



RØNTGENUNDERSØKELSE AV TREKONSTRUKSJONER

A 284 Urnes stavkyrkje, Luster

Wedvik, Barbro





Tittel Røntgenundersøkelse av trekonstruksjoner A 284 Urnes stavkyrkje, Luster	Rapporttype/nummer NIKU Oppdragsrapport 64/2018	Publiseringsdato 30.08.2018
	Prosjektnummer 1021305	Oppdragstidspunkt 18.06. – 20.06.2018
	Forsidebilde Røntgenrør på lift. Foto: NIKU	
Forfatter(e) Wedvik, Barbro	Sider 23	Tilgjengelighet Åpen
	Avdeling Konservering	

Prosjektleder Barbro Wedvik
Prosjektmedarbeider(e) Christina Spaarschuh
Kvalitetssikrer Ellen Hole

Oppdragsgiver(e) Riksantikvaren v/Kjersti Ellewsen

<p>Sammendrag</p> <p>Røntgenfotografering kan brukes til undersøkelse av trekonstruksjoner i bygninger der det er ønskelig med lite inngrep. Urnes stavkyrkje er en stavkirke fra middelalderen og automatisk fredet. Målet for røntgenundersøkelsen var å undersøke søndre midtromssvill og sørvestre hjørnestav. Midtromssvilla har vært bosted for flaggermus. Oppdragsgiver ønsket å se på utstrekning av nedbrutt område i midtromssvill og å undersøke staven for nedbrytning, hulrom og mulig innflygningshull for flaggermus. Metode: XRS pulsapparat ble plassert på utsiden av veggen og røntgenfilmen på innsiden. Til vurdering av tilstanden ble det benyttet NIKUs tidligere opparbeidet referansemateriale fra røntgenbilder av biologisk nedbrutte trekonstruksjoner. Røntgenundersøkelsen visualiserte og lokaliserte skadde områder i midtromssvill. Områder med biologisk og/eller kjemisk nedbrytning er omfattende og strekker seg i hele det undersøkte områdets lengde, ca. 100 cm. Det ser også ut til å være noe skade i plank i bufelt nedenfor midtromssvill. Ingen skade ble observert i staven med røntgenundersøkelsen, men dette utelukker ikke at det kan være nedbrutte områder også her.</p>
--

<p>Emneord</p> <p>X-ray, radiografi, tre, furu, stavkirke, kirke, trekonstruksjon, fuktskade, flaggermus, salt, nedbrytning</p>

Avdelingsleder

Ellen Hole

Innholdsfortegnelse

1	Objekt	7
2	Mål.....	7
3	Metode	8
3.1	Røntgenutstyr.....	10
3.2	Eksponeringer.....	11
4	Røntgenbildene	11
4.1	Søndre midtromssvill.....	11
4.2	Sørvestre hjørnestav	15
5	Tolkning	19
5.1	Søndre midtromssvill.....	19
5.2	Sørvestre hjørnestav og øvre plank i bufelt	22
6	Konklusjon	22
6.1	Søndre midtromssvill.....	22
6.2	Sørvestre hjørnestav og øvre plank i bufelt	22
7	Litteratur.....	23

1 Objekt

Objekt:	A 284 Urnes stavkyrkje, Luster. Stavkirke. Automatisk fredet, og på UNESCOs verdensarvliste.
Datering:	Middelalder, datert til 1130-årene (Christie, 2009)
Materialer:	Bygningskonstruksjoner av tre, de undersøkte bygningsdelene er av furu.
Bygningselement:	Søndre del av midtromssvill på sørside samt sørvestre stav der denne møter midtromssvill.

2 Mål

Målet var å undersøke tidligere tilholdssted/rede for flaggermus i/ved hjørnekonstruksjon mot sørvest i Urnes stavkyrkje, se figur 1 og 2. Vestre del av søndre midtromssvill og dens innfelling i sørvestre hjørnestav var fokus for undersøkelsen. Oppdragsgiver antar at tilgangen for flaggermus har vært fra innsiden av kirken, og at flaggermusene har likt seg i staven, særlig etter at det ble lagt et blybeslag i overgangen mellom vegg og svalgangstak på utsiden, fordi beslaget har skapt et svært varmt og beskyttet rom.



Figur 1. Sørvestre hjørnestav ses midt i bildet, søndre midtromssvill ses til venstre i bildet. Foto: Riksantikvaren.



Figur 2. Detalj fra figur 1 som viser områder med indikasjoner på biologisk/kjemisk skade: lyse/hvite områder i treet med mørkere skjolder rundt. Foto: Riksantikvaren.

Oppdragsgivers bestilling:

- Undersøke hulrom i sørvestre hjørnestav og søndre midtromssvill som er festet til denne
- Undersøke i hvor stor grad de ulike bygningselementene har berøringspunkt til hverandre etter nedbrytningen
- Undersøke hvor blybeslag er

3 Metode

Til røntgenundersøkelsen ble det brukt et batteridrevet røntgenpulsapparat og digitale billedplater. Røntgenplatene ble skannet ved kirken slik at bildene kunne vurderes umiddelbart og sammen med oppdragsgiver. Et område rundt kirken ble sperret av og holdt under oppsyn for å sikre publikum ved røntgeneksponering. Røntgeneksponeringene ble utført slik at røntgenstrålene gikk fra utsiden av bygningen og inn, dvs. at billedplatene ble plassert inne i bygningen. På innsiden av kirken var det enkel tilkomst for plassering av film fra galleriet i vest. Røntgenapparatet var plassert på en personlift på utsiden, ca. 7 meter over bakkeplan, se figur 3. En del av taksporet ble demontert for å bedre lesbarhet på røntgenopptakene, se figur 6. Justering av apparatets plassering og opptaksvinkel ble gjort fra stige, se figur 4. Eksponeringene ble aktivert med fjernutløser.



