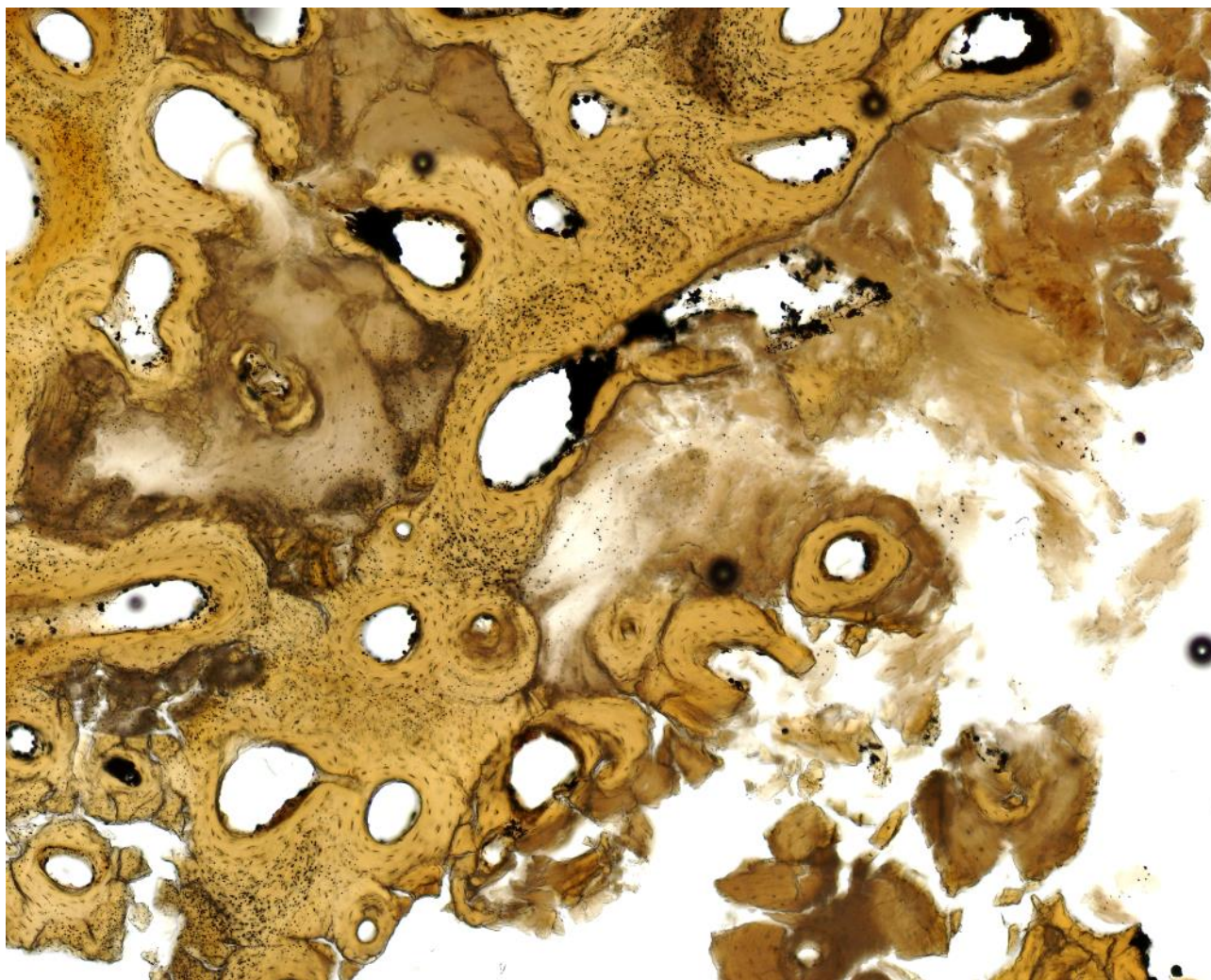


Tilstandsvurdering af kulturgenstande ved Tvis klosterkirkegård

Bevaringsforhold i de vanddrukne lag samt vurdering af påvirkningerne ved ændret grundvandsniveau og fluktuerende overfladevand

