



DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTETET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer, med spesialisering i konstruksjonsteknikk	Vårsemesteret, 2023 Åpen
Forfatter: Sofie Othilia Ngo	
Fagansvarlig ved UiS: Kenneth Alasdair Macdonald Ekstern veileder: Christopher Schive	
Tittel på oppgaven: Behov for tilleggsbeskyttelse for dekke og armering av jernbanebruer i betong Engelsk tittel: Need additional protection for the covering and reinforcement of concrete railway bridges	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Jernbane, membran, betong, nedbrytningsmekanismer i betong	Sidetall: 31 Oslo, 26.06.2023

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2023 av Sofie Othilia Ngo. Oppgaven er siste emne ved min utdanning ved Universitetet i Stavanger ved Institutt for maskin, bygg og materialteknologi. Å skrive denne oppgaven har vært både utfordrende og belønnende, to ord som er godt beskrivende for studieprogrammet ved UiS i sin helhet.

Denne masteroppgaven tar for seg om det er nyttig å ha en beskyttende membran i jernbanebruer for dekke og armering.

Jeg ønsker å takke min veileder ved UiS, Kenneth Alasdair Macdonald og eksterne veilder Christopher Schive hos Bane NOR for et god samarbeid og veiledning.

Til slutt vil jeg takke min samboer Kristian Vadla Sletten for uvurderlig støtte underveis mens jeg har skrevet denne oppgaven.

Oslo, 26.06.2023



Sofie Othilia Ngo

Sammendrag

Denne masteroppgaven tar for seg vei- og jernbanebruer, hvilke ulikheter det er mellom dem som kan gi et svar om det er behov for membran på jernbanebruer. For å komme fram til det så er sentrale tema i denne oppgaven betong, nedbrytningsmekanismer i betong, fuktisolering, tilstandsanalyse og gjeldene regelverk i Eurokode 2.

Dette ga et vurderingsgrunnlag om en bør ha membran i jernbanebruer eller ikke.

Abstract

This master's thesis examines road and railway bridges, specifically the differences between them that can provide an answer regarding the need for waterproofing membranes on railway bridges. The key topics covered in this thesis include concrete, degradation mechanisms in concrete, moisture insulation, condition analysis, and the applicable regulations in Eurocode 2.

This provided a basis for assessing whether or not membranes should be used on railway bridges.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	2
Sammendrag	3
Abstract	4
Figurliste.....	7
1 Innledning.....	8
1.1 Oppgavebeskrivelse.....	8
1.2 Jernbanen i Norge	8
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	10
1.2 Begrensninger i oppgaven.....	10
1.3 Metode.....	10
2 Teori.....	12
2.1 Veibru	12
2.2 Jernbanebru.....	12
2.3 Betong	13
2.3.1 Tilsetningsmaterialer.....	13
2.3.2 Tilstandsanalyse	14
2.4 Nedbrytningsmekanismer for betong	16
2.4.1 Nedbrytningsmekanismer	16
2.4 Fuktisolering	19
2.2.1 Fuktisolering A3-1 med epoksy og isolasjonsstøpeasfalt.....	20
2.2.2 Fuktisolering A3-2 med prefabrikkert membran og beskyttelseslag	20
2.2.3 Fuktisolering A3-3 med akrylat, polyuretan eller polyuera og heftlag.....	20
2.2.3 Fuktisolering A3-4 med C60BP3 og Topeka 4S.....	21
3 Gjeldene regelverk	22
3.1 Eksponeringsklasse.....	22
3.2 Bestandighetsklasse	23
3.3 Overdekning	24
3.3.1 Regler i Eurokode 2	24
3.3.2 Statens vegvesen Håndbok N400 – Bruprojektering.....	25
3.4 Sverige sitt infrastrukturregelverk.....	25
4 Sammenligning	27
5 Konklusjon	29
6 Referanseliste.....	30

Figurliste

Figur 1 Kart over det norske jernbanenettet [2]

Figur 2 Tverrsnitt av brutype med små spennvidder [6]

Figur 3 Illustrasjon av kloridinitiert groptæring på stål i betong [10]

Figur 4 Eksempel på at kloridinitiert korrosjon [10]

Figur 5 Sammenhengen mellom eksponeringsklasser og bestandighetsklasser [18]

Figur 6 Krav til minste overdekning, $c_{(min,dur)}$ [20]

1 Innledning

I dette kapitlet vil oppgavebeskrivelse, jernbanen sin historie i Norge, begrensinger, grunnlag for oppgaven og metode bli presentert.