Figur 3, a-b. Røntgenoppsett. 3a: Røntgenapparatet var plassert på lift på utsiden av kirken. 3b: Røntgenfilmen var plassert på veggen på innsiden av kirken Foto: NIKU.



Figur 4, a-d. Røntgenrigging og -eksponering. 4 a og b: røntgenoperatør C. Spaarschuh, NIKU; 4 c: oppdragsgiver K. Ellewsen, Riksantikvaren; 4d: røntgenoperatør B. Wedvik, NIKU og tømmer E. Gjelsvik, Jølster Bilelag. Foto: NIKU.

3.1 Røntgenutstyr

Røntgenapparat:	XRS-3, keV 270
Skanner:	Dürr Image Plate Skanner CR 35 NDT
Programvare:	D-Tect 4.8.0. (Dürr)
Billedplater:	Dürr, normaloppløsning (35 x 43) cm og (18 x 24) cm
Skanning:	Billedplatene ble skannet med oppløsningen 50 og 100 μm

3.2 Eksponeringer

Dato	ID	Objekt	FFD Avstand	Antall puls
19.06.2018	A145	Urnes stavkirke midtromssvill S mot stav SV	ca 100	198
19.06.2018	A146	Urnes stavkirke midtromssvill S mot stav SV	ca 100	99
20.06.2018	A147	Urnes stavkirke midtromssvill S mellom stav SV og stav S2 fra V	ca 100	198
20.06.2018	A148	Urnes stavkirke midtromssvill S, V for stav S2 fra V	ca 100	198
20.06.2018	A149	Urnes stavkirke stav SV	ca 100	297
20.06.2018	A150	Urnes stavkirke stav SV	ca 100	396
20.06.2018	A151	Urnes stavkirke stav SV	ca 100	495
20.06.2018	A152	Urnes stavkirke stav SV (utelatt i rapport)	ca 100	594 (under-eksponert)