Slots- og Kulturstyrelsen Journalnummer: 19/02377-4

Juli 2019



Abstrakt

Vurderingen af ændrede bevaringsforhold for gravene ved det fredede Tvis Kloster, fredningsnummer 2104:83, bygger på tre kriterier; i) udgravningsdeltagelse og makroskopisk vurdering af miljømæssige bevaringsforhold samt genstandenes bevaring; ii) videnskabelig analyse af træ- og knogle-genstande fra grave; iii) vurdering af latente nedbrydningsrisici samt konsekvenser for bevaringsforholdene ved ændret grundvandsstand og fluktuerende overfladevand.

Under udgravningsdeltagelsen blev bevaringsforholdene dokumenteret og kistetræ- samt humant knoglemateriale indsamlet til mikroskopisk tilstandsvurdering. Vurdering af fundmaterialets nedbrydningsgrad blev undersøgt makroskopisk og mikroskopisk ud fra internationalt anerkendte kriterier.

Bevaringsforhold i felten og de makroskopiske undersøgelser tyder på et yderst nedbrudt materiale. Rødder har fragmenteret knoglerne og kistetræet var formuldet flere steder. De mikroskopiske undersøgelser understøttede dette billede, hvor træcellerne er delvist kollapsede og knoglernes morfologiske struktur er opløst i overfladen. Derudover blev der konstateret pyrit-udfældninger, der kan opløse knoglen yderligere hvis iltet.

Ud fra tilstandsrapporten og vurderingen af effekten af ændret vandstand kan der konkluderes, at en hævet vandstand vil optimere bevaringstilstanden for det resterende gravmateriale. Der skal dog tages det forbehold, at søgegrøften blev lagt på det laveste sted på kirkegården og der derfor ikke kan vurderes i fald fluktuerende overfladevand kan have selektivt udvaskende (demineraliserende) effekt på human knogle, der ligger højere i terrænet.

Indhold

Formål.....	4
Materiale.....	5
Metode.....	6
Resultater.....	12
Diskussion.....	23
Konklusion.....	27
Referencer.....	28

Appendix 1, Præpareringsmetode af savesnit til histologisk analyse ved Institut for Odontologi og Sundhed, Aarhus Universitet

Appendix 2, Stiliseret histologisk billede af knoglemorfologi

Formål

Denne tilstandsvurdering er udfærdiget på baggrund af en henvendelse fra Holstebro Museum 9. januar 2019 og omhandler bevaringsforholdene og det arkæologiske materiale fra den fredede Tvis kirkegård.

Ved en sonderende arkæologisk undersøgelse i slutningen af april 2019 blev PhD og zooarkæolog, Jacob Kveiborg, samt PhD og konservator, Anna Tjelldén, fra Moesgaard Museums Konserverings- og Naturvidenskabelige afdeling inddraget. Der blev her udtaget arkæologisk materiale til analyse med fokus på konsekvensen ved ændret grundvandsniveauet og eventuel fluktuerende overfladevand.

Konklusionen af denne rapport bygger på observationer ved udgravningen samt resultater fra de mikroskopiske materialeundersøgelser.

Moesgaard Museum, 8270 Højbjerg

10.07 2019



Dato

Anna K.E. Tjelldén

Materialie

Feltobservationer

Under udgravning af søgegrøften var det arkæologiske fundmateriale meget begrænset, og flere



steder var den eneste indikation på en grav en ændring i sedimentet (figur 1). Al organisk materiale såsom kistens bund, sider og låg var formuldet.

Derudover stod grundvandet så højt, at det ofte umuliggjorde en sikker vurdering af grav vs. jordfyld (se også prøvegravningsrapporten fra Holstebro Museum).

Figur 1.

