

Vedlikehold av spennarmerte betongbruer

Sluttrapport FoU-prosjektet VESPA

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 1039



Tittel

Vedlikehold av spennarmerte betongbruer

Undertittel

Sluttrapport FoU-prosjektet VESPA

Forfatter

Karla Hornbostel, Lise Bathen, Magdalena Osmolska, Oliver A. Hooper

Avdeling

Fagressurs Drift og vedlikehold

Seksjon

Bru

Prosjektnummer

C15350

Rapportnummer

1039

Prosjektleder

Karla Hornbostel

Godkjent av

Marianne Eilertsen

Emneord

Betong, spennarmering, inspeksjon, reparasjon og bestandighet

Sammendrag

Denne rapporten gir en oversikt over bakgrunn, formål og resultatene fra FoU-prosjektet VESPA (Vedlikehold av etterspent armering). Prosjektet ble gjennomført i perioden 2021 til 2024. Gjennom prosjektet er det utviklet metoder for inspeksjon av spennsystemer og det er etablert rutiner for prioritering av inspeksjonsrekkefølge. Det er også gjennomført en rekke inspeksjoner, med utgangspunkt i anbefalt inspeksjonsmetodikk, som har gitt viktig læring til prosjektet. Å kunne beholde eksisterende konstruksjoner i vegnettet bidrar til å støtte Norges klima- og miljømål ved å redusere behovet for nybygging.

Title

Maintenance of prestressed concrete bridges

Subtitle

Final report R&D-project VESPA

Author

Karla Hornbostel, Lise Bathen, Magdalena Osmolska, Oliver A. Hooper

Department

O&M Planning and Engineering Services

Section

Bridges

Project number

C15350

Report number

1039

Project manager

Karla Hornbostel

Approved by

Marianne Eilertsen

Key words

Concrete, prestressed reinforcement, inspection, repair and durability

Summary

This report provides an overview of the background, purpose, and results of the R&D project VESPA (Maintenance of Prestressed Reinforcement). The project was carried out from 2021 to 2024. Through the project, methods for inspecting prestressed systems were developed, and routines for prioritizing the order of inspections were established. Several inspections were also conducted, based on the recommended inspection methodology, which provided valuable learning for the project. Maintaining existing structures in the road network helps support Norway's climate and environmental goals by reducing the need for new construction.



Sammendrag

Denne rapporten gir en oversikt over bakgrunn, formål og resultatene fra FoU prosjektet VESPA (Vedlikehold av etterspent armering). Prosjektet ble gjennomført i perioden 2021 til 2024 og har hatt som hovedmål å utvikle effektive rutiner for inspeksjon og vedlikehold av etterspente betongbruer i Norge. Prosjektet har vært organisert i fire delprosjekter: Inspeksjon, Utvalgte bruer for Undersøkelse og Studier, Vedlikehold og Implementering.

Sluttrapporten gir i første kapittel en oversikt over prosjektets bakgrunn og rammer, samt samarbeid etablert med andre prosjekter. Hensikten og formålet med prosjektet er beskrevet og det gis en oversikt over hvordan prosjektet har vært organisert. I andre kapittel følger en beskrivelse av prosjektets gjennomføring, deltakere, referansegruppe og interessenter, samt en oversikt over nytten av prosjektet. I kapittel 3–6 er resultatene av prosjektet oppsummering og kort forklart. Måloppnåelse og leveranser er vist i kapittel 7. Rapporten er oppsummert i kapittel 8, hvor det også gis anbefalinger for videre arbeid.

FoU prosjektet VESPA har oppnådd de fleste av sine mål, inkludert utvikling av inspeksjonsmetoder og en prioriteringsverktøy. Opplæring av ansatte i Statens vegvesen og andre vegeiere er gjennomført for å sikre implementering av resultatene. Noen mål, som videreutvikling av kompetanse om konstruktive konsekvenser ved dårlig injisering av kabelkanaler, krever videre arbeid.

Som et resultat av FoU-prosjektet er vi nå i stand til å gjennomføre systematisk inspeksjon og vedlikehold av etterspente betongbruer for å sikre deres levetid og sikkerhet. For å realisere gevinstene må de foreslåtte inspeksjons- og vedlikeholdsrutinene følges opp med tilstrekkelige midler og kontinuerlig kompetanseutvikling.

Summary

This report provides an overview of the background, purpose, and results of the R&D project VESPA (Maintenance of Post-Tensioned Reinforcement). The project was carried out from 2021 to 2024 and aimed to develop effective routines for the inspection and maintenance of post-tensioned concrete bridges in Norway. The project was organized into four sub-projects: Inspection, Selected Bridges for Investigation and Studies, Maintenance, and Implementation.

The VESPA R&D project has achieved most of its goals, including the development of inspection methods and a prioritization tool. Training of employees in the Norwegian Public Roads Administration and other road owners has been carried out to ensure the implementation of the results. Some goals, such as further development of competence on the structural consequences of poor grouting of cable ducts, require further work.

As a result of the R&D project, we are now able to systematically inspect and maintain post-tensioned concrete bridges to ensure their lifespan and safety. To realize the benefits, the proposed inspection and maintenance routines must be followed up with sufficient funding and continuous competence development.

Innhold

Sammendrag	I
Summary	I
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for prosjektet	1
1.2 Formål	2
1.3 Rammer og samarbeid med andre prosjekter	2
2 Prosjektorganisasjon	4
2.1 Gjennomføring	4
2.2 Prosjektdeltagere og referansegruppe	5
2.3 Interessenter	5
2.4 Nytteverdi	6
2.5 Resultatene og implementering	6
3 Inspeksjon og inspeksjonsliste	7
3.1 Inspeksjon av spennarmering – N-V441 Bruinspeksjon	7
3.2 Metoder for inspeksjon av spennarmering – R211 Feltundersøkelser	8
3.3 Registrering av skader på spennarmering	8
3.4 Prioriteringsverktøy for inspeksjonsrekkefølge	9
4 Utvalgte bruer – utførte spesialinspeksjoner	11
5 Vedlikeholds- og reparasjonsmetoder	18
5.1 Resultater Herøy FoU	18
5.2 Resultater EXCON	19
6 Andre resultater	20
6.1 Analyse av injiseringsmasse	20
6.2 Oversikt over stålkvaliteter	21
7 Måloppnåelse og leveranser	23
7.1 Måloppnåelse	23
7.2 Leveranser	24
8 Oppsummering og videre arbeid	26
8.1 Oppsummering	26
8.2 Videre arbeid	27
9 Referanser	28
Vedlegg A – Terminologi	29

Terminologi: Denne rapporten inneholder en liste over definisjoner som forklarer viktige begreper brukt i teksten, Vedlegg A.

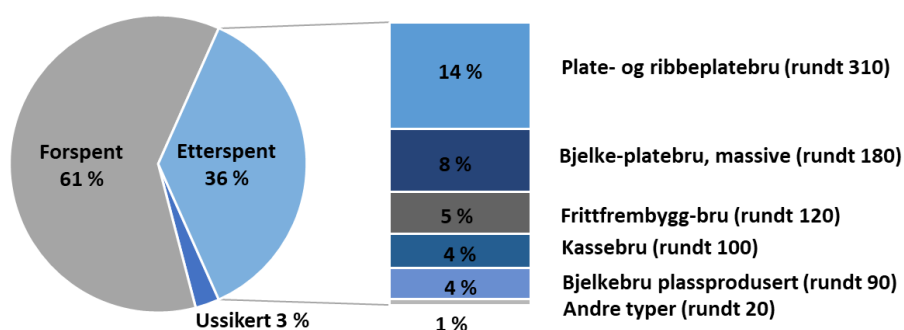
1 Innledning

1.1 Bakgrunn for prosjektet

I 2017 startet Vegdirektoratet opp FoU-programmet «Bedre bruvedlikehold». En av aktivitetene i programmet omhandlet inspeksjon og skader på spennsystemet i spennarmerte bruer (Statens vegvesen 2022). Inspeksjon av spennsystemer er vanskelig fordi spennarmering, forankringer og kabelkanaler ligger innstøpt. Det er i dag fremdeles ingen etablerte metoder som kan lokalisere korrosjon på spennkabler direkte. Indirekte metoder for å lokalisere hulrom i kabelkanaler brukes, ettersom hulrom kan være lokasjoner hvor korrosjon kan oppstå på spennkabler. I «Bedre bruvedlikehold» ble det undersøkt alternative inspeksjonsmetoder for å identifisere hulrom i spennkanaler, mulige korrosjonsmekanismer i ikke-injiserte eller dårlig injiserte kabelkanaler og konstruktive konsekvenser av skader på spennsystemet. Aktiviteten ble etablert på grunn av velbegrunnet mistanke om dårlig utførelsespraksis spesielt på 1960- og 1970-tallet, før forbedringer av praksis i bransjen kom fra midten av 1980-tallet, og igjen en forbedring på slutten av 1990-tallet.

Dårlig kontroll og manglende kvalitet på flere ledd i injiseringsprosessen kan ha resultert i hulrom, dårlig heft og korrosjon på spennsystemet. Korrosjon av spennkabler gir tap av bæreevne. Etterspente betongbruer utgjør en viktig gruppe bruer i Norge. Det er av største betydning at disse bruene blir fulgt opp på beste måte for å sikre levetid og sikkerhet i bruksperioden.

I Norge har vi totalt rundt 18 000 bruer på fylkes- og riksveger, inkludert veg- og gangbruer. Av disse bruene er omtrent 12 200, eller cirka 70%, registrert i BRUTUS med betong som hovedbyggemateriale. Blant betongbruene er rundt 2 300, eller 13%, registrert som spennarmert, både før- og etterspente. En oversikt over forskjellige brutyper med spennarmering er vist i Figur 1. Dataene viser at det er noen flere føroppspente bruer (omtrent 60%) enn etterspente bruer. En stor andel av de spennarmerte bruene ble bygget på 1960- til 1980-tallet.



Figur 1 – Spennarmerte bruer i Norge, brutype.

Mistanken om dårlig utførelse som medfører skader på spennsystemet over tid, ble bekreftet ved tilfeldig oppdagelse av korrosjonsskadene på spennarmering i Herøysund bru (bygd i 1966) i Nordland, høsten 2019. Skadene var så omfattende at bæreevnen til brua ble vurdert til å være så svekket, at det umiddelbart ble satt i gang sikringstiltak. Brua er etter hvert

erstattet med ny bru i 2024. Oppdagelsen av skadene på Herøysund bru og konsekvensene for bruas bæreevne og levetid, skjerpet fokuset i Statens vegvesen for nødvendigheten av en pålitelig og effektiv framgangsmåte for inspeksjon og vedlikehold av spennsystemet i bruer.