4 Røntgenbildene

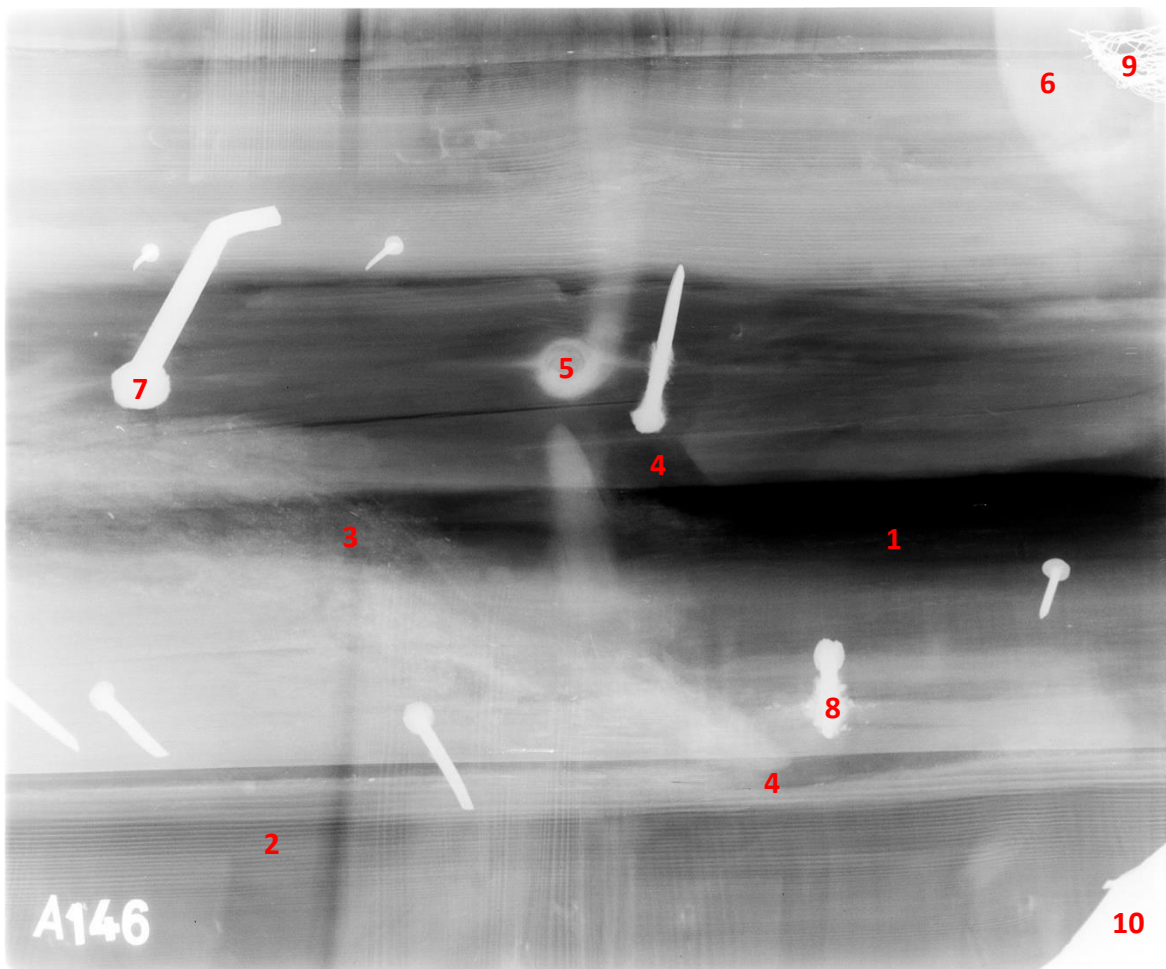
4.1 Søndre midtromssvill



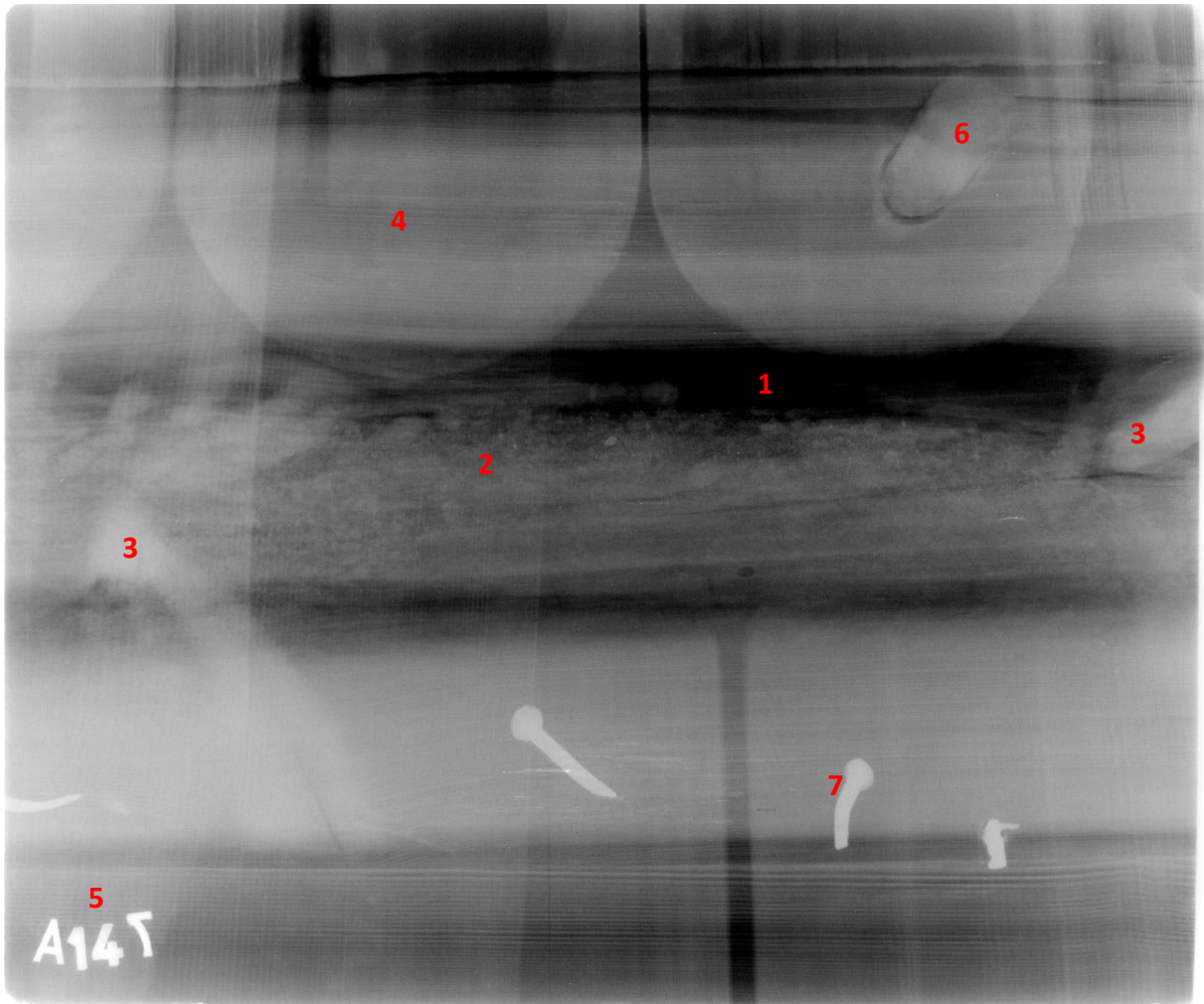
Figur 5. Firkantene markerer røntgenfilmens plassering på midtromssvilla inne i kirken. Hjørnestav mot sørvest på høyre kant i bildet; en av fire mellomstaver på sørsiden ses på venstre kant i bildet. Foto: NIKU



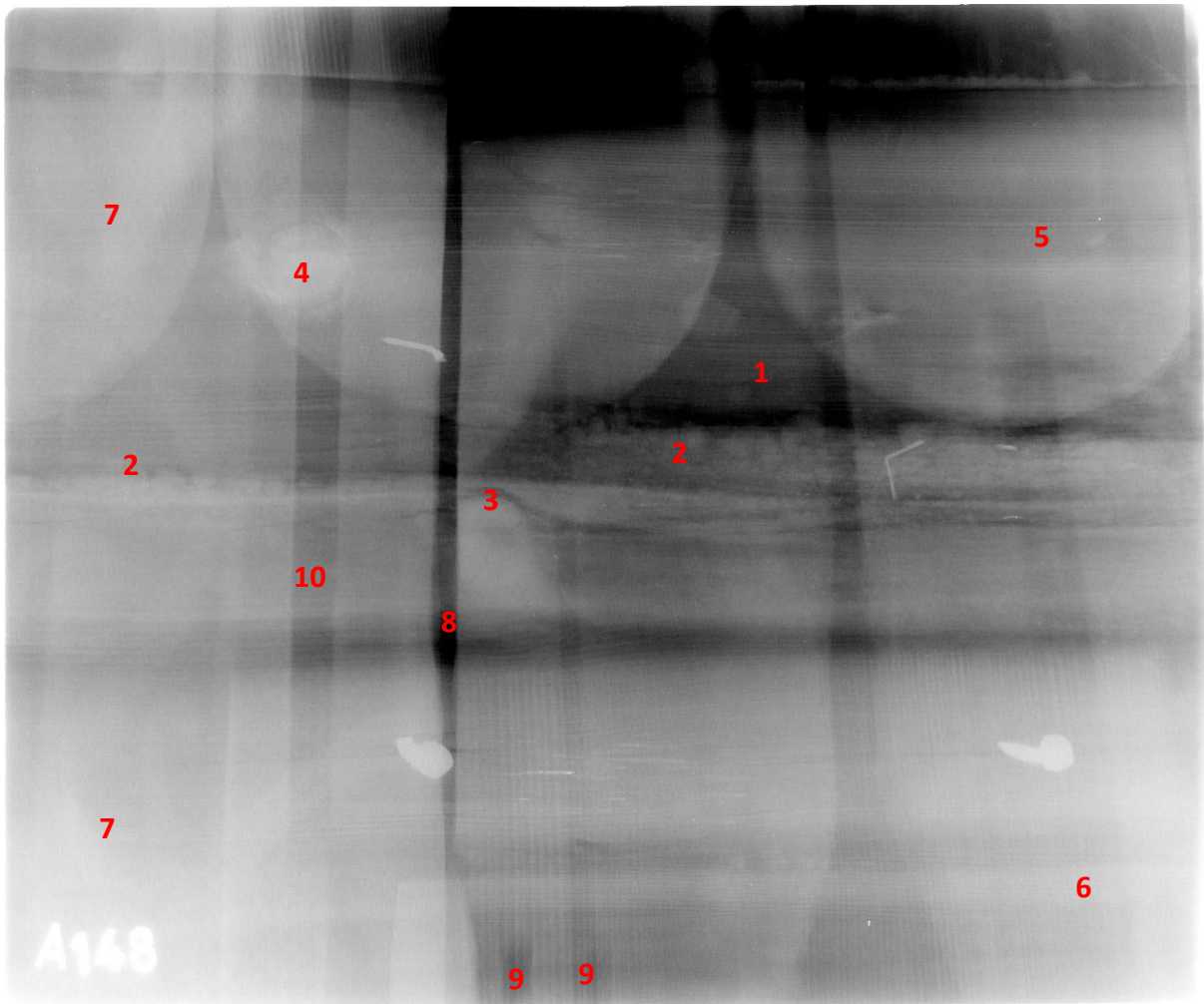
Figur 6. Firkantene markerer omtrentlig opptakenes fokusområde på utsiden. Foto: NIKU