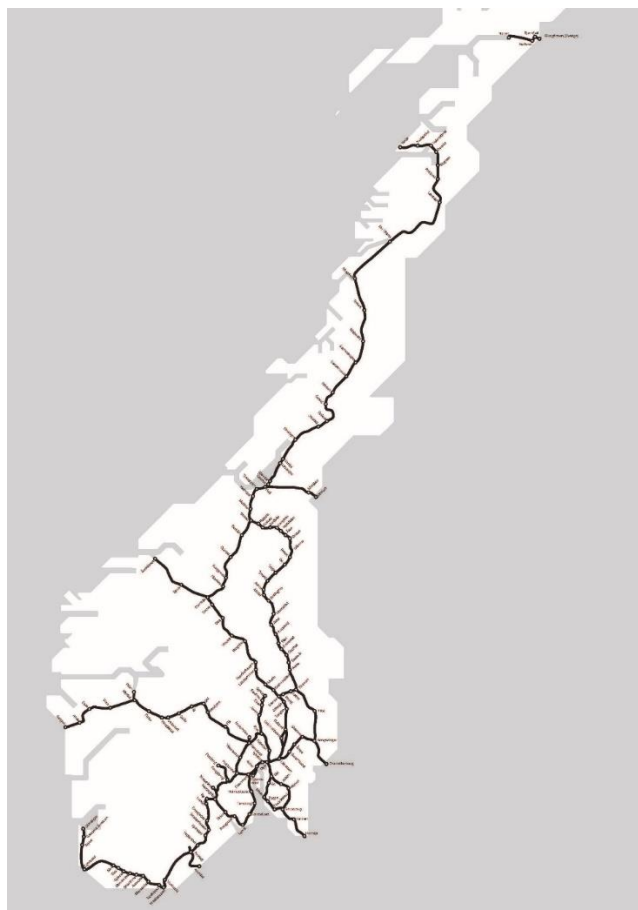
1.1 Oppgavebeskrivelse

Denne masteroppgaven er skrevet i samarbeid med Bane NOR. Masteroppgaven har som formål å undersøke, analysere og evaluere bruken og funksjonen membran har i jernbanebruer mot veibruer i betong. Det blir anvendt en casestudie for å dokumentere egenskaper til betong, membran, nedbrytningsmekanismer i betong for å kunne danne et sammenligningsgrunnlag. Hensikten med oppgaven er å finne ut om det er nødvendig å bruke membran i jernbanebru.

I teknisk regelverk for jernbane i Norge skiller ikke alle steder mellom jernbanebru og veibru. Det blir derfor også sett på hvordan det blir gjort i Sverige, der det er skille mellom jernbanebruer og veibruer i deres tekniske forskrifter. Problemstillingen for oppgaven blir: «Behov for tilleggsbeskyttelse for dekke og armering av jernbanebruer i betong».

1.2 Jernbanen i Norge

Den første jernbanelinjen i Norge ble åpnet mellom Oslo og Eidsvoll i 1854 for å styrke forbindelsen mellom tømmerproduksjonen rundt Mjøsa til Oslofjorden. I lys av den industrielle revolusjonen, høy befolkningsvekst og urbanisering vokste det et stort behov for å bygge ut jernbane i Norge for å bedre kommunikasjonen mellom bygd og by. Siden den gang har det blitt bygget over 4200 kilometer med jernbane i Norge. [1] Figur 1 hentet fra Jernbanedirektorat og viser et kart over jernbanenettet i Norge per 01.01.2022.



Figur 1 Kart over det norske jernbanenettet [2]

Over tid har behovet for jernbane endret seg. For transport av gods har jernbanen møtt stor konkurranse fra lastebiler. Som transportmiddel har toget fått flere konkurrenter i bil, buss og flytrafikk. Med økende krav til klima- og miljøvennlige løsninger spiller jernbanen i dag en sentral rolle som klimavennlig alternativ for både godstrafikk og passasjertransport. Andelen av Norges befolkning som bor i by er fremdeles økende den dag i dag. Med ett økende transportbehov, sammen med nullvekstmål i biltrafikken og mer fokus på trengsel, lokalt utslipp og luftforurensning, er jernbane en miljøvennlig og effektiv løsning. [1]

1.1 Bakgrunn for oppgaven

I Norge er det tekniske regelverket for jernbane flere steder basert på Statens vegvesen sine håndbøker. Det er flere tilfeller dette ikke gir riktig utslag i dimensjonering og planlegging av ny jernbaneutbygging, dette gjelder spesielt for jernbanebruer. I teknisk forskrift for jernbane er det gitt krav om at jernbanebruer skal ha en membran. Dette er med henvisning til Statens vegvesen sin håndbok R768 Prosesskode 2, hvor det skal legges en membran på veibruer som en tilleggsbeskyttelse for dekke og armering. Veibruer og jernbanebruer skiller seg vesentlig ved at veibruer er asfaltert og benytter tinesalter. Det er to forhold som jernbanebruer ikke har.

1.2 Begrensninger i oppgaven

Det er gjort enkelte begrensninger i denne oppgaven innenfor enkelte temaer for at oppgaven ikke skal bli for omfattende. Det vil primært være hovedfokus på jernbanelinjer som ligger i innlandet, da dette dekker mye av jernbanenettet i Norge. Det er noen strekninger i Norge som går langs kysten, hvor den mest betydelige går fra Sandnes til Stavanger. Historisk sett så er jernbanenettet i Norge plassert lengre fra kysten. Dette er i samråd med ekstern veileder i Bane Nor, da hovedfokuset skal være på jernbanebruer i innlandet.

1.3 Metode

Metode er den systematiske tilnærmingen som blir brukt til å samle inn data, analysere dem og trekke konklusjoner. Det er en veiledning som gir struktur og retning i forskningsprosessen. Metode gir et grunnlag for å planlegge og gjennomføre studier på en måte som sikrer validiteten og påliteligheten av resultatene. [3]

I denne oppgaven basert hovedsak på Betongkonstruksjoner skal prosjekteres i henhold til Eurokode 2 – Prosjektering av betongkonstruksjoner:

- NS-EN 1992-1-1 Allmenne regler og regler for bygninger
- NS-EN 1992-2 Bruer

2 Teori

I dette kapitlet blir temaene bru, betong og nedbrytningsmekanismer i betong presentert.

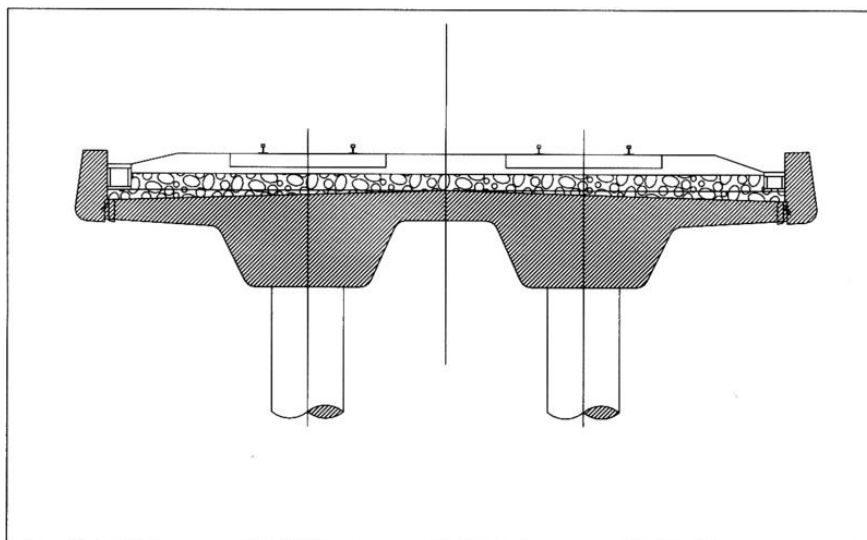
2.1 Veibru

En veibru er en bærende konstruksjon som er konstruert for å bære veitrafikk over hindringer som kan være elver, daler, over jernbane eller andre veibruer. Spennviddene på veibruer er større enn eller lik 2,5 meter [4]. Veibru dimensjoneres for 100 års levetid [5].

