderstödda plattor. Sverige: Mälarens högskola Eskilstuna Västerås.

Nylund, N. (den 14 11 2015). Fasadsanering för betongvåningshus. Vasa: Novia.

Paavonen, E. (den 27 5 2018). Pitkän käyttöön vaikutus teräsbetonirakenteen. Tammerfors, Finland: Tampereen teknillinen yliopisto.

Sjöberg, H. (2015). Solna: Stockholm Betongkonsult AB.

Suomen Betoniyhdistys ry. (2018). Betonitekniiikan oppikirja. Helsinki: [www.rakennustieto.fi](http://www.rakennustieto.fi).

Thörn, T. (u.d.). *YSG Ytskydds Gruppen Spetskompetenser & Resurser*. Hämtat från <https://ysg.se/index.php>