En ændring i sedimentet er her den eneste indikation på tilstedeværelsen af en grav. Al kulturmateriale var nedbrudt og udefinerbart.

Udtaget prøvemateriale fra felten

Der blev fundet to materialetyper; træ og human knogle ved følgende koter:

Grav A1: 13,57, 13,61 og 13,62.

Grav A4: 13,80, 13,93 og 13,94.

Identifikationen af knoglerne er foretaget af zooarkæolog Jacob Kveiborg, Moesgaard Museum. På grund af det meget begrænsede fundmateriale blev det besluttet at udtage materiale til nærmere tilstandsanalyse fra to grave:

"Grav 1": 2 fragmenter af træ (kistebund) / højre lårben

"Grav 4": 5 mindre fragmenter af ribben / 1 nøgleben / venstre overarm / højre overarm

Derudover blev der fundet et mindre fragment af større rørknogle, som ikke kunne tilknyttes en grav.

Metode

Bevaringstilstanden af det rekvirerede fundmateriale fra Tvis Kirkegård er vurderet ud fra en makroskopisk og mikroskopisk skala.

Makroskopisk tilstandsvurdering

Den makroskopiske tilstandsvurdering bygger på en visuel beskrivelse (fragmenteringsgrad, farve og konsistens). Træets densitet vurderes i forhold til frisk træ. Knoglerne vurderes ud fra en skala fra 1 til 5, hvor 1 er recent, velbevaret knogle, mens 5 repræsenterer en næsten komplet nedbrudt knogle (tabel 1).

Kategori	Beskrivelse
1	Stærk/stabil og hel knogle. Skeletdelene er hele og uden skader
2	Skrøbelig knogle, fragmenteret, men fuldt ud rekonstruerbar
3	Fragmenteret knogle, revnede og fragmenterede knogler
4	Ekstremt fragmenteret knogle, kan være vanskeligt identificerbare
5	Knoglen er nedbrudt til ”knogle-mel” eller en aftegnet silhouette

Tabel 1. Makroskopisk bevaringskategorier for arkæologisk knogle udviklet af Gordon og Buikstra (1981), her frit oversat fra Jans (2005).

Mikroskopisk tilstandsvurdering

Vedbestemmelse og indfarvning af træsnit med Safranin O samt Tolouidin blå er udført af biolog Jonas O. Jensen, Afdeling for Konservering og Naturvidenskab, Moesgaard Museum.

Tilstandsvurderingen af træcellernes nedbrydningsgrad er udført af undertegnede ved transmitteret lysmikroskopi (Olympus BX51), hvor eksempelvis kollaps af træceller indikerer stærkt nedbrudt materiale.

Knoglepræpareringen (indstøbning af et fragment i epoxy, skæring af tyndslib på mikrotom) samt fotodokumentationen ved transmitteret lysmikroskop (Olympus BX61 med kamera Olympus DP80) blev udført af bioanalytiker Sussi Madsen og laboratorietekniker Lene Grønkjær, Institut for Odontologi og Oral Sundhed, Aarhus Universitet (for nærmere metodebeskrivelse, se Appendix 1). Den efterfølgende histologiske analyse af knoglevævsmorfologien blev foretaget af undertegnede og bygger på *det histologiske index* som beskrevet i Millard, 2001 (tabel 2).


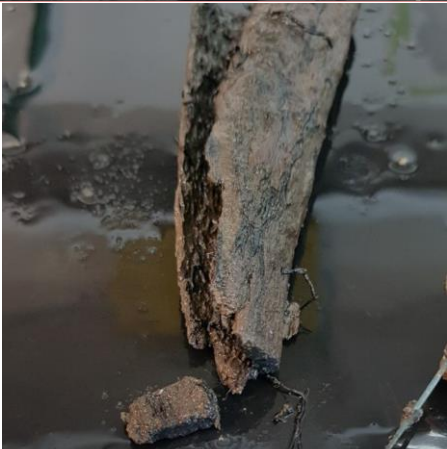
Index	Anslået % intakt knogle	Beskrivelse
0	<5	Ingen originale kendetegn identificerbare med undtagelse enkelte Haverske kanaler
1	<15	Haverske kanaler er til stede, små områder med velbevaret knogle eller lamelstruktur er bevaret som følge af nedbrydningsmønstre
2	< 50	Nogle lamelstrukturer er bevaret mellem nedbrudte områder
3	>50	Nogle osteocyt lacunae er bevaret
4	>85	Knoglemorfologien er ganske velbevaret med mindre mængder af nedbrudte områder
5	>95	Meget velbevaret, som recent knoglemorfologi