2.2 Jernbanebru

I Norge er det anslagsvis 2850 jernbanebruer (1999) som utgjør omtrent 1% av linjenettet som går over bruer [6]. Det vesentlige som skiller en jernbanebru fra en veibru, er at en jernbanebru må bære en mye tyngre last enn en veibru [7]. Jernbanebruer skiller seg fra vegbruer på to vesentlige punkter ved at jernbanebruer ikke benytter seg av tinesalter eller har asfalterte dekker.

Armerte betongbruer er nå nesten dominerende konstruksjoner i brubygging. Alle betongbruer blir konstruert med gjennomgående ballast og plasseres slik at det er mulig å justere sporet. I figur 2-1 er det illustrert et eksempel på hvordan et tverrsnitt av en jernbanebru med små spennvidder. Selv om en jernbanebru strekker seg over mange støtter blir overbyggingen som ofte konstruert kontinuerlig uten fuger. En jernbanebru blir dimensjonert for en levetid på 100 år. [6]



Figur 2 Tverrsnitt av brutype med små spennvidder [6]

2.3 Betong

Betong er meget allsidig og viktig byggemateriale, og kan brukes til mange ulike konstruksjoner. Plastøpte konstruksjoner som broer, kaier og i prefabrickerte betongelementer som bjelker og dekkelementer er noen av bruksområdene til betong. [8] Om betong er satt sammen korrekt og brukt riktig vil den kunne ha god bestandighet mot nedbryting fra ytre miljøfaktorer. Tilslag, vann og sement er hovedkomponentene i betong, sammen med mindre mengder av tilsetningsmaterialer/tilsetningsstoffer. Tilsetningsstoffer brukes for å oppnå eller framheve ønskede egenskaper i betongen, som kan være flygeaske, silikastøv eller slagg. [9]

2.3.1 Tilsetningsmaterialer

Pozzolaner er et begrep for materialer som reagerer kjemisk med alkalier og kalsiumhydroksid etter reaksjon mellom sement og vann. Kalsiumhydroksid blir utviklet når rene sementer reagerer med vann og utgjør en viktig del av betongens kjemiske egenskaper. Spesielt bidrar kalsiumhydroksid til å holde pH-nivået i betongen så høy at armeringen blir beskyttet med et tett og sterkt oksidsjikt på ståloverflaten. Kalsiumhydroksid løser lett opp i vann og bli liggende som et hvitt belegg når vann fordampes fra overflaten over tid.

Gjennom pozzolanereaksjonen dannes stabile reaksjonsprodukter som gir betong de gode egenskapene med hensyn til bestandighet, fasthet og tetthet. [9]

2.3.1.1 Silikastøv

Silikastøv kommer fra rensing av røykgass i forbindelse med produksjon av silisium- og ferrosilimmetall og er et finkornig støv bestående av 85-98% silisiumdioksid i glassaktig form. Ved bruk av silikastøv, oppstår det en kjemisk reaksjon mellom silikastøvet og kalsiumhydratet. I denne reaksjonen, som er en pozzolanereaksjonen blir reaksjonsproduktet kalsiumsilikathydrat til. Kalsiumsilikathydrat er et av de viktigste reaksjonsproduktene mellom sement og vann og tilsetning av silikastøv bidrar til å produsere mer av dette stoffet som gir betong de gode egenskapene med hensyn til bestandighet, fasthet og tetthet. Ved bruk av silikastøv i betongen er kloridinntrenging sterkt redusert. Elektrisk motstand styrker korrosjonshastigheten. Silikastøv øker den elektriske motstanden i betong, som igjen reduserer korrosjonshastigheten. [9]

2.3.1.2 Flygeaske

Flygeaske kommer fra rensing av røykgasser i kullfyrte varmekraftverk og inneholder silisiumdioksid i glassaktig form og har derfor pozzolaneferdigheter som silikastøv. Flygeaske har i prinsippet samme effekt på bestandighet som silikastøv. Elektrisk motstand øker med økende mengde flygeaske og kloridinntrenging er derfor sterkt redusert ved bruk av flygeaske [9].

2.3.2 Tilstandsanalyse

Tilstandsanalyse er en viktig prosess som utføres for å vurdere behovet for vedlikehold eller utbedring av en eksisterende konstruksjon. Formålet med en tilstandsanalyse er å avdekke eventuelle skader, identifisere skadeårsaker, evaluere skadeomfanget og vurdere skadekonsekvensene. Denne grundige undersøkelsen legger grunnlaget for å kunne planlegge og utføre nødvendige vedlikeholds- og utbedringstiltak. [10]

Gjennomføringen av en tilstandsanalyse er viktig av flere grunner. Først og fremst bidrar den til å oppdage skader som kan være skjult for det blotte øye. Selv tilsynelatende små skader kan utvikle seg til alvorlige problemer hvis de ikke blir oppdaget og behandlet i tide. Ved å nøye inspisere konstruksjonen kan man avdekke selv de minste avvik og potensielle feil. [11, 12]