Figur 7. Røntgenopptak av søndre midtromssvill, opptak inntil sørvestre stav. Tilsvarer rød firkant i figur 5 og 6. Høyre kant av bildet viser området inntil staven. 1) I det mørke området er mye treverk borte/svært nedbrutt. 2) Friskt treverk, liggende fiberretning. 3) Nedbrutt treverk; årringer og fiberretning er gått i oppløsning og kan ikke leses i bildet. Irregulære klumper, opp til ca. 1 cm diameter. Noen lange fibre ligger diagonalt på fiberretningen. 4) Definerte hulrom på langs og tvers av årringene, muligens forårsaket av insektsangrep. 5) Kvist. 6) Takspen, tungeformet. 7) Spiker. 8) Rusten spiker. 9) Hønsenetting. 10) Blytekkning. Foto: NIKU



Figur 8. Røntgenopptak av midtromssvill, midtre opptak. Tilsvarende gul firkant i Figur 5 og 6. 1) I det mørke området er mye treverk borte/svært nedbrutt. 2) Nedbrutt treverk; årringer og fiberretning synes ikke. Irregulære klumper, opp til ca. 1 cm diameter. 3) Kvist. 4) Takspion, tungeformet. 5) Takspion, spisset. 6) Treplugg. 7) Spiker. Foto: NIKU



Figur 9. Røntgenopptak av midtromssvill, østre opptak. Tilsvarende grønne firkant i figur 5 og 6. 1) I det mørke området er mye treverk borte/svært nedbrutt. 2) Irregulære klumper, opp til ca. 1 cm diameter. 3) Kvist og sprekk. 4) Trenagl som sikrer sammenføyningen mellom midtromssvill og mellomstav. 5) Takspen, tungeformet. 6) Takspen, spisset. 7) Treskurd 8) Kant uttak av midtromssvill for innfelling i mellomstav. 9) Dendroprøveuttak. 10) Glippe ved svillas innfelling i mellomstav? Foto: NIKU