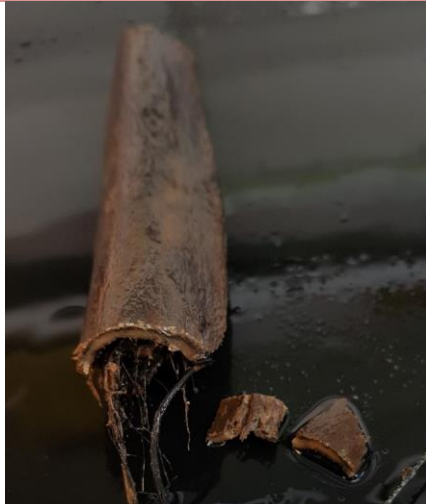
Tabel 2. Histologisk Index til vurdering af knoglemorfologi i transmitteret mikroskop, frit oversat fra Millard 2001.

Der blev herudover taget fotos på Institut ved Geoscience, Aarhus Universitet, ved et Nikon eclipse E600 POL mikroskop, der kan skifte mellem transmitteret og reflekteret lys.

Til den histologiske analyse blev der udtaget prøver fra de tre største knogler med mest kompakt knoglevæv. Dette blev besluttet for at få den største variation og dermed det mest nuancerede billede af nedbrydningsfænomener og omfanget af disse.

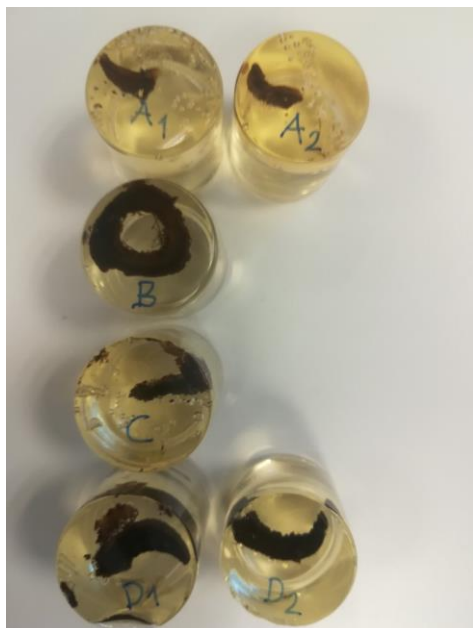
Tabel 3 viser de snit, der blev lagt i knoglerne for at udføre den mikroskopiske, histologiske analyse af bevaringsgraden, og figur 2 viser de indstøbte fragmenter til videre snit på mikrotom.

Knogle/Grav/Bevaring		Foto dokumentation	
Højre lårben Bedst bevarede sted på knoglen ud fra makro vurdering Grav 1			
Højre lårben Dårligst bevarede sted på knoglen ud fra makro vurdering Grav 1			

<p>Højre overarm</p> <p>Bedst bevarede sted på knoglen ud fra makro vurdering</p> <p>Grav 4</p>			
<p>Højre overarm</p> <p>Dårligst bevarede sted på knoglen ud fra makro vurdering</p> <p>Grav 4</p>			

Tabel 3. Skæring af fragmenter før indstøbning og savning til histologiske savesnit. Det bedst bevarede og det dårligst bevarede sted blev udvalgt på hver knogle ud fra en makroskopisk vurdering.