I 2021 ble det bevilget midler til FoU-prosjektet «VESPA – vedlikehold av etterspent armering», som en videreføring av FoU-programmet «Bedre bruvedlikehold». Prosjektet bygger på erfaringer fra Herøysund bru og kunnskapen fra det tidligere FoU programmet. Forskningsresultatene fra "Bedre bruvedlikehold" er implementert og videreutviklet i VESPA, og det er inngått samarbeid med større forskningsmiljøer. Prosjektet avsluttet i 2024. Gjennom sin aktivitet har VESPA forbedret Statens vegvesens oversikt over tilstanden på spennarmerte bruer og bidratt til en mer komplett strategi for sikker forvaltning av eksisterende bruer.

1.2 Formål

Prosjektet VESPA har hatt som hovedmål å utarbeide effektive rutiner for inspeksjon og vedlikehold av spennarmerte betongruer i Norge, med fokus på profesjonell forvaltning av vegnettet. Prosjektet har hatt følgende resultatmål:

1. Beskrivelse av metoder og utstyr for inspeksjon av etterspente betongruer.
2. Utarbeidelse av verktøy for prioritering av inspeksjonsrekkefølge for spennarmerte bruer i vegnettet (risk-rating).
3. Bidra til at rådgiverbransjen bygger opp kompetanse og utstyr for å gjennomføre spesialinspeksjoner av etterspente betongruer.
4. Utfordre leverandørbransjen til å videreutvikle teknikker og instrumenter for inspeksjon av spennarmering.
5. Videreutvikle kompetanse om konstruktive konsekvenser av manglende eller dårlig injeksjon av kabelkanaler, med eller uten korrosjonsangrep på spennkablene.
6. Etablere metoder for utbedring av skader på spennsystemer.
7. Lære opp ansatte i Statens vegvesen og andre vegeiere til å sikre at tilstrekkelige inspeksjoner av spennsystemer utføres og dokumenteres, og at passende tiltak velges.

1.3 Rammer og samarbeid med andre prosjekter

FoU-prosjektet VESPA har pågått fra 2021 til 2024. Total bevilgning til prosjektet har vært ca. 9 millioner NOK (ca. 6,5 millioner NOK til interne timer og 2,5 millioner NOK til eksterne bidrag og anskaffelser). Prosjektet har vært eid av Fagressurs, Drift og vedlikehold og har fått bevilgninger fra FoU-porteføljen i Divisjon Drift og vedlikehold.

Inspeksjon av spennarmering, som resultat fra FoU-programmet «Bedre bruvedlikehold» var allerede tatt i bruk i noe grad i bruforvaltningen. VESPA har bidratt til å oppnå full implementering av resultatene inn i Statens vegvesens håndbøker. Ved å utvikle verktøy for risiko-gradering for inspeksjonsrekkefølge, er det etablert en metode for å kunne prioritere inspeksjon gjennom kartlegging av ulike risiko-parametere for spennarmerte bruer. Implementeringen av disse metodene ligger hos bruforvaltningen i de enkelte regionale områdene og fylkene. VESPA har gjennomført opplæring i verktøyet hos de ulike brueiere.

VESPA har i denne delen av prosjekter hatt et aktivt og verdifullt samarbeid med noen fylkeskommuner, spesielt Trøndelag, Møre og Romsdal, Vestlandet, Nordland, samt Troms og Finnmark.

Innen fagområdet vedlikehold av spennarmering er det et stort behov for forskning og utvikling både nasjonalt og internasjonalt. Denne utfordringen kan ikke løses internt, derfor er det samarbeidet med eksterne forskningsmiljøer i Norge og internasjonalt. I regi av Nordland fylkeskommune og med bidrag fra VESPA, ble det etablert et samarbeidsprosjekt med eksterne aktører (NTNU, SINTEF og UiT), med Herøysund bru som utvalgt forskningsformål ([Herøy FoU – NTNU](#) 2022–2024). Prosjektet har samlet omfattende informasjon om bruas tilstand. Strukturell overvåkning er utført med sensorteknikk. Inspeksjoner av spennsystemet er gjennomført for å forstå korrosjonsmekanismene og gjennomgang av beste praksis for reparasjon. Ulike skadescenarier har blitt vurdert, og probabilistiske metoder er benyttet for å evaluere påliteligheten av resultatene. Prosjektet har gitt en verdifull mulighet til å forbedre ingeniørpraksis ved å bruke de nyeste vitenskapelige metodene for å vurdere en eksisterende og skadet spennarmert konstruksjon.

Temaet rundt vedlikehold av spennarmerte bruer er også tatt opp i et stort bransjeprosjekt under Norges forskningsråds Grønnplattform-paraply. EXCON – «Grønn forvaltning av konstruksjoner for infrastruktur» ([EXCON](#)) 2023–2025, har som mål å utvikle en generisk beslutnings- og samspillmodell basert på kostnads- og klimaaspekter for valg av forvaltningsstrategi for eksisterende betongkonstruksjoner. Som del av prosjektet testes nye inspeksjonsmetoder for spennarmert bruer, og vedlikeholds-strategier diskuteres.

2 Prosjektorganisasjon

2.1 Gjennomføring

Prosjektet har vært organisert i fire delprosjekter. Delprosjektene har vært rettet mot resultatmålene i henhold til avsnitt 1.2.

Delprosjekt 1 – Inspeksjon

Delprosjektet har arbeidet med videreutvikling av inspeksjonsmetoder for best mulig og mest effektiv kartlegging av skader på spennsystemer. Det er i tillegg utviklet et hjelpeverktøy for raskt å kunne prioritere inspeksjonsrekkefølge for et større omfang av bruer aktuelle for inspeksjon av spennarmering, basert på risikovurderinger.

Resultatmål: 1. og 2.

Delprosjekt 2 – Utvalgte bruer for undersøkelse og studier

Delprosjektet har arbeidet med datainnsamling fra utvalgte bruer. Formålet har vært å både prøve ut inspeksjonsmetoder og å benytte verktøyet for prioritering av inspeksjonsrekkefølge (utprøving av metoder utviklet i DP 1). I hovedsak er det gjennomført spesialinspeksjoner på konkrete bruer både i SVV og i samarbeid med fylkeskommuner. Delprosjektet har bidratt med faglig støtte til dem som bestilte spesialinspeksjonene og gjennomført et begrenset antall av spesialinspeksjoner i egen regi.

Resultatmål: 3. og 4.

Delprosjekt 3 Vedlikehold

Delprosjektet har arbeidet med kartlegging av konsekvenser og utbedringsmetodikk ved skader på spennarmering. Opparbeidelse av kompetanse om konstruktive konsekvenser av manglende og/eller dårlig injeksjon av kabelkanaler har stått sentralt, både for funn med og uten korrosjonsangrep på spenntråder. Kartlegging av utbedringsmetoder har vært en viktig oppgave. Delprosjektet har i hovedsak vært en del av forskningssamarbeid i FoU Herøy og EXCON.

Resultatmål: 5. og 6.

Delprosjekt 4 Implementering

Delprosjektet har arbeidet med å formidle og implementere funnene fra VESPA. Dette omfatter regelmessige oppdateringer fra prosjektet til en referansegruppe i Statens vegvesen (se avsnitt 2.2) og til bruforvaltere både internt og eksternt. Det er utarbeidet notater, presentasjoner og rapporter som vil kunne brukes til opplæring av personell rundt inspeksjonsmetodikk og rutiner. De benyttes også til aktiv formidling i relevante kurs på universitet (masterutdanning, EVU-kurs etc.), konferanser, fagdager og lignende. Delprosjektet har fremmet aktivt samarbeid i fagfora. Leveransene er oppsummert i avsnitt 6.

Resultatmål: 7.

2.2 Prosjektdeltagere og referansegruppe

Prosjektet ble initiert av Roy Antonsen (Statens vegvesen, Divisjon Drift og vedlikehold (DoV), Fagressurs Bru fram til oktober 2023) og er ledet av Karla Hornbostel (Statens vegvesen, DoV, Fagressurs Bru). Sentrale prosjektdeltagere fra DoV, Fagressurs Bru har vært Magdalena Osmolska og Oliver J. Hooper. Fra Vegdirektoratet, Myndighet og regelverk (MoR), Konstruksjoner, har Lise Bathen bidratt betydelig til prosjektet.

Prosjektet har hatt en intern referansegruppe i Statens vegvesen som ble oppdatert jevnlig om framgang og status av prosjektet. Referansegruppe har bestått av:

- Marianne Eilertsen – prosjekteier, avdelingsdirektør, Fagressurs Drift og vedlikehold
- Stein Inge Rasmussen – seksjonsleder, Fagressurs Drift og vedlikehold, Bru
- Magne Langeteig – DoV, Vedlikehold vest, fram til 2022 fra 2022 Bengt Olav Skogland
- Knut Ove Dahle – Dov, Teknologi
- Knut Grefstad – MoR, Konstruksjoner
- Øyvind Bjøntegaard – MoR, Konstruksjoner
- Vesna Randjelovic – MoR, Konstruksjoner
- Morten W. Hansen – MoR, Konstruksjoner

2.3 Interessenter

Prosjektet hadde et aktivt samarbeid med universiteter (NTNU, UIT), forskningsmiljøer (SINTEF), og andre vegeiere (fylkeskommuner). VESPA har inngått samarbeidsavtaler med flere fylkeskommuner (Møre og Romsdal, Vestland, Trøndelag, Troms og Finnmark).

Interessegruppen er sammenstill i Tabell 1.

Tabell 1 – Eksterne interessenter VESPA.

Aktør	Aktørens interesse av prosjektet	Grad av påvirkning på prosjektet
Fylkeskommuner	Opparbeidelse av kunnskap og god forvaltning av egen bruportefølje.	Stor
Universitet (NTNU, UIT)	Utdanning på relevante/nødvendige fagområder og ledelse av FoU prosjekt «FoU Herøy».	Noe større grad
SINTEF	Opparbeidelse av kunnskap og ledelse av FoU prosjekt «EXCON».	Noe større grad
Rådgivere	Opparbeidelse av kunnskap for å kunne ta på seg inspeksjonsoppdrag, kapasitetsberegninger, rehabiliteringsoppdrag etc..	Noe

2.4 Nytteverdi

Prosjektet VESPA har bidratt til at vi i dag er i stand til å opparbeide nødvendig oversikt over tilstanden til spennarmerte bruer i Norge. Dette har styrket vår evne til å gjennomføre målrettet og planlagt vedlikehold. Prosjektet har betydelig økt kompetansen internt i Statens vegvesen innen inspeksjon og vedlikehold av spennarmerte bruer. Også andre vegeiere, spesielt fylkeskommunene, har tatt i bruk kunnskapen opparbeidet i prosjektet for å forvalte egen bruportefølje. Dette har sikret bedre oversikt over tilstanden på spennarmerte bruer nasjonalt. I privat sektor har prosjektet styrket kompetansen hos norske rådgivere og stimulert til økt oppdragsmengde innen inspeksjon og vedlikehold av spennarmerte bruer. For brukere og publikum har prosjektet økt tryggheten ved å fremme søkelys på bruenes tilstand og å iverksette forutsigbare tiltak for å sikre fremtidig fremkommelighet.