En annen grunn til at tilstandsanalyse er viktig, er at den hjelper til med å identifisere skadeårsakene. Ved å forstå hva som forårsaker skadene, kan man iverksette tiltak for å forhindre at lignende skader oppstår i fremtiden. Dette kan inkludere å adressere strukturelle svakheter, dårlig materialkvalitet, miljøpåvirkning eller feil bruk og vedlikehold. [11, 12]

Videre gir tilstandsanalysen innsikt i skadeomfanget. Det betyr at man får en klar forståelse av hvor utbredt skaden er og hvilke deler av konstruksjonen som er mest påvirket. Dette er viktig for å kunne prioritere vedlikeholds- og utbedringsarbeidet på en effektiv måte. [11, 12]

Til slutt hjelper tilstandsanalysen til med å vurdere skadekonsekvensene. Dette innebærer å vurdere de mulige konsekvensene av skaden, både med hensyn til sikkerhet, funksjonalitet og økonomi. Ved å få en klar oversikt over skadeomfanget kan man ta informerte beslutninger om hvilke tiltak som må iverksettes for å sikre konstruksjonens integritet og funksjonalitet. [11, 12]

I sum gir tilstandsanalyse viktig informasjon som er avgjørende for å kunne planlegge og gjennomføre nødvendige vedlikeholds- og utbedringstiltak. Den identifiserer skader, avdekker årsakene bak skadene, evaluerer omfanget av skadene og vurderer konsekvensene. På denne måten bidrar tilstandsanalysen til å sikre at konstruksjonen forblir trygg, funksjonell og holdbar over tid. [11, 12]

2.4 Nedbrytningsmekanismer for betong

Dette kapittelet tar for seg hvilke nedbrytningsmekanismer som er til stede i betong.

2.4.1 Nedbrytningsmekanismer

Betong utsettes for ulike nedbrytningsmekanismer på lik linje med andre materialer. Dette kan føre til reduksjon i konstruksjonenes levetid. De vanligste nedbrytningsmekanismene som er til stede i betongkonstruksjoner er: [10]

- Armeringskorrosjon som følge av klorinfisert betong
- Fysisk nedbrytning
- Kjemisk nedbrytning
- Biologisk nedbrytning

Det kan også være en kombinasjon av disse fire prosessene som oppstår samtidig på en betongkonstruksjon.

Det er i denne oppgaven valgt å fokusere på kloridinntrenging i betong som hoved nedbrytningsmekaniske fordi den er mest relevant og mest problematisk med tanke på membran i jernbanebruer.

2.4.2 Kloridinntrenging i betong

Kloridinntrenging i betong refererer til inntrengningen av klorider i betongstrukturen. Kloridinntrenging er en viktig faktor å vurdere, spesielt i konstruksjoner som er i nærheten av kystområder eller hvor det blir brukt avisningsmiddel i form av veisalt. Det er to ulike grunner til at klorider forekommer i betongkonstruksjoner, det kan være at klorider er til stede fra byggetidspunktet eller trenger seg inn fra ytre miljø i løpet av levetiden.

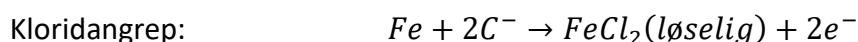
Kloridinntrengning er problematisk fordi klorider kan fremme korrosjon av armeringsjern i betongen, som fører til redusert armeringstvernitt. Det fører til at betongens integritet svekkes, svekket bæreevne og redusert levetid for betongkonstruksjonen [13].

Ved bruk av kloridholdige akselerator, saltvann eller kloridforurenset tilslag kan klorider kan bli tilført betongen allerede helt i starten av produksjonen. Disse kan stamme fra både sement, silika, flygeaske, tilslag og vann når betongen ble lagd. Kloridene som stammer fra dette blir jevnt fordelt i betongen, der en andel vil bli bundet kjemisk opp til C_3A delen av sement. Det er de resterende kloridene som gjenstår som er problematiske og vil kunne utvikle seg til armeringskorrosjon i betongen. Dette foregår ved at restene oppfører seg som frie klorider i porevannet i betongen [13].

Klorider som kommer til i løpet av brukstiden, blir transportert inn i betongkonstruksjonene via kloriddiffusjon eller ved transport av vann som inneholder klorider. Over tid når klorid har fått tid til å jobbe seg innover inn til betongen og armeringen vil det resultere i armeringskorrosjon. Når klorid er inne i betongen vil den opptre likt som når klorider er til stede helt ved starten av produksjonen, ved å opptre som frie kloridioner i porevannet [13].

Når kloridioner er frie i porevannet i betongkonstruksjoner og kommer i fysisk kontakt med armeringen, vil de binde seg til ståloverflaten og erstatte hydroksylionene i passivfilmen. Dette resulterer i nedbrytning av passivfilmen og etterlater stålet ubeskyttet. Lokal nedbrytning av passivfilmen gir mulighet for at kloridionene kan reagere med det ubeskyttede jernet og føre til korrosjon. Slik at det oppstår to konkurrerende anodereaksjoner, hvor kloridene blir brutt ned og hydroksylioner reparerer. [10]

Disse to anodereaksjonene kan uttrykkes kjemisk slik: [10]

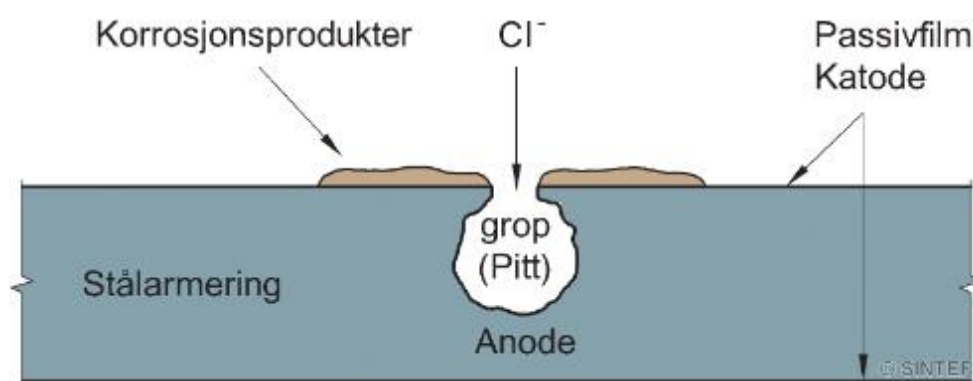


(Metallisk jern + oppløste kloridioner → jernklorid + elektroner)