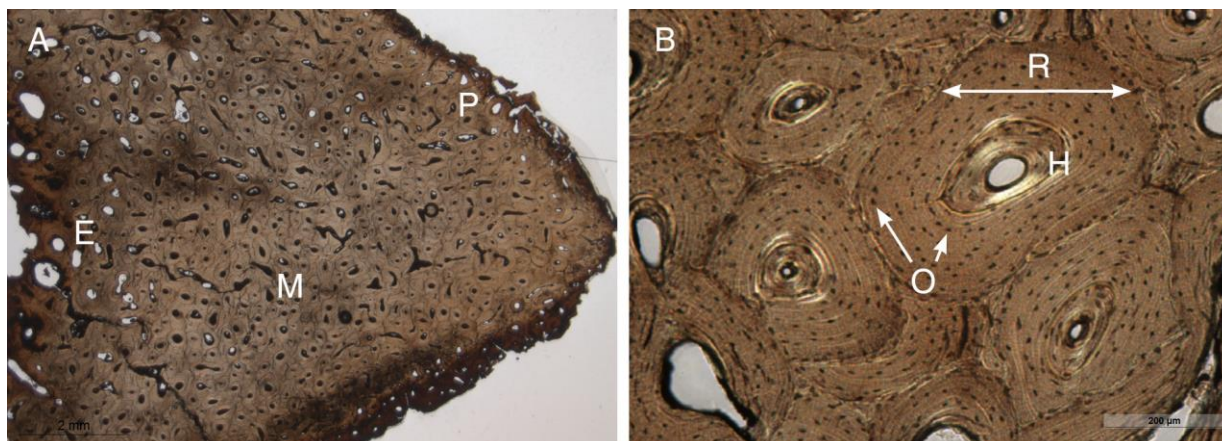
Højre lårbens bedst bevarede fragment gik i to dele under præpareringen. Det dårligste er indstøbt i ét stykke. Højre overarms bedst bevarede fragment er i ét rundt stykke, mens det dårligst bevarede fragment gik i to dele. Derfor er der i alt 6 indstøbte fragmenter af de to humane knogler (figur 2).



Figur 2. De indstøbte fragmenter af højre lårben (grav 1) og højre overarm (grav 4). Det makroskopisk bedst og værst bevarede område er indstøbt til savesnit. Foto: Sussi Madsen, Institut for Odontologi og Sundhed, AU.

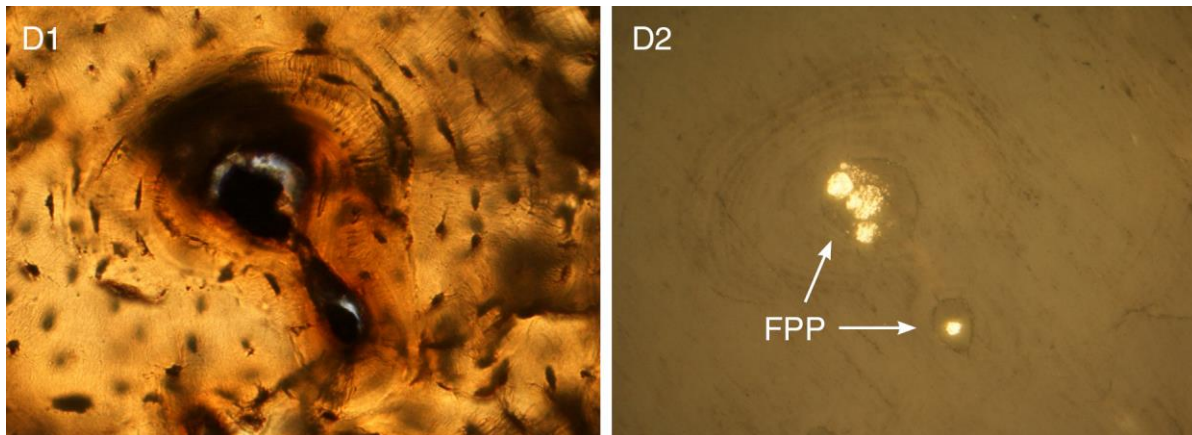
Hver histologisk analyse baseres på et mikroskopisk tværsnit af knoglerne således at knoglemorfologiske hovedtræk såsom Haverske kanaler, osteoner og de tre forskellige områder i knoglen kan tilstandsvurderes (for en stiliseret histologisk oversigt, se Appendix 2). De tre områder gælder 1) det endostale område (inderst mod marvkanalen), 2) midt