Selv om det ikke er foretatt konkrete beregninger av nytteverdien, har prosjektet økt påliteligheten av våre inspeksjons- og vedlikeholdsrutiner. Resultatene vil føre til økt bruk av midler for inspeksjoner og vedlikehold, samtidig som vedlikeholds-investeringene vil redusere behovet for hastetiltak, uforutsigbare stenginger eller i ytterste konsekvens, kollaps av utsatte bruer.

For at gevinstene skal realiseres, må de foreslåtte inspeksjons- og vedlikeholdsrutinene følges opp, og det må settes av tilstrekkelige midler til oppfølging. Dette krever økte bevilgninger for drift og vedlikehold av spennarmerte bruer, samt fortløpende fokus på å øke kompetanse både i Statens vegvesen og øvrige vegeiere.

2.5 Resultatene og implementering

Kapitlene 3–6 gi en oversikt over alle resultatene fra delprosjektene 1–3 (se avsnitt 2.1). Leveransene er oppsummert i avsnitt 7.2. Prosjektet har kontinuerlig jobbet med å sikre at viktige resultater ble implementert fortløpende. Resultatene har blitt iverksatt på følgende måter:

- Oppdatering av regelverk,
- Publisering av forskningsresultater,
- Spredning av ny kunnskap, gjennom interne og eksterne konferanser, seminarer og kurs.

Prosjektresultater som er rapportert i notater er arkivert i Statens vegvesens interne arkivsystem MIME, saksnummer for de ulike notatene er gitt i kapittel 7; *Måloppnåelse og leveranser*.

3 Inspeksjon og inspeksjonsliste

3.1 Inspeksjon av spennarmering – N-V441 Bruinspeksjon

N-V441 *Bruinspeksjon* gir en veiledning i gjennomføring av bruinspeksjoner for ulike inspeksjonstyper, og gjelder for bruer som definert i vegnormal N401 *Bruforvaltning fylkesveg* og retningslinje R411 *Bruforvaltning riksveg*. Inspeksjon av spennarmering er innført i N-V441 som et resultat av arbeidet i VESPA og er en oppfølging av undersøkelser og funn som ble gjort i FoU-programmet Bedre Bruvedlikehold (2017–2021). Inspeksjon av spennarmering skal alltid utføres som spesialinspeksjon. Spennarmering inspiseres som gitt under N-V441 tillegg B (Metoder oppmålinger/ materialundersøkelser), kapittel 3.8.

Kontroll av før- og etteroppspent armering er aktuelt både som rutine for inspeksjon av spennarmerte konstruksjoner og ved mistanke om mangelfull injisering eller korrosjon på spennarmering. Det skal alltid være en grundig gjennomgang av dokumenter fra byggeperioden, tegningsgrunnlag og tidligere inspeksjoner før en inspeksjon utføres på stedet. Spesialinspeksjonen utføres så grundig og omfattende at skadetype, konsekvens, omfang og årsak kan bestemmes.

Metodebeskrivelsen i N-V441 er et verktøy for planlegging, gjennomføring og evaluering av spesialinspeksjon av henholdsvis førspente bjelkebruer og bruer med etteroppspent armering. Beskrivelsen bygger på erfaring fra gjennomførte inspeksjoner i prosjektperioden, de ulike bruene som har gitt erfaringsgrunnlaget er omtalt i kapittel 5 *Utførte Inspeksjoner*. Skader på spennarmering kan føre til tap av spennkraft som kan få svært alvorlige konsekvenser for bruas bæreevne. Metoden er stikkprøvebasert og områder som blir utvalgt for inspeksjon skal være basert på forhåndsvurdering av hvilke områder som bør inspiseres.

Tilnærmingen ved inspeksjon vil være ulik mellom disse to hovedprinsippene for forspent armering, men har likevel mange likhetstrekk. Felles for all inspeksjon av spennarmering er at det ved verifikasjon av korrosjonsomfang ved opphugging med destruktive metoder (DT), må utvises ytterste varsomhet.

3.2 Metoder for inspeksjon av spennarmering – R211

Feltundersøkelser

Håndbok R211 *Feltundersøkelser* er utvidet med metodebeskrivelser for inspeksjon av spennarmering. Metodebeskrivelsene skal sikre at spesialinspeksjon av spennarmering utføres etter hensikten, og at konklusjoner og resultater gir en riktig beskrivelse av tilstanden i de områdene som inspiseres. Beskrivelsene er å betrakte som spesielle undersøkelser og sorteres under kapittel 3.4 Spesielle betongundersøkelser. Følgende metoder, spesielt beregnet for bruk ved inspeksjon av spennarmering, er utarbeidet;

Tabell 2 – Metodebeskrivelser R211.

R211– nr	Metodenavn	Bruk
3.4.6	Bruk av Georadar (GPR) for lokalisering av slakkarmering og spennarmering	Metoden benyttes for lokalisering av slakkarmering og spennarmering (med eller uten kabelkanal). I motsetning til målinger med covermeter, kan bruk av GPR lokalisere armering gjennom asfaltlag og ned i større dybder.
3.4.7	Lokalisering av hulrom i innstøpte kabelkanaler ved bruk av ultralyd (Ultralyd puls–ekko (UPE))	Metoden benyttes ved kontroll av spennarmering. Beskrivelsen omfatter kontroll av kabelkanaler for manglende og/eller utilstrekkelig injiseringsmørtel med Ultralyd puls–ekko (UPE).
3.4.8	Lokalisering av hulrom i innstøpte kabelkanaler med Impact Echo (IE)	Metoden benyttes ved kontroll av spennarmering. Beskrivelsen omfatter kontroll av kabelkanaler for manglende eller utilstrekkelig injisering ved hjelp av Impact Echo (IE).
3.4.9	Frilegging av kabelkanaler og spennkabler for visuell kontroll	Metodebeskrivelsen omfatter metodikk for fjerning av betongoverdekning og åpning av kabelkanaler inn til spennkabler for visuell inspeksjon.

3.3 Registrering av skader på spennarmering

For funn av skader på spennarmering ved inspeksjoner er det utarbeidet forslag til prosedyre for skaderegistrering, overlevert som notat til systemeierne av Brutus. Forslaget er tilpasset dagens metoder for registrering av skader i Brutus. I en fremtidig videreutvikling av Brutus eller andre bruforvaltningssystemer bør det vurderes å introdusere egne skadetyper knyttet direkte til spennarmering. Følgende prosedyre foreslås i forhold til dagens metoder for registrering av skader:

- Alle skader på spennarmering registreres som armeringskorrosjon, og det skal gis en skriftlig beskrivelse av skaden.
- Det angis en skadekonsekvens på bæreevnen og det gis en tiltaksvurdering.
- Det føres inn vurdering av skaden som sårbarhet for bæreevnen til konstruksjonen, med kort beskrivelse av vurderingen. Den skal følges av inspeksjonsrapport fra spesialinspeksjonen som vedlegg til vurderingen.

Som støtte for vurdering av skader som registreres er det utarbeidet en klassifisering av skadegrad 1–4, på henholdsvis spennstål og injiseringsmasse, som vedlegg til prosedyre utarbeidet for N-V441 og for registrering i Brutus.

Tabell 3 – Klassifisering av skadegrad på spennstål og injiseringsmasser.

Skadegrad	Skade på spennstål	Skade på injiseringsmasse
1	Liten skade, uten tegn til korrosjon, eller overflatekorrosjon som lett lar seg gni vekk	Liten skade – Nær helt fullt, liten skalk med hulrom i kanalen
2	Middels skade, overflatekorrosjon som ikke lar seg gni vekk	Middels skade, helt uten eller delvis injisering, lokalt hulrom – utbredelse 0,5 – 1,0 m
3	Stor skade, stedvis groptæring	Stor skade, helt uten eller delvis injisering, hulrom i stor utstrekning > 1,0m
4	Svært stor skade, omfattende groptæring eller brudd i spennstål	Svært stor skade, delvis injisert, injiseringsmasse er i «dårlig tilstand». F.eks, løs smuldret, våt, myk etc.

3.4 Prioriteringsverktøy for inspeksjonsrekkefølge

Det er ressurskrevende å utføre inspeksjon av spennarmering, derfor er det nødvendig å prioritere bruene som er aktuelle for denne type undersøkelse. I VESPA ble det utviklet en metode for å støtte prioritering av inspeksjoner av spennarmerte bruer. Prioriteringen er basert på tilgjengelig data i Brutus, dvs. byggeår, brutype, statisk system, skadedata, brukategori, største spenn og klima. Grunnlagsdata for prioriteringsverktøyet trekkes ut fra BRUTUS-databasen.

Hensikten med dette prioriteringsverktøyet er å raskt kunne prioritere et større omfang av bruer aktuelle for inspeksjon av spennarmering. Prioriteringen gjøres basert på ulike risikofaktorer med tanke på sannsynlighet og konsekvenser for skader på spennsystemet. Risikofaktorene er basert på kunnskap om årsaker til skader på spennarmering og praksis for bygging av spennarmerte vegbruer i Norge. All inputdata for analysen kan hentes direkte fra BRUTUS.

Prioriteringsfaktoren «Prioritets-tall» P_i (prioritet for inspeksjon) benyttes til å rangere bruene i en utvalgt portefølje. Et høyere tall for en bru betyr at den bør prioriteres foran en annen bru som ved beregning får lavere prioritets-tall P_i . Prioritets-tallet P_i beregnes med ulike delfaktorer hvor disse er vektet ut ifra ulike kriterier:

$$P_i = \text{Konsekvens for stenging} \bullet [\text{Byggeår} \bullet \text{vektall} + \text{Brutype} \bullet \text{vektall} + \text{Membran} \bullet \text{vektall} + \text{Klima} \bullet \text{vektall} + \text{Skade} \bullet \text{vektall}]$$

Vekting vil påvirke hvor mye de ulike faktorene skal telle i «prioritets-tallet» P_i . Vekttallet varierer for de ulike delfaktorene basert på hvor stor betydning de har i vurderingen av kritikaliteten for tilstanden i spennsystemet.