Reparasjon av passivfilm: $Fe + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2(\text{uløselig}) + 2e^-$

(Metallisk jern + hydrokylioner \rightarrow jernhydroksid + elektroner)

Omfanget av kloridangrepet avhenger av forholdet mellom klorid- og hydroksylionene i porevannet. Hvis forholdet mellom klorid- og hydroksylionene er lavt nok, kan armeringen gjenvinne passiviteten, og aktiv korrosjon unngås. Dersom forholdet mellom klorid- og hydroksylionene er høyt nok, kan kloridangrepet føre til dannelse av "groper" i stålet, der oksidfilmen har blitt fjernet. Dette blir heter groptæring eller pittingkorrosjon, og denne korrosjonstypen er illustrert i figur 3. [10]



Figur 3 Illustrasjon av kloridinitiert groptæring på stål i betong [10]

I gropen som oppstår etter «utgravingen» vil de jernionene som er oppløst reagere med vannet og kloridionene, og dette kan føre til dannelse av sure hydrogenioner. Hvis det blir samlet for mange av de sure hydrogenioner i gropen der kloridioner også er til stede, kan det dannes saltsyre (HCl). Dette resulterer i at vannet i gropen blir svært surt, og dette igjen fremskynder oppløsningen av jernet ved at jernet begynner å oksidere i det sure miljøet. Denne prosessen kan forsterke seg selv. Korrosjonshastigheten i slike groper kan være ekstremt høy og føre til rask reduksjon av det lokale tverrsnittet til armeringen i betongkonstruksjonen. [10]

Groptæring som er vist i figur 4, utgjør en lagt mer farligere korrosjon enn den som skjer ved karbonatiseringsinitiert korrosjon. Den kloridinitiert korrosjon fører til vesentlige større lokale angrep på korrosjon på armeringen enn det en jevn overflatekorrosjon ved karbonatiseringsinitiert korrosjon. Dette betyr at tverrsnittet til armeringen blir sterkt redusert, selv om det ikke er synlige skader på betongoverflaten. I visse tilfeller kan armeringen til og med være helt avrustet, som vist i figur x. [10]



Figur 4 Eksempel på at kloridinitiert korrosjon [10]

For å kunne hindre kloridinitiert korrosjon er det viktig å øke motstanden mot kloridinntrenging. For å oppå dette er det mulig å oppnå et lavt masseforhold som gir lav kapillærporøsitet og dermed en langsommere kloridinntrenging enn originalt. Det er vist at det er mulig å tilsette pozzolaner som gjør betongen tettere. Dermed går inntrengingen av klorider langsommere inn i betongkonstruksjonen. Størrelsen på overdekning har betydning for å forlenge initieringsperioden av kloridinntrengning inn til armeringen, slik at en kan øke overdekningen. [13]

2.4 Fuktisolering

Det er gitt er fire ulike fuktisolering som er gitt i Statens vegvesen håndbok R762 for betongdekker i brukonstruksjoner: [14]

1. A3-1 med epoksy og isolasjonsstøpeasfalt
2. A3-2 med prefabrikkert membran og beskytteselslag
3. A3-3 med akrylat, polyuretan eller polyuera og heftlag
4. A3-4 med C60BP3 og Topeka 4S

2.2.1 Fuktisolering A3-1 med epoksy og isolasjonsstøpeasfalt

Fuktisolering A3-1 med epoksy og isolasjonsstøpeasfalt. Epoksy er en type herdbar polymer som består av syntetiske epoksyharpikser [15]. For bruk i veibruer må epoksyen komme løsemiddelfri fra leverandører og bli brukt ufortynnet. Påføringen av epoksy skal skje i to lag, hvor det første lagt skal være lettflytende for å kunne trenge best mulig inn og impregnere betongunderlaget. Det andre laget påføres for at det skal virke som en forsegling.

Isolasjonsstøpeasfalt blir brukt for å beskytte epoksyen [14]. I tabell 4.10.1-5 i håndbok N200 blir det angitt krav til isolasjonsstøpeasfalten som må bli brukt. Ut i fra tabellen så er det polymermodifisert bitumen PMB75/130-80 som blir anvendt [16]. Totalt vil dette gi en byggehøyde på 17 mm, hvor omtrent 2 mm vil være epoksy og 15 mm med isolasjonsstøpeasfalt.

2.2.2 Fuktisolering A3-2 med prefabrikkert membran og beskytteselslag

A3-2 med prefabrikkert membran og beskytteselslag. «Membran – barriere mellom konstruksjonen og løsmasser for å forhindre fukt- og vanninntrenging over og under grunnvannstanden» [5]. Det er slik Statens vegvesen definerer hva en membran i en veibru blir brukt til. For å beskytte membranen må det legges et beskytteselslag med tettgradert asfaltbetong Ab 4 etter håndbok N200 Vegutbygging [14]. Samlet sett vil dette gi en ekstra byggehøyde på minimum 19,5 mm. Membranen må ha en tykkelse på minimum 4,5 mm og 15 mm vil være beskytteselslaget i form av asfaltbetong.

2.2.3 Fuktisolering A3-3 med akrylat, polyuretan eller polyuera og heftlag

A3-3 med akrylat, polyuretan eller polyuera og heftlag. For å kunne bruke type A3-3 som fuktisolering er det viktig at det dokumenteres at produktet som blir brukt samstemmer med de klimatiske forholdene og sammen med resten av materialene i konstruksjonen.