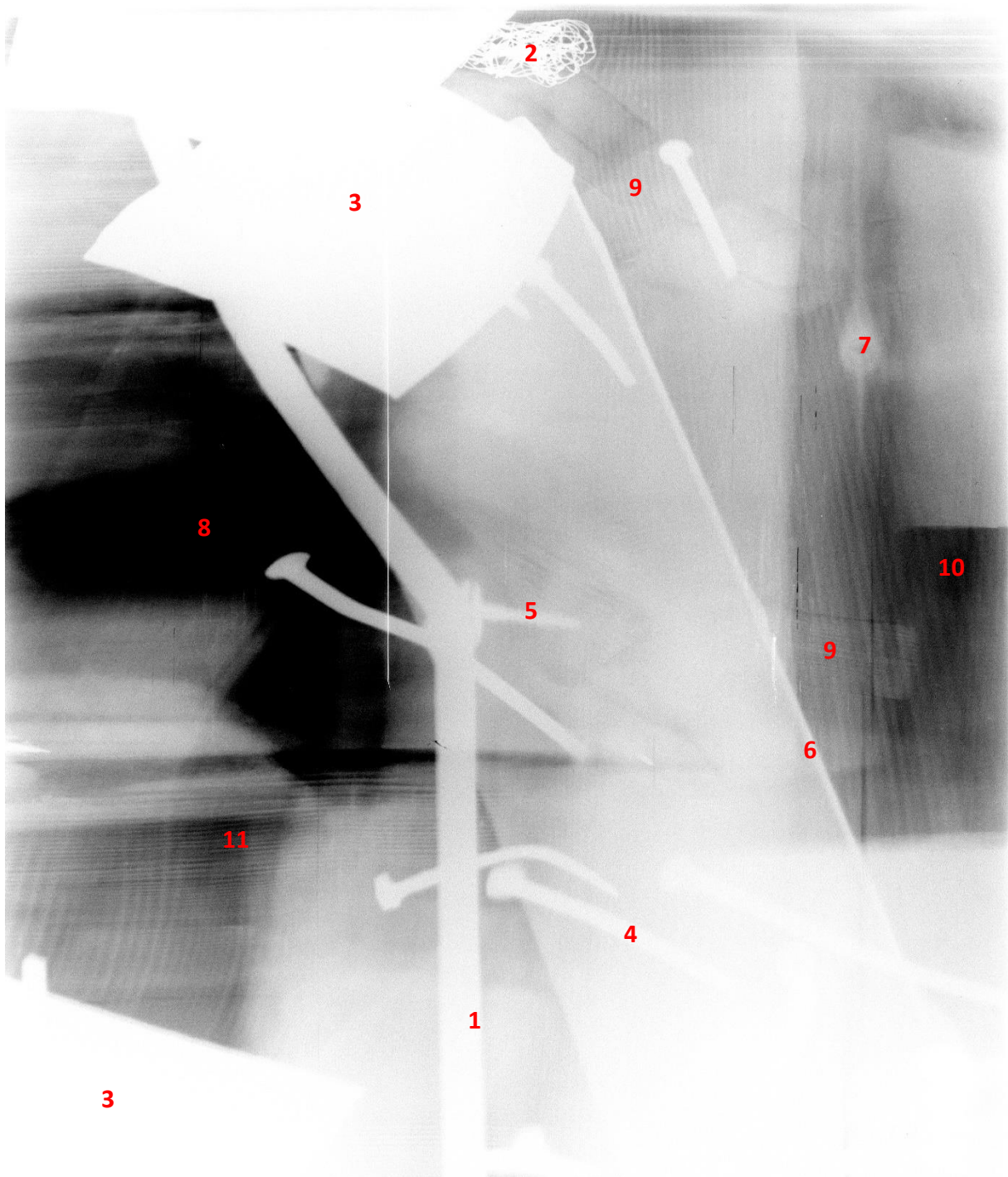
4.2 Sørvestre hjørnestav



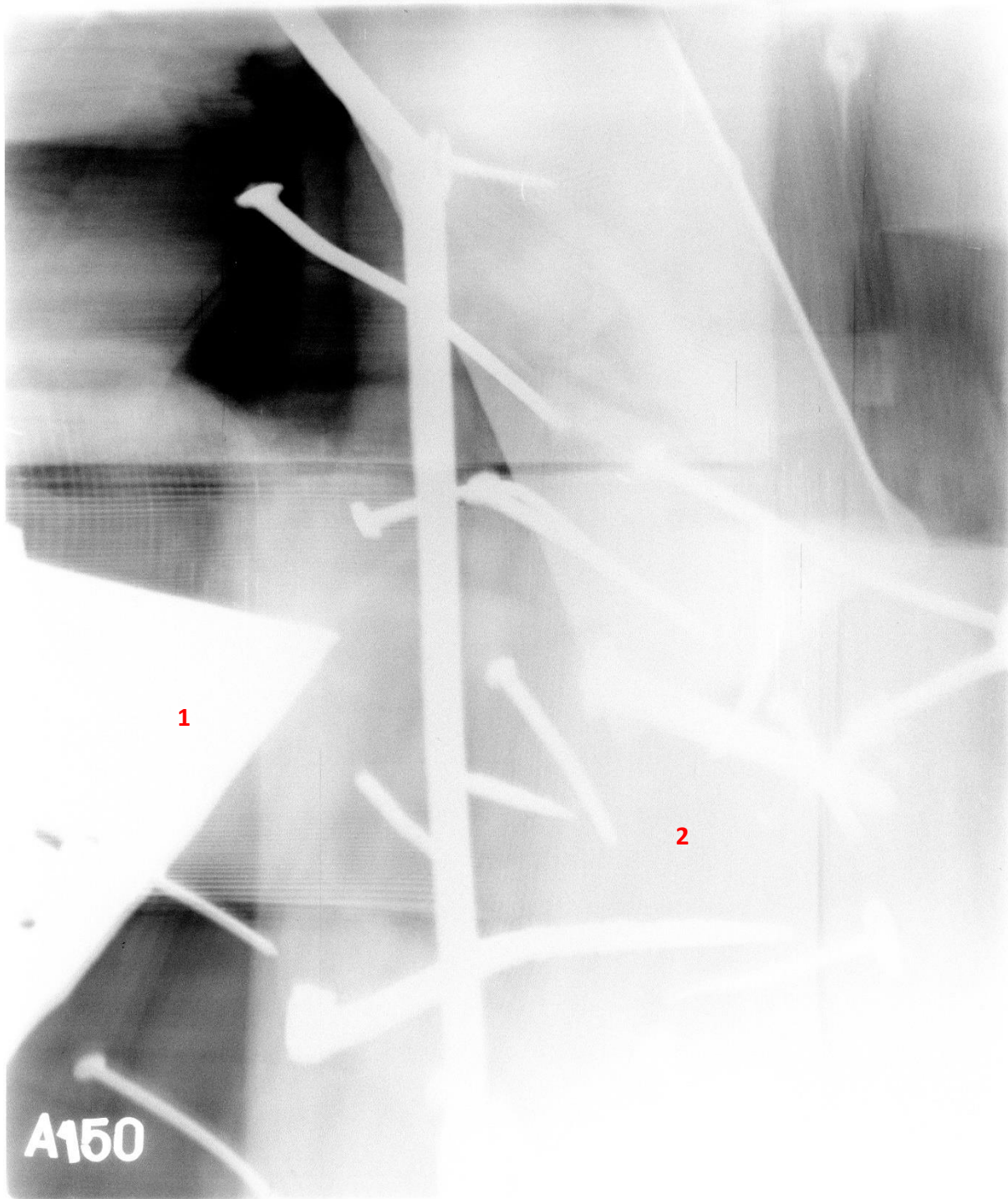
Figur 10. SV stav med inntappede midtromssviller. Firkantene markerer røntgenfilmens plassering på staven, rød svarer til figur 12, grønn til figur 13 (de gule prikkene er NIKUs tegnestifter, brukt til å feste røntgenfilmen til veggen.) Foto: NIKU