Prioritets-tallet P_i er uttrykt ved formelen:

$$P_i = K_v \cdot [(F_{BA} \cdot V_{BA}) + (F_{BT} \cdot V_{BT}) + (F_M \cdot V_M) + (F_K \cdot V_K) + (F_S \cdot V_S)]; \text{ hvor:}$$

- *Konsekvensfaktoren* K_v representerer konsekvensen for framkommelighet om brua må sperres på grunn av nedsatt funksjon av spennsystemet
- *Byggeårfaktoren* F_{BA} gir en vekting som tar hensyn til utviklingen i utførelsespraksis for bygging med spennarmering i Norge.
- *Brufaktoren* F_{BT} avhenger av brutype og statisk system, og er ment å bestemme risikoen for sprøbrudd av brua. Brufaktorene er inspirert av den britiske standarden (*CS 465 Management of post-tensioned concrete bridges*), og er tilpasset norske brutyper, de tilgjengelige BRUTUS-data som benyttes og har egnet inndeling i trinn for norske forhold.
- Sannsynligheten for at fukt og klorider kan ha nådd spennsystemet fra brudekket påvirkes av om brua har membran, om den eksisterte fra byggeår eller er lagt noen år senere, samt om den har passert sin forutsatte levetid. Det er veldig få bruer som har denne informasjonen i BRUTUS, og denne faktoren er derfor forenklet slik at *membranfaktoren* F_M er basert på byggeår.
- *Klimafaktoren* F_K tar hensyn til påvirkningen av belastningen fra ytre miljø på prioriteringen av bruer for inspeksjon.
- *Skadefaktor* F_S er summen av skadetyper registrert på et utvalg av elementer på samme konstruksjon. Skadefaktoren tar ikke stilling til om skaden på konstruksjonen er f.eks støpesår eller armeringskorrosjon. Det er omfanget av ulike skader og hvor mange steder de har oppstått som avgjør størrelsen på skadefaktoren.

Prioriteringen bør tolkes som en første grovsortering og kan benyttes som et utgangspunkt for å prioritere inspeksjoner på spennarmering i den utvalgte porteføljen. Resultatet av en gjennomgang med verktøyet må justeres dersom det er nødvendig ut ifra kunnskap om de aktuelle bruene.

4 Utvalgte bruer – utførte spesialinspeksjoner

Totalt er det utført 13 inspeksjoner (inkludert forutgående undersøkelser før anbud om spesialinspeksjoner) av etterspente bruer som en del av, eller støttet av, FoU-prosjektet VESPA. Fem av bruene eies av Statens vegvesen, mens fylkeskommunene har ansvaret for vedlikeholdet av de resterende åtte. Det er også inkludert fire inspeksjoner utført av fylkeskommunene i egen regi, uten støtte fra VESPA. Inspeksjonsrapportene fra disse inspeksjoner er gjort tilgjengelige for prosjektet VESPA som bidrag til erfaringsbygging.

Inspeksjonene satte søkelys på tilstanden til etterspente kabler eller spennstenger, kabelkanaler, og den generelle tilstanden til bruene. I Tabell 4 er det gitt en oversikt over disse inspeksjonene og funnene. Inspeksjonene har gitt viktig bidrag til kompetansebygging i prosjektet og hos vegeiere.

Tabellen gir en detaljert oversikt over spesialinspeksjonene utført på bruene. Den inneholder spesifikk informasjon om både bruene og inspeksjonene som er utført. Bruene er identifisert med navn og nummer. Deretter følger byggeåret (kolonne 2) og hovedbyggverketstype (kolonne 3), som beskriver hvilken type konstruksjonsprinsipp som er benyttet. Videre inneholder tabellen informasjon om spennarmeringstype og stålkvalitet (kolonne 4). Prioriteringsscoren (kolonne 5) indikerer hvor høy prioritet bruene har i henhold til prioriteringsverktøyet beskrevet i avsnitt 3.4. Det er også beskrevet hvem som har hatt ansvaret for å gjennomføre den aktuelle inspeksjonen (kolonne 6). Brulengde i meter [m] er angitt i kolonne 7, mens inspisert lengde, i kolonne 8, angir hvor mye av bruene som faktisk ble inspisert, både i meter og som en prosentandel av den totale lengden. Funn fra bruarkiv/Brutus (kolonne 9) gir resultater og funn fra tidligere inspeksjoner eller arkiverte data om bruene. Inspeksjonsresultater (kolonne 10) viser resultatene fra den aktuelle inspeksjonen, inkludert eventuelle skader eller problemer som ble oppdaget. Funn om inspeksjonsmetoder (kolonne 11) inneholder observasjoner og vurderinger av de metodene som ble brukt under inspeksjonen. Konklusjon og videre arbeid (kolonne 12) oppsummerer inspeksjonens konklusjoner og gir innspill til videre arbeid. Tilstand vurderes av bruens nåværende tilstand basert på inspeksjonsresultatene.

Tabell 4 – Oppsummering av inspeksjonen utført/støttet av VESPA FoU-prosjektet.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
Brunavn	Bygge år	Hovedbygg- verkstype	Spennarme- ringstype/ stål kvalitet	Priori- tering score	Inspeksjons- gjennomføring	Bru lengde [m]	Inspisert lengde* [m] / % av bru lengde	Funn fra bruarkiv/Brutus	Inspeksjonsresultater	Funn om inspeksjonsmetoder	Konklusjon og videre arbeid
Statens vegvesen bruer											
03-0156 Sagkrakken	1959	G/S-bru, platebru, massiv, med strekkbånd	Spennstag/ St 80/105	40	Egen/rådgiver	33,0	2,60 / 7,9%		Ganske små områder med mulig tomme kanaler ble funnet med ultralyd i strekk-båndet, men resultater kunne ikke ha blitt verifisert med opphugging	- Tilstanden til kanaler i bruflaten kunne ikke undersøkes på grunn av asfaltbelegg - De store ujevnheter på betongoverflaten i strekk-båndet påvirker påliteligheten til måleresultater	Tilstand: usikkert
14-1630 Måløy	1973	Frittfrembygg- bru	BBRV 44ø6 /St 155	63	Rådgiver	1 224,0	84,9 / 7%	Noen feil rapportert i byggeperioden: - Problemer med oppspenningskraft og feil på kabler - Stadige lekkasjer i underside drager - Kabelen var delvis fylt med vann, utbedret senere - Injisering ikke helt vellykket på en kabel i sidespenn - Problemer med injisering pga. vinteren – litt uklart hvor på brua - Isopropanol ble brukt	17 lokasjoner ble inspisert - Av 16 kabelkanaler 1 ble funnet helt tom 2 kan ha store hulrom på baksiden - Den tomme kanalen med diesellukt - Dieselen kan ha blitt brukt som frostvæske frem til injisering - I de helt tomme kanaler viste spennarmering lav grad/noe overflatekorrosjon - Ingen kraftig korrosjon eller brudd ble funnet - Generelt var tilstanden god	- Suksessen til verifisering med kjerneboring er avhengig av plassering av hulrommene i forhold til spennarmering (hulrom kan være på baksiden av kanalen eller spennkabel) - Svært små hulrom indikert av ultralyd er noen ganger vanskelig å verifisere - Prosedyre med ultralyd, impact ekko og kjerneboring for verifisering fungerte etter hensikten - Metode for å reparere hullet etter kjerneboring fungerte godt	Tilstand: Bra - Pga. bruk av diesel kan det være en risiko for dårlig heft mellom kanalen og injiseringsmasse - Det er ikke mulig med dagens metodikk å verifisere hulrom på baksiden av en kanal, og metoder for å gjøre dette bør utvikles - Det er utfordringer å identifisere størrelsen på et hulrom eller om det pågår korrosjon ved et hulrom – for å bekrefte dette må åpne kabelkanal
15-1360 Gjøsundbrua	1973	Bjelke-platebru m/sparerør, m/vinger	CCL 14 x 7/0,7"	49,2	Rådgiver	22,62	Ingen inspek- sjon av kabel			Målinger med georadar ble umulig pga. montert karbonnett i KB-systemet	Tilstand: usikkert
12-2080 Nygårdsbru	1978	Kassebru, konstant høyde, skrå vegger	CCL 12ø13 270 K	49,2	Rådgiver og egen	337,0	ca. 7,05 / 2%		9 lokasjoner ble inspisert - Ingen tegn på dårlig injisert kabelkanal, eller korrosjon på spennarmering - Generelt er tilstanden til østlige viadukt bedre enn vestre viadukt. Tilstanden var god, unntatt lokale skader forårsaket av vannlekkasjer	- Den store mengden slakkarmering i støpeskjøt og forankringssoner gjorde det vanskelig å finne spennkablene med GPR - Det å finne kabler i nærheten av skjøtekobling var også utfordrende ved senere befarig (egen)	Tilstand: Bra

18-1837 Gimsøy- straumen	1981	Frittfrembygg- bru, vert. vegger	BBRV RR656 og FR656	67,2	Rådgiver	839,5	22,7 / 3%		• 7 lokasjonen ble inspisert • Fra alle utførte målinger ble oppdaget kun ett mistenkelige områder i en lokasjon.	• Til tross for sterkt ultralyd-signal som indikerer hulrom, ble det ikke oppdaget hulrom med åpning av kanal. Endoskopinspeksjon ble utført kun fra den ene siden, og eventuelle hulrom bak spennkabelen er kan ikke nås/verifiseres. Tilgang fra utsiden vil være nødvendig for å ha tilgang rundt hele kabelkanalen • Ultralydskanning fungerer best når data samles inn for hver kanal separat; I brudekket var det ikke mulig siden avstanden mellom kabelkanalene var tettere enn instrumentets arbeidsbredde. • Mindre utgave av GPR ble brukt, – i noen områder var det vanskeligheter på grunn av ujevnheter i betongoverflaten	Tilstand: Bra
Fylkeskommune bruer											
19-0511 Tromsøbrua	1960	Frittfrembygg- bru, vert. vegger	Spennstag	65,8	Egen	1 016,0	Ingen inspek- sjon av stag		• Betongavskalling og korrosjon på det ytterste spennstaget i vingen ble observert lokalt i vingen i hovedspennet fra sørsiden		Tilstand: usikkert
18-1069 Herøysund bru	1966	Bjelkebru, plassprodusert, variabel høyde m/samvirke		57,6	Rådgiver (2020)	153,9	Ca. 14,9 / 10%		• 7 lokasjoner ble inspisert • Samtlige 8 kabelkanaler i bjelkene manglet delvis injiseringsmasse (flere ca. 1 meter lengde), og 1 kabelkanal hadde 3 trådbrudd og ett 6m langt hulrom • Det ble funnet delvis injiserte kabelkanaler i brudekket • Flere bøyeriss ble funnet i bjelker midt på brua	• Inspeksjon tok omtrent en uke for 3 personer, i tillegg til 2 tidligere utførte inspeksjoner under FoU-programmet Bedre Bruvedlikehold.	Tilstand: Dårlig
12-1450 Risnes	1967	Frittfrembygg- bru, vert. vegger	Spennstag	61,6	Rådgiver	103,26	usikkert		• Ingen hulrom ble funnet med utboring i kabelkanaler • Det ble funnet 1 plass med synlig spennstag, og flere steder med korrodert slakk-armering (liten overdekning) • Brua er i god forfatning	• Ved inspeksjonen ble det ikke avdekket skader eller manglende injisering av mellomrommet mellom trekkerør og spennstag, selv om ultralydsmålingene indikerte at det er hulrom i betongen • Metodebeskrivelsene i rapport nr. 718 er lite egnet for	Tilstand: Bra