Isolasjonsstøpeasfalt eller Topeka 4S blir brukt som et heftlag mot overliggende asfaltlag, dette vil gi en tykkelse på 12 mm beskyttelseslag og 2 mm med enten akrylat, polyuretan eller polyuera [14].

2.2.3 Fuktisolering A3-4 med C60BP3 og Topeka 4S

A3-4 med C60BP3 og Topeka 4S. Det blir brukt enten sprøyte eller kost på å legge C60BP3 på betongdekke, etterfulgt av Topeka 4S som blir lagt med en tykkelse på 12 mm [14].

3 Gjeldene regelverk

I dette kapitlet blir det sett nærmere på kravene som er i Eurokode 2 – Prosjektering av betongkonstruksjoner, NS-EN 1992-1-1 Allmenne regler og regler for bygninger og NS-EN 1992-2 Bruer til både jernbanebruer og veibruer.

Teknisk regelverk angir per i dag krav om fuktisolering av betongdekker på jernbanebruer tilsvarende det som gjør for veibruer. I teknisk regelverk er det krav om en rissoverbyggende membran på jernbanebruer. Membranen er rissoverdekkende og er en tilleggsbeskyttelse for dekke og armering. Statens vegvesen har gode erfaringer med bruk av membran. Jernbanebruer skiller seg imidlertid fra vegbruer blant annet på to vesentlige punkter:

3.1 Eksponeringsklasse

Betongkonstruksjoner kan bli påvirket av ulike miljøfaktorer, og disse påvirkningene klassifiseres i eksponeringsklasser basert på nedbrytningsmekanismene som påvirker både armeringen og betongen i konstruksjonen. Noen av de vanlige nedbrytningsmekanismene for betong er korrosjon av armering på grunn av karbonisering og/eller klorider, fryse-/tineangrep og kjemiske angrep. Nedbrytningsmekanismer i betong vil er blitt gjennomgått mer utfyllende i kapittel 2.4. Det er viktig å merke seg at en og samme betongkonstruksjon kan være utsatt for forskjellige miljøpåvirkninger, og dermed havne i flere eksponeringsklasser samtidig. [17]

I tabell NA.1 i NS-EN 206 er står det om ulike eksponeringsklasser og hvilke tilfeller de faller under. Siden det er valgt å se bort fra her. For jernbanebruer vil de normalt havne under eksponeringsklasse XC4 og XF3. Eksponeringsklasse XC4 er for betong som er i et vekselvis vått og tørt miljø. Det vil si at betongoverfalte er i kontakt med vann, men ikke over en lengre tid. XF3 er en eksponeringsklasse der miljøet har høy vannmetning uten bruk av avisningsmiddel. [18]

Eksponeeringsklasse XD3 og XF4 er gjeldene for veibruer ettersom det blir brukt avisningsmiddel i form av veisalt. Eksponeeringsklasse XD3 er gjeldene for betongkonstruksjoner der korrosjon blir framkalt av klorider som ikke stammer fra sjøvann, der det er vekselvis tørt og vått og brudelen blir utsatt for sprut som inneholder klorider. En veibru vil kunne få fryse-/tineangrep på grunn av høy vannmetning hvor dekke er utsatt for avisningsmiddel. [18]

3.2 Bestandighetsklasse

Grunnlaget for å finne nødvendig bestandighetsklasse for betongkonstruksjoner er basert på eksponeeringsklassen. Bestandighetsklassen er forutsetningen for å finne de ytterlige krav for betongsammensetninger som er nødvendige og hvilke maksimale rissvidder som er tillat i betongkonstruksjoner. [19] Sammenhengen mellom eksponeeringsklasser og bestandighetsklasser for betongdekke er vist i figur 5 som er hentet fra tabell NA.15 i NS-EN 206. Er betongkonstruksjonen i et miljø der flere ulike eksponeeringsklasser er til stede, er det den betongsammensetningen utløser det strengeste kravet som blir valgt. [18]

Eksponeeringsklasse	Bestandighetsklasse					
	M90	M60	M45	MF45	M40	MF40
X0	X	X	X	X	X	X
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1		X	X	X	X	X
XD1, XS1, XA1, XA2 ^a , XA4 ^b			X	X	X	X
XF2, XF3, XF4				X		X
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3 ^a					X	X
XSA ^a	Betongsammensetning og beskyttelsestiltak fastsettes særskilt. Betongsammensetningen skal minst tilfredsstillende kravene til M40, eventuelt MF40.					
<p>a Om det i eksponeeringsklasse XA2, XA3 eller XSA er mulighet for kontakt med sulfater i konsentrasjoner høyere enn nedre grenseverdi for XA2, skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes sulfatbestandig bindemiddel (SuR1 eller SuR2). Se også tabell NA.13.</p> <p>b For konstruksjoner utsatt for husdyrgjødsel skal det i betongspesifikasjonen være angitt at det skal anvendes minst 4 % silikastøv.</p>						

Figur 5 Sammenhengen mellom eksponeeringsklasser og bestandighetsklasser [18]

I henhold til figur 5 vil betongkonstruksjonene i jernbanebruer måtte ha minimum bestandighetsklasse M60 for eksponeringsklasse XC4, og minimum MF45 bestandighetsklasse for XF3. For veibruer enten ha minimum bestandighetsklasse M40 for eksponeringsklasse XD3, og for eksponeringsklasse XF4 gir det bestandighetsklasse MF45.