Figur 11. Firkanter i rødt markerer omtrentlig opptakenes fokusområde på utsiden, på V-siden av omgangstakets SV-re møne. Foto: NIKU



Figur 12. Røntgenopptak SV stav, se rød firkant i figur 10. 1) Lynavleder 2) Hønsenetting. 3) Blyplate. 4) Spiker. 5) Skrue. 6) Møne på omgangens tak. 7) Kvist 8) I det mørke området er mye treverk borte/svært nedbrutt. 9) Treplugger som sikrer S- og V-midtromssvill til stav. 10) Hulrom i konstruksjonen ved inntapping i staven fordi nedre del av V-midtromssvillen mangler. 11) Område med hulrom/nedbrytning i øvre plank i buefelt. Foto: NIKU



Figur 13. Røntgenopptak SV stav, se grønn firkant i figur 10. Røntgenopptak SV stav. 1) Man kan se mer av blydekket enn i Figur 9. 2) Årringene i staven fremtrer ikke tydelig, men dette kan skyldes opptakssituasjon. Foto: NIKU

5 Tolkning

5.1 Søndre midtromssvill

Ved visuell undersøkelse på svillas utside er det tydelig at treverket er sterkt nedbrutt, trolig på grunn innsig av vann. Det er tidligere gjort tettings-tiltak med plankebord og blytekkning, se figur 6. Ved opptakstidspunktet kjentes treverket fuktig.

Selv om midtromssvilla er +/- 22 cm tykk absorberer den relativt lite røntgenstråling over det hele om man sammenligner med de andre tynnere, friske tre-elementene i opptakene, se figur 7, 8 og 9. Dette kan tyde på at treet i hele den røntgenundersøkte delen av midtromssvilla er nedbrutt, men i ulik grad. Områder med kvist nedbrytes i mindre grad og fremstår som lysere, se figur 7 pkt. 5, 8 pkt. 3 og 9 pkt 3.

På røntgenbilder av uskadd tremateriale av jevn tykkelse vil røntgenopptaket ha relativt lik svertning i hele emnet. At noen områder er mørkere enn det omkringliggende treverket tilhørende samme bygningsdel og med samme tykkelse tyder på manglende materiale eller nedbrutt materiale med en lavere tetthet. På friskt treverk kan man skille porøs vårved (lav tetthet) fra hard vinterved (høy tetthet), se f.eks. området over pkt. 9 på figur 9. Når årringene ikke kan ses kan det være fordi treet er så nedbrutt at røntgenopptaket ikke lenger kan registrere noen forskjell i tetthet mellom vårved og vinterved. På røntgenopptakene av midtromssvilla viser treverket seg noen steder som sterkt nedbrutt. Årringene synes i liten grad, og i de mørkere områdene synes de ikke i det hele tatt, se figur 7, pkt. 1, figur 8, pkt. 1 og figur 9, pkt. 1.

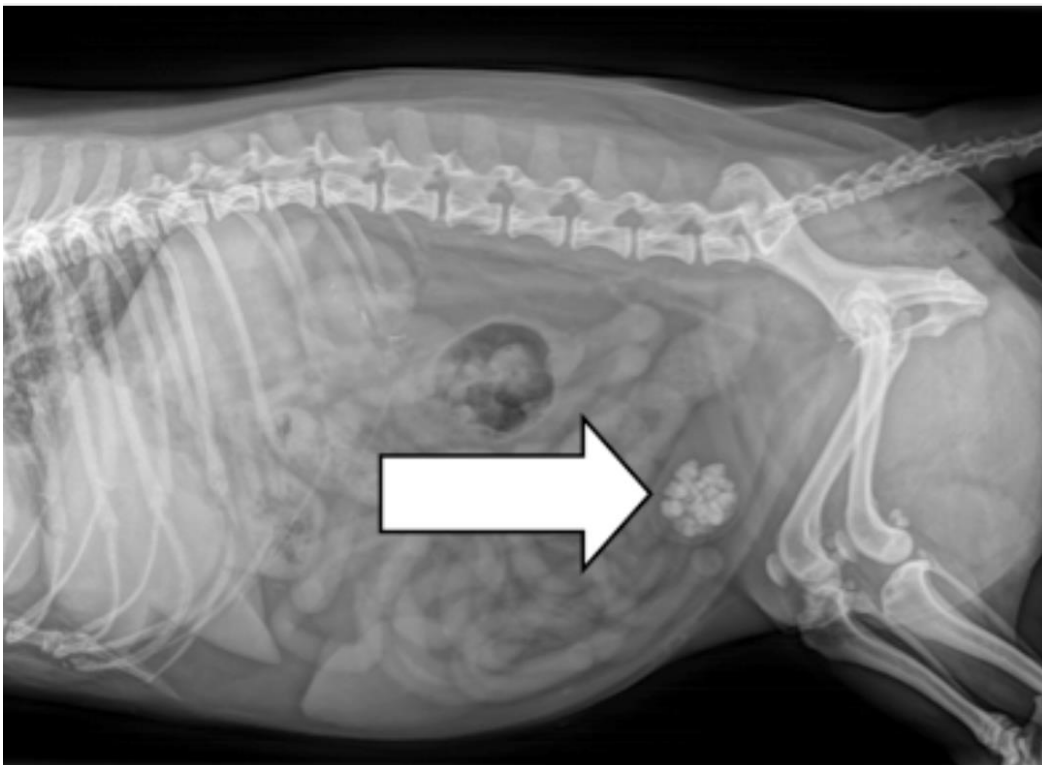
På midtromssvilla, nærme hjørnestaven, ser man med det blotte øyet områder med hvitt belegg. I et av røntgenopptakene, se figur 7, pkt. 3, ses formasjoner som kan være lange, flussede trefibre. I alle røntgenopptakene ses mange kantete klumper, opp til ca. 1 cm diameter, se figur 8, pkt. 2, figur 9, pkt. 2 og figur 15 b. De lange fibrene kan skyldes kjemisk nedbrytning av treet, at limet mellom trefibrene brytes ned og fibrene løsner fra hverandre. En slik nedbrytning kan skje ved påvirkning fra sterke syrer. På røntgenopptak av råteskadet tre kan man noen ganger observere råteklosser (brunråte), med sprekker på lang og tvers av fiberretningen. Klumpene som synes i røntgenopptakene av svilla følger ikke treet's struktur. Kanskje kan krystalliserte salter i nedbrutt treverk danner slike irregulære former? Western Bat Specialists¹ beskriver et typisk skadebilde forårsaket av flaggermus slik:

Guano and urine have a chemical effect on building materials. Both substances contain high levels of uric and other acids. [...] Guano contains high levels of phosphates, ammonium, potassium, chlorides, and other materials. These and the salts resulting from acid corrosion can result in severe problems of efflorescence and breaking. Similarly, the effect of the acids and salts on the porosity of masonry and other materials can result in accelerated moisture and frost damage. The acid can also serve as a catalyst in the process of oxidation on nails, screws, and metal flashing's around the structure. [...] Bat urine readily crystallizes at room temperature. In warm conditions under roofs exposed to sun and on chimney walls, the urine evaporates so quickly that it crystallizes in great accumulations. Boards and beams saturated with urine acquire a whitish powder-like coating. With large numbers of bats, thick and hard

¹ <http://batproblems.net/bat-guano/bat-guano-urine-damages/>

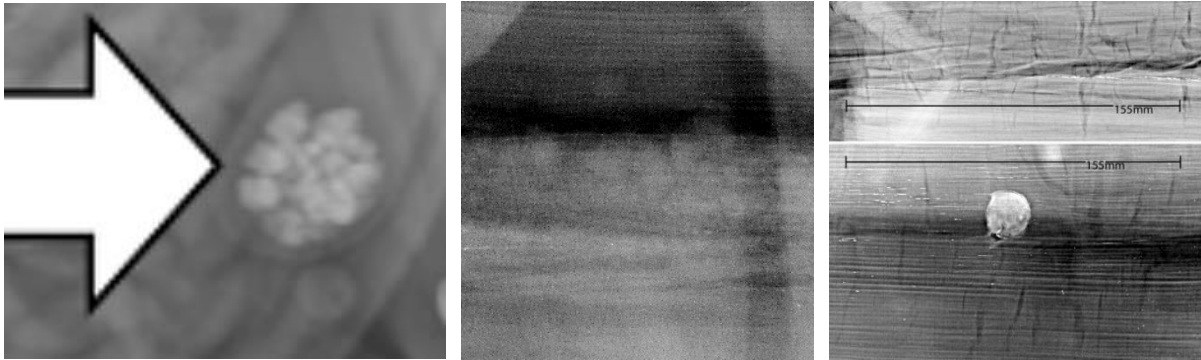
stalactites and stalagmites of crystallized bat urine are occasionally formed. [...] As already mentioned, bat guano and urine have a high concentration of uric and other acids, meaning that the guano and urine are extremely corrosive. This is especially true when there is repeated contact with surfaces such as metals and wood. Over a long period of time urine may cause wood deterioration. As the urine saturates the surfaces of dry wood beams and crystallizes, the wood fibers expand and separate. This can be quite severe, ultimately resulting in the need to replace such materials.

NIKU har ikke referansebilder av treverk nedbrutt av flaggermus-urin eller -avføring, men nettsider som diskuterer problematikken omkring avføring og urin fra flaggermus i trekonstruksjoner viser bilder av avsetninger og fibre treoverflater som kan stemme overens med tilstanden som viser seg på røntgenopptakene av midtromssvilla, se eksempel i figur 16. Studier av blant annet brannhemmende impregnering av treverk viser også at treoverflater som blir utsatt for syre- og saltpåvirkning kan bli flussete (Kučerová et al. 2008). Fra tidligere røntgenundersøkelser vet man at saltkrystaller vises på røntgenopptak. For eksempel vises salt fra alum-impregnering av arkeologisk tre på røntgenbilder seg som røntgenabsorberende.² Saltkrystaller viser seg også på røntgenbilder av «stein» i urinblæra på mennesker og dyr, se eksempel i røntgenopptak av urinblæra til en hund, figur 14 og 15.



Figur 14. Røntgenbilde av hund med blærestein. Blærestein er en forsteining av ulike mineraler/salter. Hentet fra nettside: <https://d8zzf9mjbijrc.cloudfront.net/wp-content/uploads/2015/08/Bladder-stones-X-ray-stones.png>

² <https://www.statsbygg.no/Files/samfunnsansvar/fou/nanokatedral/susanBraovac.pdf>



Figur 15, a-c. For sammenligning. 15 a: detaljfoto av figur 14, røntgenopptak av hund med blærestein; 15 b: detalj fra figur 9, uregelmessige klumper/kantete former i treet; 15 c: eksempel på to røntgenopptak av råteklosser i fuktskadet treverk, trolig brunrôte (Stein, 2013). Råteskadet tre vil normalt sprekke opp på tvers av fibre, mens formene/nedbrytningen vi ser på detaljen fra røntgenopptaket av midtromssvillen (figur 15 b) er uavhengige av fiberretning og kan ha blitt dannet av tilført materiale i treverket, eksempelvis urin og/eller ekskrementer fra flaggermus.