										avdekking av hulrom rundt spennstag • Man må stille inn instrumentet på små luftlommer (pga. svært liten avstand mellom kabelkanal (<5mm) og spennarmering) og dermed får betongens porøsitet en betydning for resultatene.	
19-0781 Gisundbrua	1972	Frittfrembygg, kassebru	BBRV 5506 /St 150/175	58,8	Rådgiver	1 147,0	19,5 / 2%	Mange feil rapportert i byggeperioden: • Injisering av del av kabler ble utført ved lav temperatur, noe som resulterte i frostskaider ved trompeter i forankringssonen • Propp ved injisering og mye lekkasje underveis fra kabelkanalene. Indikasjoner på mulig stående vann i kanaler • Store variasjon i forlengelsene ved oppspenning av kablene i hele fritt-frembygget • Overspenning under oppspenning av flere kabler • Borhull i kanalene og registrert rustskaider på spenntrådene i byggefasen • Ufullstendig injiserte kabler (som ble forsøkt utbedret flere ganger i byggefasen)	• 2 lokasjoner ble inspisert • I bruplate alle 10 kabelkanaler ser injisert ut (ultral lyd), men ingen boring ble gjort for verifikasjon • Av 8 kabelkanaler i bjelkene ble 1 funnet helt tom og minst 2 ble funnet delvis tomme • I helt tomme kanaler viste spenntrådene noe mindre overflatekorrosjon • Ingen kraftig korrosjon eller brudd ble funnet • Generelt var tilstanden relativt god • Mye opprissing på grunn av antatt alkalie-reaksjoner (ASR).	• Ultralyd forstyrres av Alkali-reaksjoner(ASR). Resultatene er vanskelige å tolke. • Resultatene fra Impact-Echo er av samme grunn vanskelig å tolke. • For små overdekninger (3-4 cm) var meisling mer effektivt enn kjerneboring for verifikasjon • I 2 av 3 kabler var ultralydresultatene ikke i samsvar med faktisk tilstand (fra visuell kontroll)	Tilstand: Dårlig • Til tross for at kabeltilstanden ble funnet relativt god er det registrert store variasjoner mellom ulike steder. Bruas tilstand samlet med alle skadetyper er dårlig. Den har flere utfordringer med annen utviklet skade. De utvalgte stedene som er undersøkt er usikre mht om de er representative for tilstanden til hele brua.
17-0898 Langsundet	1972	Frittfrembygg- bru, vert. vegger		63	Rådgiver	152,5			• Det ble funnet tegn på steinreir og lokalt dårlig vibrering av betongen rundt selve kabelkanalene, spesielt ved spennarmeringskomponentene , men det ble ikke funnet tegn	• Kombinert bruk av GPR og Ultralyd var ideelt til å lokalisere og undersøke injiseringsgraden av spennkablene	Tilstand: Bra

									på uninjiserte kabelkanaler annet enn i noen få lokasjoner • Det ble funnet korrosjon på innsiden av kabelkanalene og i mindre omfang på selve kablene. Korrosjonsprodukter kunne sees å være innstøpt i injiseringsmassen og det antas at det har vært fuktighet i kabelrørene før og under injisering.		
12–2045 Lepsøysundet	1978	Frittfrembygg- bru, vert. vegger		71,4	Rådgiver	296,0	11,4/ 4%		• 4 lokasjonen ble inspisert • Det er mulig å se kabelkanalene ved hjelp av ultralyd, men ikke mulig å vurdere med sikkerhet graden av injisering. • I området mellom kabelkanaler forstyrret skaden på oversiden av brudekket Impact-Echo-målingene. Det kunne ikke ses om det ble foretatt målinger mellom to kabelkanaler eller direkte på toppen av en kabelkanal, og siden kanalene ikke kunne lokaliseres med GPR, kunne det ikke fremskaffes brukbare data på dette området. • I bunnplaten er det dokumentert injisering med åpning av en kabelkanal	• Det er nødvendig at overflatene er flate og jevne for at målinger med ultralyd skal kunne gjennomføres. • Områder med delaminering i overflaten påvirker målingene. • Når backwall brukes som referanse i Impact-Echo-målinger, vil en endring i tykkelsen på enkeltområder gir avvik i data. Målingene vil derfor ikke kunne brukes til å vurdere om det finnes hulrom i kanalene. Denne typen målinger bør derfor utføres før det oppstår omfattende skader på konstruksjonen. • Trafikken forårsaket vibrasjoner i brua, noe som genererte støy som kunne sees i målingene • Det kunne ikke vurderes med sikkerhet om det er hulrom i kabelkanalene i forankringene med ultralyd.	Tilstand: usikkert

* Brulengde som ble inspisert kabler for

Tabell 5 – Oppsummering av inspeksjonen utført utenfor VESPA FoU-prosjektet.

[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]
Brunavn	Bygge år	Hovedbygg- verkstype	Spennarme- ringstype/ stål kvalitet	Priori- tering score	Inspeksjons- gjennomføring	Bru lengde [m]	Inspisert lengde* [m] / % av bru lengde	tom	Inspeksjonsresultater	Funn om inspeksjonsmetoder	Konklusjon og videre arbeid
15-0788 Remøybrua	1966	Bjelkebru, plassprodusert , variabel høyde m/samvirke	Spennstag	57,6	Rådgiver	340,0	Ca. 8 / 2%		• 8 lokasjoner ble inspisert • Kabelkanal fullt injisert bortsett fra en mindre luftlomme (par mm)	• Tilkomst til indre lag med spennstag i etterspent bjelker begrenset/umulig. • Pga. spennstagenes dimensjoner utfordrende å skille mellom lengdearmering og spennstag. Dette krevde flere kalibreringer ved opphugginger.	Tilstand: Dårlig (generell), Usikkert/bra (spennsystem) • Korrosjonstilstanden til spennkabler ble ikke undersøkt, men ingen hulrom ble funnet med lokalt åpninger
15-1364 Rundebrua	1982	Kassebru, fritt- frambygg, vertikale vegger	BBRV 644, 44ø6/ St 160/180	75,6	Rådgiver	428,0	Ca. 11,5 / 2%		• 8 områder ble inspisert • Kun en kabelkanal, med manglende injisering på 25-30cm lengde, og generelt liten korrosjon. Hulrom er funnet ved at bore opp fra undersiden • Mindre hulrom/delvis injisert er funnet på 3 andre steder (opp til 30 cm lang) med liten korrosjon.	• Metode som baseres på georadar og ultralyd, er ideelt til undersøking injiseringsgraden av kabelkanalene, stikkprøvebasert	Tilstand: Bra
15-1433 Sørsundbrua	1963	Kassebru, frittframbygg	Spennstag	75,6	Rådgiver	400,0	Ca. 3,9 / 1%		• Kabelkanaler var tilstrekkelig fylt	• Spennstagsinspeksjon er utfordrende siden små luftområdene er vanskelige å avdekke • Lite mellomrom mellom stag og trekkerøret gjør at ultralyd skanning kan gi unøyaktige resultater. trekkerør var tilstrekkelig fylt selv om ultralyd måling viste sterkere signal enn vanlig - Basert på undersøkelse i laben: • Kanalene som ikke er fullt injisert, gir «deformert» ultralyd bilde (på B-scan) sammenlignet med det injiserte røret. • Spennstag som ligger «under» armering gir svakere signal enn spennstag som ikke ligger «under», men uansett, selv om det er svakere signal, er det igjen deformert form, på grunn av luft som ultralyd reagerer kraftig på.	Tilstand: Bra
16-0982 Straumhol- brua	1978	Kassebru, frittframbygg, vertikale vegger		79,8	Rådgiver	180,6	13,4 / 7%		• I noen lokasjoner ble funnet tegn på hulrom enkelte steder i betongen, men ikke tegn på uinjiserte kabelkanalene. Men	• Den høye mengde av slakkarmering har trolig hatt samme utslag som et føringsrør ved georadar undersøkelsen	Tilstand: Bra

									opphugginger viste fullt injiserte føringsrør og kun små spor av korrosjon på innsiden av kabelkanalene samt lett korrosjon på spennkabler (konkludert som byggeplasskorrosjon)	• Metode som baseres på georadar og ultralyd, er ideelt til undersøking injiseringsgraden av kabelkanalene	
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5 Vedlikeholds- og reparasjonsmetoder

Hittil har det kun blitt utført et begrenset antall reparasjoner på spennarmerte bruer i Norge. I hovedsak har reparasjonene bestått av ekstern forsterkning. Ekstern forsterkning med karbonfiberlaminater (CFRP) ble brukt på Herøysundbrua for å sikre funksjonalitet og sikkerhet inntil brua ble erstattet. Ekstern forsterkning med etterspenning ble brukt for å sikre bæreevnen på Hafrsfjord bru. Skjøting av spenntau (uten og under belastning) ble også benyttet.

I de fleste tilfeller er lokale skader på betong eller slakkarmering oppdaget og reparert. Noen ganger ble lokale skader funnet på spennarmering i forspente bjelker. Ved lokale skader i både etterspente og førøppspente bruer, verifiseres bæreevnen til konstruksjonen ved tap av skadede kabler, forutsatt at alle andre kabler fungerer godt. Mekaniske reparasjoner er generelt den mest typiske og ofte brukte metoden for lokale reparasjoner av betong.

Det manglet en oversikt over reparasjonsalternativer spesifikke for spennbetongbruer, og deres anvendelse på norske bruer. Reparasjonsmetoder etter åpning av kabelkanalene for inspeksjon var også nødvendig å utvikle. For dette formålet ble det utført forskning i samarbeid i forskningsprosjektene Herøy FoU og Excon.

5.1 Resultater Herøy FoU

Mulighetene for vedlikehold og reparasjon av etterspente systemer er utredet innenfor det nasjonale forskningsprosjektet 'Herøysund bru – tilstandsevaluering' (Herøy FoU), som ble finansiert av Nordland Fylkeskommune, og Statens vegvesen gjennom FoU-prosjekt VESPA. Herøy FoU-prosjektet startet 1. september 2022 og avsluttet 31. desember 2024. Prosjekter brukte Herøysund bru som studie for fem separate aktiviteter/ arbeidspakken:

WP1: Overvåkning

WP2: Korrosjonsinspeksjon, vurdering og reparasjon

WP3: Konstruktive vurdering med skadet spennarmering

WP4: Pålitelighet og usikkerhetskvalifisering

WP5: Ledelse og publisitet

Vedlikeholds- og reparasjonsmetoder har tilhørt arbeidspakken WP2. WP2-delen av prosjektet ble bearbeidet av Statens vegvesen sammen med Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Institutt for konstruksjonsteknikk og Norges arktiske universitet (UiT), Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. Leveransen fra WP2 var en 'state of the art' (STAR) rapport innen reparasjonsalternativer for korrosjonsskadede forspente betongbruer. Rapporten ble publisert som en vitenskapelig artikkel i journalen Nordic Concrete Research (Sharma 2024).