3.3 Overdekning

For levetiden til betongkonstruksjoner så er betongoverdekning avgjørende. Det å sikre at verken armeringen ruster eller at forankringen av armeringen er for dårlig er det krav at betongkonstruksjoner har en minimumsoverdekning. [19] Betongoverdekning referer til avstanden mellom armeringens overflate og den nærmeste betongoverflaten, inkludert kroker, bøyer og eventuell overflatearmering. [20] Overdekning kan variere fra 15 mm til 100mm, hvilke krav det er til overdekningen er avhengig av hvilke miljøfaktorer betongkonstruksjonen blir utsatt for. [19]

I Bane NORs tekniske regelverk henviser til regler for overdekning i betongkonstruksjoner til Eurokode 2 og i tillegg til regler i Statens vegvesen sin håndbok N400 – Bruprosjektering. [21]

3.3.1 Regler i Eurokode 2

Tabell NA.4.4N i Eurokode 2 angir hvilke krav det er til minste overdekning, $c_{min,dur}$. Ut fra tabell NA.4.4N som er gitt ved figur 6 kan finne at minimums krav til overdekning for jernbanebruer er 35mm og 50mm for veibruer med 100 års dimensjonerende brukstid.

Eksponeringsklasse ^{a)}	Bestandighetsklasse (minstekrav)	Minste overdekning $c_{min,dur}$ (i millimeter)	
		50 års dimensjonerende brukstid	100 års dimensjonerende brukstid
X0	M90	$c_{min,b}$	$c_{min,b}$
XC1	M60	15	25
XC2, XC3, XC4	M60	25	35
XD1, XS1	M45	40	50
XD2, XD3, XS2	M40	40	50
XS3	M40	50	60

a Valg av bestandighetsklasse for eksponeringsklassene XF, XA og XSA skal være i henhold til NS-EN 206+NA. For klasse XA3 og XA4 bør normalt overdekningen ikke være mindre enn 40 mm for 50 års dimensjonerende brukstid hhv. 50 mm for 100 år, for klasse XSA må de samlede tiltakene vurderes særskilt.

Figur 6 Krav til minste overdekning, $c_{min,dur}$ [20]

3.3.2 Statens vegvesen Håndbok N400 – Bruprosjektering

I håndbok N400 angir Statens vegvesen minste kravene til overdekning i tabell 8.3.1-1 med hensyn til bestandighet. Fra gitt tabell vil jernbanebru ha overflate i tørre og tilgjengelige hulrom som gir en minste overdekning på 35 mm. For veibruer der overflaten vil være direkte utsatt for både vann og klorider fra tinesalt vil en minste overdekning være på 60 mm. [5]

3.4 Sverige sitt infrastrukturelverker

I Sverige er det Trafikverket som har ansvar for jernbane-, vei-, skips- og lufttrafikkens infrastruktur. Trafikverket ble grunnlagt i 2010 og slått sammen av det som utgjorde Baneverket og Vägverket, som tilsvarer Bane NOR og Statens Vegvesen i Norge. [22] I det svenske regelverket er det skilt mellom krav til vei- og jernbanebruer. I Norge er mye av det tekniske regelverket for jernbane basert på Statens vegvesen sitt tekniske regelverk, i motsetning til Sverige der det er definert og skilt på kravene til både vei- og jernbanebru. Jernbaneinfrastrukturen i Sverige kan sammenlignes med Norge sin utbygning, hvor det mye av jernbaneinfrastrukturen er bygd skjermet fra kysten derfor er det hensiktsmessig å sammenligne hvilke krav som er i Sverige i forhold til membran i jernbanebru.

Det mest essensielle som skiller det norske tekniske regelverket mot det svenske tekniske regelverket for jernbanebruer er at i punkt 6.2.7.1.3 i Bro och broliknande konstruktion, Byggande, står det at det er mulig å kun legge membran på deler av en jernbanebru. Det skal da være på de deler i brudekket som er utsatt for strekkspenninger i bruens lengderetning i en karakteristisk lastkombinasjon. [23]

4 Sammenligning

Det kommer tydelig fram fra Eurokode 2 at vei- og jernbanebru har ulike krav til eksponeringsklasse, bestandighetsklasse og overdekning. Veibru har krav om eksponeringsklasse XD3 og XF4, mens jernbanebru har krav om XC4 og XF3. Det kommer av at de ulike bruene er utsatt for forskjellige miljøpåvirkninger. Hovedgrunnen til at de kommer i forskjellige eksponeringsklasser er at veibru er utsatt for avsningsmiddel i form av veisalt, noe jernbanebruer ikke er eksponert for.

Bestandighetsklassene blir dermed med basert på eksponeringsklassene for jernbanebruer blir det minimum bestandighetsklasse M60 for eksponeringsklasse XC4, og minimum MF45 bestandighetsklasse for XF3. For veibruer er det enten minimum bestandighetsklasse M40 for eksponeringsklasse XD3, og for eksponeringsklasse XF4 gir det bestandighetsklasse MF45.

Det utløser en minste overdekning på 35 mm for jernbanebruer. For veibruer der overflaten vil være direkte utsatt for både vann og klorider fra tinesalt vil en minste overdekning være på 60 mm. Som en kan sammenligne med at vei- og jernbanebruer har så ulik minste krav til overdekning. Størrelsen på overdekning har betydning for å forlenge initieringsperioden av kloridinntrengning inn til armeringen, slik at en kan øke overdekningen på jernbanebruer om det trengs.

Felles for de fire ulike fuktisolerings tiltakene som blir gitt i Statens vegvesen håndbok R762 er at om fuktisoleringen skal fungere må det benyttes en form for beskyttelseslag ovenfor. I jernbanebruer er det ikke noe beskyttelseslag, slik at det ikke vil være gunstig å legge membran fordi da må en ha en form for beskyttelseslag ovenfor membranen igjen. I kapittel 2.3.2 kommer det fram at det er gunstig å kunne å ha mulighet til å utføre tilstandsanalyser på konstruksjoner oppgjennom brukstiden. Det vil bli veldig vanskelig å komme ned til betongdekke via to ekstra lag. Det kan føre til at tilstandsanalyser ikke blir gjort like ofte og blir mer krevende.