kompakt knogle samt 3) det periostale område (yderst mod knoglens overflade). Figur 3A viser disse tre områder og figur 3B viser de morfologiske karakteristika, som bliver refereret til i denne tilstandsrapport.



Figur 3. To mikrografer af den yderste del af et skinneben fra jernalderen, ca. 30µm savesnit (fra Tjelldén, 2016). (A) Et tværsnit, der viser tre områder i den kortikale (kompakte) knogle, som vurderes adskilt: E = Endostale område ind mod marvkanalen, M = det midterste kompakte knoglevæv, og P = Periostale område ud mod knoglens overflade (5 MAG). (B) Histologiske termer, der vil blive anvendt i denne rapport: H = Haversk kanal, O = Osteocytisk lacunae, R = cementeringslinje (omkranser de forskellige osteoner) (100 MAG).

I den Haverske kanal kan udfældningsprodukter fra det omgivende jordmiljø såsom jern-svovlforbindelsen pyrit (FeS_2 , jerndisulfid) være synlige. Udfældningen heraf ses som sorte plamager i transmitteret mikroskopi (figur 4D1), men ved reflekteret mikroskopi skinner de meget karakteristisk og kan dermed identificeres (figur 4D2).



Figur 4. Transmitteret (D1) og reflekteret mikroskopi (D2) af human jernalderknogle med pyrit udfældninger (fra Tjelldén, 2016). Mikrograferne viser det eksakt samme område af en udfældet substans i den Haverske kanal. Dette kunne identificeres som hindbærlignende pyrit-kugler (FPP, *Framboidal pyrite precipitation*) under reflekteret mikroskopi.

Resultater

Makroskopisk tilstandsvurdering

Den makroskopiske vurdering af kistetræet ses i tabel 4.

Lokalitet	Foto	Vedbestemmelse	Densitet
Grav 1 (A)		Nåletræ, gran eller lærk (svært at identificere på grund af kollapsede træceller)	274 kg/m ³
Grav 1 (B)		Nåletræ, gran eller lærk (svært at identificere på grund af kollapsede træceller)	287 kg/m ³
SAMLET MAKRO VURDERING	Skrøbeligt træ, misfarvet af jernoxider fra jorden, kan bøjes og knækker let ved berøring	Nåletræ (lærk eller gran)	

Tabel 4. En makroskopisk tilstandsvurdering af kistetræet. Vedbestemmelsen er foretaget af biolog Jonas O. Jensen, Afdeling for Konservering og Naturvidenskab, Moesgaard Museum.

Det humane fundmateriale bar stort præg af nedbrydning som følge af vækst af rødder gennem det spongiøse væv samt marvkanalen, se eksempel figur 5 samt rapportens forside.



Figur 5. Øverst: Eksempel på rødders selektive netværksspredning gennem den næringsrige marvkanal (Tvis knogle).



Nederst: Eksempel på rødders penetrering af kompakt knoglevæv, hvilket forårsager fragmentering af knoglen (Tvis knogle).

Derudover var der omfattende forvitring af knoglernes overflade, hvor hele den yderste overflade var væk (eksempel figur 6). Dette kan skyldes ilttilførsel samt en selektiv ”korrosion” af knoglerne som følge af vandkemien.



Figur 6. To eksempler på forvitring af knoglernes overflade. Store områder af det yderste af knoglernes overflade er væk.