Hovedformålet med artikkelen var å gi en oversikt over ulike reparasjonsalternativer for spennsystemer som er rapportert internasjonalt, og deres anvendelighet for norske spennbetongbruer. Artikkelen beskriver vanlige førøppspennings- og etterspenningssystemer brukt i Norge, internasjonale erfaringer med typiske skader som er observert i spennsystemer, samt vedlikeholds- og reparasjonsalternativer for ulike komponenter av spennsystemer.

Den vanligste feilen for norske etterspente konstruksjoner er utilstrekkelig injiserte kabelkanaler. Metoder for å sikre injisering med sementbaserte materialer er derfor relevante. Retningslinjer fra Europa og USA viser hvordan man kan etterfylle kanaler, men siden det mangler erfaring med disse metodene i Norge, må de betraktes som innledende tester og overvåkes nøye. Erfaring med disse metodene kan være svært verdifull for fremtidige norske bruer.

Det ble funnet at aktuelle reparasjonsalternativer for etterspente bruer i Norge inkluderer ekstern forsterkning eller utskifting av kabler. Utskifting av kabler er komplisert og sjelden utført, men kan være mulig for tomme kabelkanaler (i.e. reservekabelkanaler). I slike tilfeller legges ny kabel i stedet for at eksisterende byttes ut. Reparasjon av skadede forankringssoner kan kun begrenset utføres for udekkede forankringer. Dette betyr at betongen i forankringssonen må fjernes, forankringen renses, og betongen støpes på nytt. Normalt oppdages ikke skader i forankringssonen på grunn av manglende tilgang.

For å forhindre videre korrosjon av selve kabelkanalen i et kloridmiljø kan man blant annet vurdere å fjerne den korroderte delen av kanalen, rengjøre området, og injisere med sementmørtel over de utsatte områdene.

Korrosjon av spennkabler i føreropspente bjelkebruer i Norge skyldes hovedsakelig ytre kloridpåvirkning. Skadene kan repareres med mekaniske reparasjoner og katodisk beskyttelse. Ved mekanisk reparasjon i støtteområder bør kun løse eller delaminerte deler av betongen fjernes, og lavpermeabel, høyfast betong brukes. Ultra-høyfast betong (UHPC) kan være lovende for flikkreparasjoner. For både føreropspent og etterspent, har passiv karbonfiberforsterket polymer-forsterkning (CFRP) potensiale for fremtidig bruk. Katodisk beskyttelse er en mulig reparasjonsmetode, men har ikke blitt prøvd på føreropspente kabler i Norge. Erfaring med disse metodene kan være verdifull for fremtidige reparasjoner.

5.2 Resultater EXCON

Reparasjonsmetoden etter åpning av kabelkanalene for inspeksjon utvikles som en del av det 3-årige forsknings- og utviklingsprosjektet Excon, som er planlagt avsluttet ved utgangen av 2025. Metoden er utviklet i arbeidspakke 5.7 Reparasjon og levetidsvurdering, i samarbeid med partnere: Mapei, Norconsult, SINTEF AS, og Troms Fylkeskommune (TFFK). Den skal leveres i løp av 2025 i form av et notat: 'Reparasjon etter frilegging av spennarmering ved inspeksjon'. Notatet skal inkludere materialkrav, valg av prinsipp og metode, reparasjonsdetaljer for komponenter av spennsystemet og utførelse.

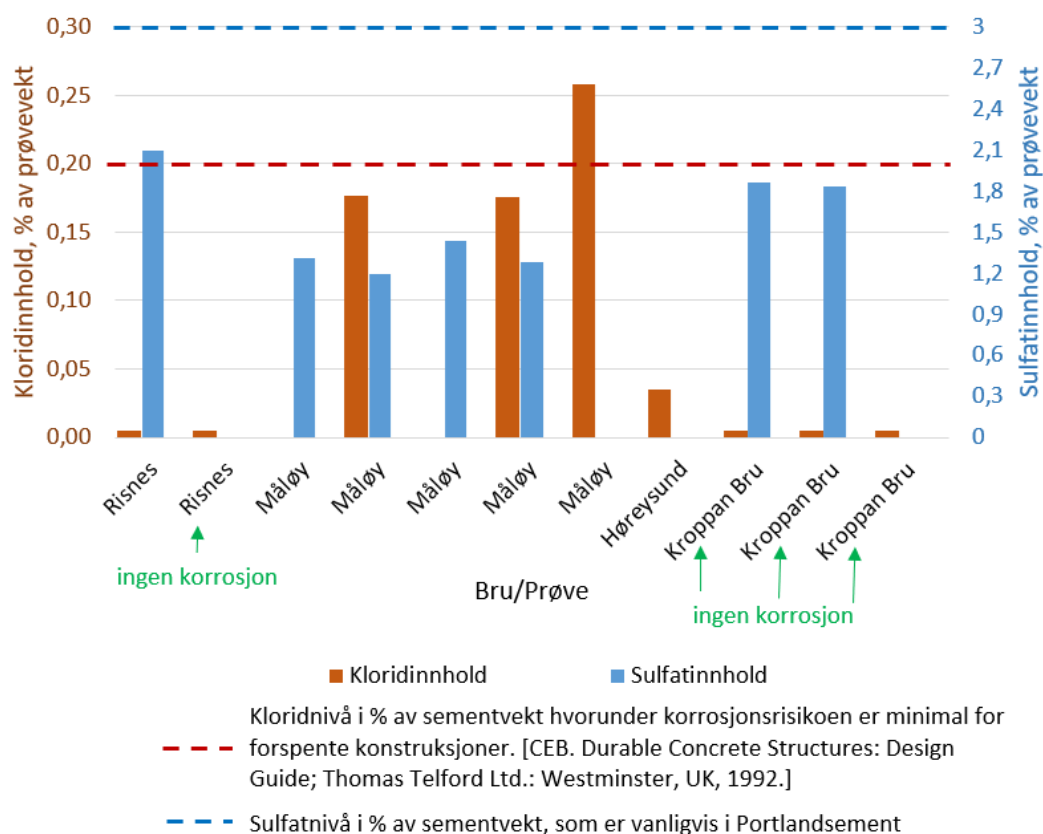
6 Andre resultater

Dette avsnittet presenterer resultater fra FoU-prosjektet VESPA som, selv om de ikke er direkte knyttet til noen av delprosjektene, likevel er relevante for videre arbeid innen temaet og derfor inkluderes her.

6.1 Analyse av injiseringsmasse

Som del av studiene rundt korrosjonsmekanismer for korrosjon av spennstål i kabelkanaler, som allerede ble satt i gang i FoU program Bedre bruvedlikehold, ble det funnet at sammensetningen av injiseringsmassen kan ha en relevans (Statens vegvesen 2022). Derfor ble injiseringsmasse fra fire etterspente bruer analysert for klorid- og sulfatinnhold. Resultater er oppsummert i notatet *Analyse av injiseringsmasse*.

Resultatene er sammenstill i Figur 2. Det kan ses at alle prøver viser lav kloridinnhold som utgjør minimal risiko for korrosjon, som vist med oransje farge i figuren. Samtidig var sulfatinnholdet innenfor normalområdet (blå kolonner, normalområdet er merket med blå linje). Ettersom det ble funnet kraftig spennarmeringskorrosjon ved flere steder ved prøveuttak, må vi anta at andre faktorer eller en kombinasjon av disse er avgjørende for at korrosjon oppstå inne i kabelkanalen.



Figur 2 – Klorid og sulfatinnhold i injiseringsmasse av bruer.

6.2 Oversikt over stålqualiteter

Erfaringer fra eldre etterspente betongkonstruksjoner i Tyskland (BMVBS 06/2011) og andre land viser at skader på bruer med spennarmering kan skyldes stålqualiteten på spennstålet. Enkelte stålqualiteter er spesielt utsatt for spenningsrissskorrosjon (SCC), noe som kan føre til sprøbrudd og skader på bruer. Det var derfor relevant å kartlegge hvilke stålqualiteter som ble brukt i Norge, og om det er brukt stålqualitet som er spesielt utsatt for SCC.

Det er laget en oversikt over stålqualiteter brukt i norske bruer bygget før 1992, som Statens vegvesen har vedlikeholdsansvar for. Spennsystemer og spennstål er oppsummert i Tabell 6. Mer detaljert informasjon om individuelle bruer finnes i notatet «Identifikasjon av bruens spennsystem og ståltype». Oversikten er basert på tilgjengelige arbeidsgrunnlag i Brutus. Det er viktig å merke seg at mange bruer mangler data om spennarmering i BRUTUS. Kun utvalgte bruer med tilgjengelig informasjon om spennsystem og/eller spennstål er gjennomgått.

Tabell 6 – Oppsummering av spennsystem og stålqualitet for plate-, bjelke-plate-, kasse-, frittrembygg- og bjelke plassprodusert spennarmerte bruer bygget før 1992 (bruer med SVV vedlikeholdsansvar).

Bygge-år	Spennsystem, antall armering per kabel og diameter ø i mm /tommer	Spennstål flytegrense f0.2/brudd grense [kg/mm ² , kp eller MPa]
1959 – tidlig på 70-tallet	Dywidag, ø26, ø32	St 80/105
2. halvdel av 60-tallet	Freysinnet, 12ø8 spennråd Freysinnet, 12ø0.5" i d 60mm rør	St 135/160 St 160/180
slutten av 60-tallet – midten av 80-tallet	BBRV '99t', 22ø6 eller 32ø6 BBRV, 32ø6, 44ø6, 22ø6, 55ø6, 56ø6, 72ø6	St 150/170 St min 155/170, St 150/175, St 155/175, St 160/175, St 160/180, St 1600/1800, St 1600/.. lavrelaksert stål (stabilisert) NDI stål
fra midten av 60-tallet	CCL, 12ø13 CCL, 11ø0.5", CCL, 12ø0.5" CCL, 150mm ² (As=150mm ² per kabel) CCL, 12ø15.7 (spennntauliser)	bruddlast min. 19500 kp for hvert 0,5" tau St 1670/1860 St 1640/.. (lavrelaksasjon)
fra slutten av 60-tallet	usikkert	St 1570/1770 St 1670/1890
fra 80-tallet	Freyssinet, spennkabler 10L13, Freysinnet, kabler 12L15	lavrelaksasjonstål
fra 80-tallet	VSL, 12ø15, 7ø15 VCL, 12ø0.6"	St 1660/1860 St 1643/1857
fra 80-tallet	Dywidag 6815, 15x0.6" Dywidag 6812, 12ø0.6" Dywidag K270	St 1670/1860, lavrelaksasjon St 1670/1860
fra 80-tallet	BBRV 644, BBRV 652, BBRV 656 BBR CONA MULTI TYPE 1505	St 160/180, St 1600/1800, St 160/180 lavrelaksert stabilisert stål St 1670/1860
fra 80-tallet	RFk, RFr kabler	St 1600/1800

For å identifisere om stålqualiteter utsatt for SCC er brukt i Norge, ble det utarbeidet et ytterligere notat, «*Identifikasjon av bruer med etterspent armering som er utsatt for spenningsrissskorrosjon (Stress Corrosion Cracking SCC)*». Notatet inneholder en gjennomgang av ståltypene som har vært brukt globalt gjennom årene, og oppsummerer de stålqualitetene som er identifisert som kritiske for SCC.