I kapittel 2.3 kommer det fram at det er ulike muligheter til å hindre kloridinntrenging i betong. For å hindre kloridinitiert korrosjon kan en øke motstanden mot kloridinntrenging. For å oppå dette er det mulig å oppnå et lavt masseforhold som gir lav kapillærporøsitet og dermed en langsommere kloridinntrenging enn originalt. Det er vist at det er mulig å tilsette pozzolaner som gjør betongen tettere.

I henhold til Sverige sitt infrasturregelverk vil det kunne være en mulighet til å kun legge membran på kritiske deler, enn å legge membran på hele betongdekke på veibruer.

5 Konklusjon

Det anbefales til slutt en ikke bruker membran i jernbanebruer og at en heller ser på andre alternativ for å øke motstanden mot kloridinntrenging. Det kan være å øke størrelsen på overdekning for å forlenge initieringsperioden av kloridinntrengning inn til armeringen. Det er også mulig å se på et lavt masseforhold som gir lav kapillærporøsitet og dermed en langsommere kloridinntrenging enn originalt eller er det er mulig å tilsette pozzolaner som gjør betongen tettere.

Ved å ikke bruke en membran i jernbanebruer blir det lettere å utføre tilstandsanalyser, slik et kan enklere følge med på tilstanden til betongen.

6 Referanseliste

- [1] Jernbanedirektoratet, "Jernbanen mot 2050," 2020, https://www.jernbanedirektoratet.no/globalassets/strategier-og-utredninger/perspektivanalyse_jernbanen_mot_2050-2020.pdf.
- [2] Jernbanedirektoratet. 01.01.2022. *Jernbanenettet i norge* [Internett]. Hentet fra: <https://www.jernbanedirektoratet.no/no/jernbanesektoren/jernbanenettet-i-norge/>. Lastet ned: 22.06.2023.
- [3] K. E. Tranøy. 18.02.2019. *Metode* [Internett]. Hentet fra: <https://snl.no/metode>. Lastet ned: 19.06.2023.
- [4] Statens vegvesen. 2021. *Definisjonsliste for statens vegvesens håndbøker* [Internett]. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/definisjoner/>. Lastet ned: 13.06.2023.
- [5] Statens vegvesen. 01.01.2023. *Håndbok n400 - bruprosjektering* [Internett]. Hentet fra: <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859957/nb>.
- [6] Jernbanekompetanse. 19.02.2015. *Bruer/generelt* [Internett]. Hentet fra: <https://www.jernbanekompetanse.no/wiki/Bruer/Generelt>. Lastet ned: 21.06.2023.
- [7] H. T. Øderud og R. S. Nordahl. 27. september 2022. *Bro* [Internett]. Hentet fra: <https://snl.no/bro#Jernbanebroer>. Lastet ned: 21.03.2023.
- [8] J. V. Thue. 2019. *Betong* [Internett]. Hentet fra: <https://snl.no/betong>. Lastet ned: 20.03.2023.
- [9] M. Maage, *Betong : Regelverk, teknologi og utførelse*. Oslo: Byggenæringens forl., 2015.
- [10] J. Lindland, "Nedbrytningsmekanismer i betongkonstruksjoner," SINTEF, 2021, [Teknisk anvisning nr.720.105], https://www.byggforsk.no/dokument/6237/nedbrytningsmekanismer_i_betongkonstruksjoner#i832, Lastet ned: 14.04.2023.
- [11] K. Reknes og T. Farstad, "Tilstandsanalyse av betongkonstruksjoner," 1995, [Teknisk anvisning nr.720.111], Lastet ned: 14.06.2023.
- [12] S. Holøs, "Tilstandsanalyse av bygninger og bygningsdeler," SINTEF2018, [Teknisk anvisning nr.700.305], https://www.byggforsk.no/dokument/639/tilstandsanalyse_av_bygninger_og_bygning_sdeler Lastet ned: 14.06.2023.
- [13] P. Gjerp, M. Opsahl og S. Smeplass, *Grunnleggende betongteknologi, 2. utg. utg.* (Betongkompetanse). Lillestrøm: Byggenæringens forl., 2004.
- [14] Statens vegvesen. 2015. *Prosesskode 2 - standard beskrivelse for bruer og kaier* [Internett]. Hentet fra: <https://www.vegvesen.no/globalassets/fag/handboker/hb-r762-081215.pdf>.
- [15] L. E. Helseth. 02.09.2020. *Epoksyharpikser* [Internett]. Hentet fra: <https://snl.no/epoksyharpikser>. Lastet ned: 23.03.2023.
- [16] Statens vegvesen. 01.11.2022. *N200 vegbygging* [Internett]. Hentet fra: <https://viewers.vegnorm.vegvesen.no/product/859942/nb>. Lastet ned: 25.03.2023.
- [17] Ø. Sæter, "Viktige parametere for prosjektering og utførelse av bestandige betongkonstruksjoner," SINTEF,2004, [Teknisk anvisning nr.520.026], Lastet ned: 11.04.2023.
- [18] *Betong — spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar*, NS-EN 206:2013+A2:2021+NA:2022, 2023.

- [19] Betongelementforeningen. *Betongelementboken på nett* [Internett]. Hentet fra: <http://betongelementboka.betongelement.no/betongapp/default.html>. Lastet ned: 12.04.2023.
- [20] Eurokode 2 prosjektering av betongkonstruksjoner del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger, NS-EN 1992-1-1:2004+A1:2014+NA:2021, 2021.
- [21] Bane NOR. 2023. *Armeringsregler* [Internett]. Hentet fra: https://trv.banenor.no/wiki/Bruer_og_konstruksjoner/Prosjektering_og_bygging/Betongkonstruksjoner#Armeringsoverdekning. Lastet ned: 12.04.2023.
- [22] Trafikverket. *Om oss* [Internett]. Hentet fra: <https://www.trafikverket.se/om-oss/>. Lastet ned: 22.06.2023.
- [23] Trafikverket, "Bro och broliknande konstruktion, byggande," TRVINFRA-00227, 01.07.2022.