En av spikerne viser seg som sterkt korrodert på røntgenopptaket (figur 9, pkt. 8). Dette kan skyldes særlig surt miljø i dette området (James 2014), og kan være forårsaket av flaggermus-urin. Noen hulrom på langs og tvers av årringene i opptaket nærmest hjørnestaven kan være insekts-ganger, muligens stokkmaur. Se figur 7, pkt. 4. (Stein and Wedvik 2013) (Wedvik et al. 2015)



Figur 16. Foto av flaggermus i trekonstruksjon. I nedre del av bildet vises klumpete forsteininger som dannes av urin og avføring fra flaggermus. Øverst til venstre i bildet: svært flusset treoverflate. Viser dette nedbrytning av treverk som kan skyldes flaggermus-urin? Hentet fra nettside <https://www.mass.gov/news/study-on-little-brown-bats-continues>.

5.2 Sørvestre hjørnestav og øvre plank i buefelt

Ut fra røntgenbildene av staven, se figur 12 og 13, kan det ikke påvises nedbrutt treverk eller hulrom som skyldes nedbrytning. På røntgenbildet av staven synes årringene på stavens vestre side og her er også tre-elementenes kuttflater klart definerte. På stavens østre side er både årringer og kuttkanter mindre tydelig gjengitt, men dette kan skyldes andre forhold enn nedbrytning, som bevegelse i røntgenapparat under eksponering (plassert på utvendig lift i sterk vind) eller sterk fortegning, som det blir ved opptak av hjørnekonstruksjoner.

På opptakene av staven er det imidlertid også informasjon om den delen av øvre planke i buefeltet som ligger nærmest staven, se figur 12, pkt. 11. Det ser ut til å være et hulrom eller område med nedbrutt treverk rett under midtromssvilla, i forlengelsen av et svært nedbrutt område i denne.

6 Konklusjon

6.1 Søndre midtromssvill

Midtromssvillas treverk er nedbrutt i hele det røntgenfotograferte området, stedvis sterkt nedbrutt. Trolig har svilla vært utsatt for fuktpåvirkning med påfølgende råte før flaggermusene flyttet inn i den, siden disse ikke kan rydde seg plass i friskt treverk. Ut fra innhentet informasjon om typer nedbrytning som skyldes flaggermus-urin og -ekskremitter virker det sannsynlig at en del av skadebildet som vises på røntgenbildene - de flussete trefibrene og de kantete klumpene i treverket - kan være sekundærskader som kan ses i sammenheng med at svilla har vært bosted for flaggermus.

Midtromssvillas bæreevne og festeevnen i hjørnestaven bør vurderes og den svekkede delen overvåkes, sikres eller byttes.

Dersom det besluttes at den undersøkte delen av midtromssvillen må erstattes vil NIKU svært gjerne motta den som materialprøve for å få bekreftet, nyansert eller avkreftet vår tolkning av skadebildet, og for eventuell bruk som referansemateriale for nedbrytning av treverk forårsaket av flaggermus.

6.2 Sørvestre hjørnestav og øvre plank i buefelt

Røntgenbildene kunne ikke bekrefte noen skader i hjørnestaven, men området mot midtromssvilla er utydelig på bildene, så det kan ikke utelukkes at det kan være nedbrutt treverk også her. Området bør undersøkes også med andre metoder.

Det ser ut til å være et nedbrutt område eller hulrom i øvre plank i buefeltet nedenfor svilla. Området ligger rett under et svært nedbrutt område i svilla, og nedbrytningen i disse områdene kan trolig ses i sammenheng med hverandre. Budefeltet har ifølge Håkon Christie (Christie, Amlo, and Riksantikvaren 2009) ingen bærende funksjon.

7 Litteratur

- Christie, Håkon, Anders Amlo, and Riksantikvaren. 2009. *Urnes stavkirke : den nåværende kirken på Urnes*. Oslo: Pax.
- James, Hales. 2014. "Bats in Churches: Objective Assessment of Associated Damage Mechanisms." *Archaeology International* 17 (50):94-108. doi: 10.5334/ai.1703.
- Kučerová, Irena, Martina Ohlidalová, Jiří Frankl, Michal Kloiber, and Alena Michalcová. 2008. "Debrifing of historical rood beams caused by ammonium sulphate and ammonium phosphates based fire retardants." *Wood Science for Conservation of Cultural Heritage*, Braga.
- Stein, M. , and B. Wedvik. 2013. "Historische Holzbauwerke röntgen. Identifikation und Aufzeichnung der biologischen Zerstörung von Holz mittels tragbarer Röntgenröhren und digitalem Röntgen. ." *Restauro. Forum für Restauratoren, Konservatoren und Denkmalpfleger* 2013 (5) 48-57.
- Wedvik, Barbro, Mille Stein, Jan Michael Stornes, and Johan Mattsson. 2015. "On-site Radioscopic Qualitative Assessment of Historic Timber Structures: Identification and Mapping of Biological Deterioration of Wood." *International Journal of Architectural Heritage*. doi: 10.1080/15583058.2015.1077905.

Norsk institutt for kulturminneforskning er et uavhengig forsknings- og kompetansemiljø med kunnskap om norske og internasjonale kulturminner.

Instituttet driver forskning og oppdragsvirksomhet for offentlig forvaltning og private aktører på felter som by- og landskapsplanlegging, arkeologi, konservering og bygningsvern.

Våre ansatte er konservatorer, arkeologer, arkitekter, ingeniører, geografer, etnologer, samfunnsvitere, kunsthistorikere, forskere og rådgivere med spesiell kompetanse på kulturarv og kulturminner.

www.niku.no

NIKU Oppdragsrapport 64/2018

NIKU hovedkontor
Storgata 2
Postboks 736 Sentrum
0105 OSLO
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tønsberg
Farmannsveien 30
3111 TØNSBERG
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Bergen
Dreggsallmenningen 3
Postboks 4112 Sandviken
5835 BERGEN
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Trondheim
Kjøpmannsgata 1b
7013 TRONDHEIM
Telefon: 23 35 50 00

NIKU Tromsø
Framsenteret
Hjalmar Johansens gt.
14
9296 TROMSØ
Telefon: 77 75 04 00