Basert på begge notatene ble det gjort en gjennomgang av stålqualiteter brukt i Norge. Gjennomgangen av materialet viste at noen få bruer i Norge har stålqualiteter som er utsatt for SCC. Bruforvaltere av disse bruene er informert. Det ble kun gjennomgått et utvalg av bruer som Statens vegvesen har forvaltningsansvaret for, så det kan ikke utelukkes at slike stålqualiteter er brukt på andre bruer. Stålqualiteten kan vanligvis finnes på tegningene og bør, i tilfeller hvor man er i tvil, sammenlignes med de som er oppført i notatet som sårbar stålqualitet.

7 Måloppnåelse og leveranser

7.1 Måloppnåelse

Prosjektet har i stor grad oppnådd de målene som ble satt (avsnitt 1.2). Det er utviklet en systematisk framgangsmåte for inspeksjon av spennarmering, og det er levert pålitelige verktøy og metoder. Opplæring i bruk og vurdering av disse verktøyene har blitt gjennomført, noe som gir stor verdi både for vår organisasjon og andre vegeiere.

Når det gjelder de spesifikke resultatmålene knyttet mot inspeksjon, kan følges oppsummeres:

1. Beskrivelse av metoder og utstyr for inspeksjon av etterspente betongbruer: Dette målet er oppnådd gjennom utvikling av detaljerte inspeksjonsmetoder og tilhørende prosesser. Beskrivelsene er implementert i Statens vegvesens regelverk og kan også brukes av andre vegeiere.

2. Utarbeidelse av verktøy for prioritering av inspeksjonsrekkefølge for spennarmerte bruer i vegnettet: Det er utviklet et prioriteringsverktøy for inspeksjonsrekkefølge for å rangere bruene i en utvalgt portefølje, uttrykt ved prioriteringsfaktoren «Prioritets-tall» P_i . Et høyere tall for en bru betyr at den bør prioriteres foran en annen bru som ved beregning får lavere prioritets-tall P_i . Risikofaktorene er basert på kunnskap om årsaker til skader på spennarmering og praksis for bygging av spennarmerte vegbruer i Norge. All inputdata for analysen hentes direkte fra BRUTUS..

3. Bidra til at rådgiverbransjen bygger opp kompetanse og utstyr for å gjennomføre spesialinspeksjoner av etterspente betongbruer: Ved å tildele oppdrag innen spesialinspeksjon av spennarmering til rådgiverbransjen, har vi stimulert kompetansebygging. Dette har ført til økt kapasitet for gjennomføring av spesialinspeksjoner av spennarmering i bransjen.

4. Utfordre leverandørbransjen til å videreutvikle teknikker og instrumenter for inspeksjon av spennarmering: Leverandørbransjen har blitt utfordret, spesielt gjennom samarbeidsprosjektet EXCON, hvor det i dag pågår forskning på utvikling og forbedring av teknikker og instrumenter for inspeksjon av spennarmering.

For at gevinstene skal realiseres, må de foreslåtte inspeksjons- og vedlikeholdsrutinene følges opp, og det må settes av tilstrekkelige midler til oppfølgingen. Dette krever økte bevilgninger for drift og vedlikehold av spennarmerte bruer, samt et kontinuerlig fokus på å øke kompetansen både i Statens vegvesen og hos andre vegeiere.

Når det gjelder resultatmål 5 – **Videreutvikle kompetanse om konstruktive konsekvenser av manglende eller dårlig injeksjon av kabelkanaler, med eller uten korrosjonsangrep på spennkablene** – ble den ønskede framdriften dessverre ikke oppnådd. Det er gjort noe arbeid rundt temaet innenfor FoU-programmet Bedre bruvedlikehold, men dette ble kun i begrenset grad fulgt opp (noe arbeid ble gjort blant annet i FoU Herøy). Per i dag mangler vi fortsatt en tilstrekkelig oversikt over robustheten til brukonstruksjoner mot skader på spennarmeringen. Dette arbeidet må videreføres, og det vil bli nærmere beskrevet i avsnitt 8.

Resultatmål 6 – **Etablere metoder for utbedring av skader på spennsystemer** – er besvart ved å utarbeide en journalartikkel i samarbeid med NTNU og UiT innen FoU Herøy. Artikkelen oppsummerer internasjonal erfaring med reparasjonsmetoder for skadet spennarmering og vurderer bruken av disse i Norge. Det trengs imidlertid mer arbeid, og det er tydelig at dette er svært bru-avhengig, fra brutilfelle til brutilfelle. Artikkelen gir et godt grunnlag for å gjøre vurderinger når eventuelle skader oppdages.

Resultatmål 7 – **Lære opp ansatte i Statens vegvesen og andre vegeiere til å sikre at tilstrekkelige inspeksjoner av spennsystemer utføres og dokumenteres, og at passende tiltak velges** – er svært godt realisert. Prosjektresultatene har blitt godt mottatt i organisasjonen, og tilbakemeldinger fra referansegruppen viser at utviklingen har blitt satt stor pris på. Systematiske metoder har blitt implementert og kan nå tas i bruk, noe som vil gi stor verdi i arbeidet fremover.

Oppsummert har vi oppnådd svært gode resultater for mål 1–4, og disse har allerede vist seg å være nyttige. For å realisere gevinstene, må de foreslåtte inspeksjons- og vedlikeholdsrutinene følges opp med tilstrekkelige midler og kontinuerlig kompetanseheving. Mål 5 trenger videre arbeid, mens mål 6 og 7 har gitt gode resultater, men også her er det behov for videre innsats.

7.2 Leveranser

Implementering Statens vegvesen håndbøker

N-V441 *Bruinspeksjon* (2023) – Tillegg B (informativt);

- Metoder oppmålinger/ materialundersøkelser – B.3 Materialundersøkelser, betong, B.3.8 Kontroll av spennarmering

Til revisjon av N-V441 *Bruinspeksjon* -> plassering avgjøres av forvalter av normalen;

- Metodebeskrivelse: Registrering av skade på spennarmering i Brutus
- Skadegrad 1–4 for spennarmering og injiseringsmasse, *vedlegg til metodebeskrivelsen for registrering av skade på spennarmering i Brutus*

R211 *Feltundersøkelser* (2024) – Kapittel 3 Betong,

- Metode 3.4.7 (GPR),
- Metode 3.4.8 (Ultralyd metode),
- Metode 3.4.9 (Impact echo),
- Metode 3.4.10 (Opphugning for å kartlegge korrosjonstilstanden metode).

Forskningsartikkel

Sharma, S., Osmolska, M. J., Hornbostel, K., Bathen, L., Novakova, I., & Geiker, M. R. (2024). Repair Options for Corrosion-damaged Prestressed Concrete Structures. Nordic Concrete Research – Publ. No. NCR 70 – ISSUE 1 / 2024 – Article 6, pp. 99–123

Presentasjoner

- April 2021 Betongcast nr. 14 Spennkabler og korrosjon – Lise Bathen og Roy Antonsen, Statens vegvesen
- September 2022 (Bruvedlikeholdskonferanse Molde) – VESPA Vedlikehold av etterspent armering, Karla Hornbostel
- Juni 2024 (IABMAS 2024, København) – Keynote: Assessment of damage of post-tensioned bridges in Norway, Lise Bathen
- Februar 2025 (Betongrehabiliteringsdagene, Oslo) – Avslutning av FoU prosjekt VESPA Vedlikehold av etterspent armering, Karla Hornbostel og Lise Bathen

Andre leveranser

- Februar 2022 (teams) – Samarbeidssworkshop mellom Statens vegvesen og Fylkeskommunene, for å utveksle erfaringer innen spesialinspeksjoner av spennarmering.
- One-pager oversikt over FoU prosjekt VESPA 2023 (arkivert i MIME 21/123793)
- Prøvningsrapporter av injiseringsmasse (arkivert i MIME 21/123793)
- Bidrag til f/b BULLETIN NO. 110; Management of post-tensioned bridges; Chapter 1.2.4 Durability experiences and case study of PT-bridges; PT-bridges in Norway 1960 –2021.
- Notater:
 - Analyse av injiseringsmasse (arkivert i MIME 21/123793)
 - Identifikasjon av bruens spennsystem og ståltype (arkivert i MIME 21/123793)
 - Identifikasjon av bruer med etterspent armering som er utsatt for spenningsrisskorrosjon (Stress Corrosion Cracking SCC) (arkivert i MIME 21/123793)
 - Veiledning for Prioriteringsverktøy (arkivert i MIME 21/123793)

8 Oppsummering og videre arbeid

8.1 Oppsummering

FoU-prosjektet VESPA (Vedlikehold av etterspent armering) er gjennomført i perioden fra 2021 til 2024, med hovedmål om å utvikle effektive rutiner for inspeksjon og vedlikehold av etterspente betongbruer i Norge. Prosjektet ble initiert på grunn av mistanke om dårlig utførelsespraksis på 1960-til 1980-tallet, som potensielt kan føre til skader på spennsystemer. Dette ble bekreftet ved oppdagelsen av omfattende korrosjonsskader på spennarmering på Herøysund bru i 2019, noe som førte til umiddelbare sikringstiltak og til slutt erstatning av brua i 2024.

VESPA har vært organisert i fire delprosjekter: Inspeksjon, Utvalgte bruer for undersøkelse og studier, Vedlikehold og Implementering. Det ble utviklet metoder for inspeksjon av spennsystemer, inkludert bruk av georadar (GPR), ultralyd og kjerneboring. Totalt ble det utført 13 spesialinspeksjoner på etterspente bruer, med fokus på tilstanden til spennkabler og kabelkanaler. Resultatene fra inspeksjonene har bidratt til kompetansebygging og forbedring av inspeksjonsmetoder. Et prioriteringsverktøy for å utrede inspeksjonsrekkefølge basert på risikovurderinger er også etablert. Verktøyet vil være til stor nytte for brueiere, da det skal bidra til å identifisere sårbare konstruksjoner og bidra til optimal inspeksjonsprioritering.

Vedlikeholds- og reparasjonsmetoder er utredet i et samarbeidsprosjekt med NTNU og UiT. En vitenskapelig artikkel som oppsummerer internasjonal erfaring med reparasjonsmetoder, ble publisert og artikkelen vurderer bruken av disse metodene for norske forhold. Prosjektet har økt kunnskapen om mulige reparasjonsmetoder og styrket evnen til å gjennomføre målrettet og planlagt vedlikehold. Dette kan på sikt også redusere miljøpåvirkninger ved å forlenge konstruksjonenes levetid.

Prosjektet har oppnådd de fleste av sine mål, inkludert utvikling av inspeksjonsmetoder og verktøy for risikovurdering. Opplæring av ansatte i Statens vegvesen og andre vegeiere ble gjennomført for å sikre implementering av resultatene. Noen mål, som videreutvikling av kompetanse om konstruktive konsekvenser av manglende eller dårlig injisering av kabelkanaler, er delvis oppnådd og krever videre arbeid.

Resultatene fra prosjektet understreker betydningen av systematisk inspeksjon og vedlikehold av etterspente betongbruer for å sikre deres levetid og sikkerhet. For å realisere gevinstene må de foreslåtte inspeksjons- og vedlikeholdsrutinene følges opp med tilstrekkelige midler og kontinuerlig kompetanseheving. Prosjektet har lagt et solid grunnlag for fremtidig arbeid og forbedring av vedlikeholdsrutinene for etterspente betongbruer i Norge.

8.2 Videre arbeid

For å sikre fremgang og forbedring innen vedlikehold av etterspente betongbruer, bør veien videre fokusere på flere nøkkelområder.

Inspeksjonsomfang: Som resultatene i Tabell 2 viser, kan vi med dagens tilgjengelige metoder kun inspisere et mindre areal av bruene (som oftest mindre enn 10%). Det er avgjørende å videreutvikle metoder som kan dekke større arealer og tillate en mer effektiv gjennomføring av inspeksjoner. Videre må det forskes på og utvikles metoder som gjør en vurdering av spennkablene fra flere sider mulig. I dag er inspeksjon og verifikasjon ofte kun mulig fra én side, og informasjon om baksiden er ofte skjult, noe som utgjør en utfordring. Inspeksjoner er i dag både ressurs- og tidkrevende, og kan derfor kun utføres på et mindre omfang av bruene. Videre utvikling på dette området vil øke omfanget av bruene som kan inspiseres og vil tillate en raskere opparbeidelse av oversikten over tilstanden til spennarmerte bruer.

Robusthetsanalyser: Det må settes enda mer fokus på robustheten til eksisterende spennarmerte bruer. Det har vist seg at skader på spennarmering kan være spesielt kritiske for enkelte brutyper med lav robusthet i bæreevner. Slike brutyper må prioriteres med tanke på inspeksjon og overvåkning av spennsystemet. Det må sikres at bruer kan tåle skader uten å miste kritisk bæreevne.

Sensorteknologi: Det kan i noen tilfeller være en stor fordel å overvåke tilstanden til spennarmeringssystemet kontinuerlig over tid. Både i tilfeller der kun utvalgte deler av spennsystemet er tilgjengelige for inspeksjon, og i tilfeller der skader på spennarmering er oppdaget, men ikke enda kritiske for kapasiteten. I disse tilfellene kan overvåkning med sensorer være en god metode for å følge utviklingen av eventuelle nye skader. I VESPA ble det ikke undersøkt sensorer som egner seg for overvåkning av spennarmering. Sensorteknologi kan gi verdifull informasjon om bruas tilstand i sanntid og bidra til å forhindre alvorlige hendelser.

Med bakgrunn i flere alvorlige hendelser og brukollapser forårsaket av skader på spennarmering, både i Europa og globalt, er det nå stort fokus på inspeksjon og vedlikehold av spennarmering. Det er derfor helt avgjørende og meget nyttig å samarbeide med internasjonale forskningsmiljøer og vegeiere for å utvikle og forbedre metoder og fremgangsmåter for inspeksjon og vedlikehold av spennarmering. Samarbeid på tvers av landegrenser vil sikre at de beste praksisene og teknologiene blir anvendt, noe som vil øke sikkerheten og påliteligheten også til våre bruer.

9 Referanser

- BMVBS. *Handlungsanweisung zur Überprüfung und Beurteilung von älteren Brückenbauwerken, die mit vergütetem, spannungsrissskorrosionsgefährdetem Spannstahl erstellt wurden (Handlungsanweisung Spannungsrissskorrosion)*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. Abteilung Straßenbau ., 06/2011.
- England, Highways. *CS 465 – Management of post-tensioned concrete bridges*. Guildford, UK: Highways England, 2020.
- Sharma, S., Osmolska, M. J., Hornbostel, K., Bathen, L., Novakova, I., Geiker, M. R. «Repair Options for Corrosion-damaged Prestressed Concrete Structures.» *Nordic Concrete Research*, Volume 70, Issue 1 2024.
- Statens vegvesen. *FoU-programmet Bedre bruvedlikehold 2017–2021, Sluttrapport*. Statens vegvesens rapporter Nr. 865, 2022.
- R211 *Feltundersøkelser*. Håndbok i Statens vegvesen, gjelder metodebeskrivelser for feltundersøkelser
- N401 *Bruforvaltning fylkesveg*: Håndbok i Statens vegvesen, gjelder ved forvaltning av bærende konstruksjon (bru, ferjekai og annen bærende konstruksjon) på fylkesveg.
- R411 *Bruforvaltning riksveg*: Håndbok i Statens vegvesen, gjelder ved forvaltning av bruer, ferjekai og andre bærende konstruksjoner på riksveg.
- N–V441 *Bruinspeksjon*: Håndbok i Statens vegvesen, gjelder veiledning i gjennomføring av bruinspeksjoner for ulike inspeksjonstyper. Gjelder for bruer som definert i vegnormal N401 *Bruforvaltning fylkesveg* og retningslinje R411 *Bruforvaltning riksveg*.

Vedlegg A – Terminologi

Terminologilisten er basert på Norsk betongforening, publikasjon nr. 14 – Spennarmeringsarbeider.

Spennarmering: Armering i betongkonstruksjoner som ved oppspenning er gitt en strekk-tøyning i forhold til betongen, slik at de strekk-krefter som svarer til denne tøyningen i spennarmeringen er balansert med en tilsvarende trykkraft i betongen.

Spennsystem: System for spennarmering som har Europeisk Teknisk Godkjenning (ETA) og som benyttes i spennarmert betong. Betegnelse for det komplette systemet av komponenter som er nødvendige for utførelsen.

Spennkabel: Vanlig spennarmering, satt sammen av ett eller flere spenntau eller (spenn)tråder. Engelsk: «Tendon».

Spennstag: Spennstag kan bestå av både spennstang og spenntau.

Spenntau: Vikling av spenntråder. Vanligst er 7 tråder, der 6 tråder er slått i spiralform rundt en rett sentertråd. 7 tråders tau har vanligvis diameter 0,5, 0,6 eller 0,62 tommer, det vil si tverrsnittsareal henholdsvis 100, 140 eller 150 mm². Annet navn: «Line, lisse». Engelsk: «Strand».

Spenntråd: Den minste «fiberen» i et spenntau benevnes spenntråd eller kordel. Hver enkelt tråd i en spennkabel med parallelltråder benevnes spenntråder. Tynne tråder av massivt stål, omtrent 5 mm i diameter i spenntau og omtrent 7 mm i diameter ved parallell trådkabel. Engelsk: «Wire».

Stabilisert spennstål: Spennstål med spesielt lav relaksasjon. Kalles nå lavrelaksasjons spennstål og er det vanligst brukte spennstålet.

Spennstang: Spennarmering av glatte eller riflede/gjengede, massive, valsede stålstenger, typisk 15–75 mm i diameter. Engelsk: «Bars».

Etterspent armering: Spennarmering som spennes opp etter at betongen er herdet. Etterspente systemer deles mellom kabler med eller uten heft. Engelsk: «Post-tensioning»

Førøppspent armering: Spennarmering spent opp i en spennbenk før betongen støpes direkte mot spennarmeringen. All kraftoverføring mellom spennarmering og betong skjer ved heft. Brukes i Norge kun i forbindelse med produksjon av prefabrikkerte betongelementer i fabrikker. Engelsk: «Pre-tensioning»

Intern spennarmering: Spennarmering i kabelkanaler innstøpt i betongtverrsnittet, i all hovedsak den etterspente kabeltypen som benyttes i Norge. Benyttes typisk i kassebruer, platebruer og FF-bruer. Engelsk: «Internal prestressing».

Ekstern spennarmering: Spennarmering plassert utenfor betongtverrsnittet uten heft mellom spennarmering og betong. Spennkreftene blir overført til betongen ved forankringer og eventuelt med sadler hvor det er retningsendringer for spennarmeringen. I Norge er dette

benyttet ved forsterkning av eksisterende bruer. Benyttes typisk i segmentbruer. Engelsk: «External prestressing».

Oppspenning: Påføring av strekk-kraft som gir tøyning i stanga/kabelen med mothold i forankringen. Engelsk: «Stressing».

Kabelkanal: Kanal som spennarmeringen føres gjennom og selve røret som danner kanalen. Kabelkanaler kan være korrugerte eller glatte og de kan være framstilt av stål eller plast. Korrugerte spiralfalsede stålrør er mest vanlig i norske bruer. Engelsk: «Duct», «sheath».

Injisering: Prosessen med å pumpe injiseringsmasse inn i kabelkanalen etter at spennarmeringen er oppspent.

Injiseringsmasse: Sementbasert masse, eventuelt fett eller voks, som fyller hulrommet rundt spennarmeringen inne i kabelkanalen. Engelsk for sementbasert masse: «Grout».

Korrosjonsskade på spennarmering; Reduksjon av tverrsnittsareal, kan føre til tap av spennkraft som kan få svært alvorlige konsekvenser for bruas bæreevne.

Skade i injiseringsmasse: Injiseringsmassen er ikke som forutsatt, fungerer ikke som korrosjonsbeskyttelse eller fungerer ikke med overføring av krefter fra spennarmering til betong. Årsak kan være hulrom eller uegnet injiseringsmasse med endrede egenskaper.

Skjøtekobling: Benyttes for å skjøte to spennkabler, kan være fast eller bevegelig

Betongkappe (forankringssone): Forankringene forsegles med gjenstøping av en betongkappe over forankringene.

Forsegling: Når injiseringsmassen er herdet kappes lufte- og injiseringsslanger jevnt med betongoverflaten. Det kontrolleres om injiseringen er fullstendig ved at alle slanger er fylt med injiseringsmasse i kappesnippet. Er fyllingen godkjent forsegles med alle kappede slanger med sandpåstrødd epoxylin.



Statens vegvesen
Pb. 1010 Nordre Ål
2605 Lillehammer

Tlf: (+47) 22 07 30 00

firmapost@vegvesen.no

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Tryggere, enklere og grønnere reisehverdag