Tabel 5 herunder viser en oversigt over den makroskopiske tilstandsvurdering af knoglerne.

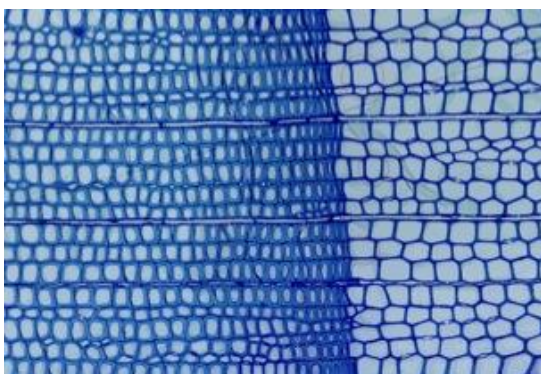
Knogletype / Grav	Foto	Makro tilstandsvurdering
Højre lårben Grav 1		3

<p>5 mindre fragmenter af ribben</p> <p>Grav 4</p>	    	<p>2</p> <p>2</p> <p>2</p> <p>3</p> <p>3</p>
<p>Nøgleben</p> <p>Grav 4</p>		<p>2</p>
<p>Venstre overarm</p> <p>Grav 4</p>		<p>2</p>

Højre overarm Grav 4		3
Fragment af større rørknogle Ukendt grav		4
SAMLET MAKROSKOPISK VURDERING	Skrøbelige knogler, fragmenterede og revnede, visse dog fuldt rekonstruerbare	2,6

Tabel 5. Makroskopisk tilstandsvurdering af de humane knogler fra Tvis Kirkegård (baseret på Gordon og Buikstra, 1981).

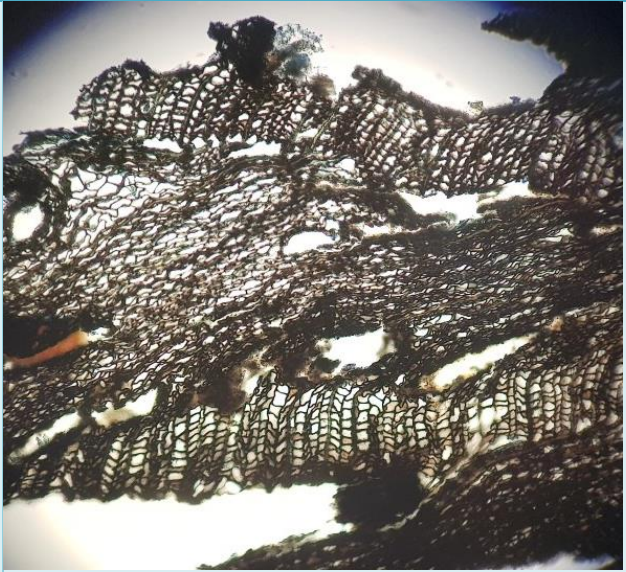
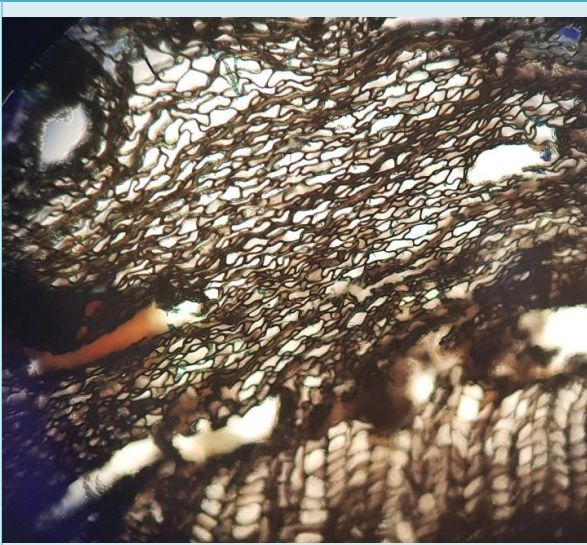
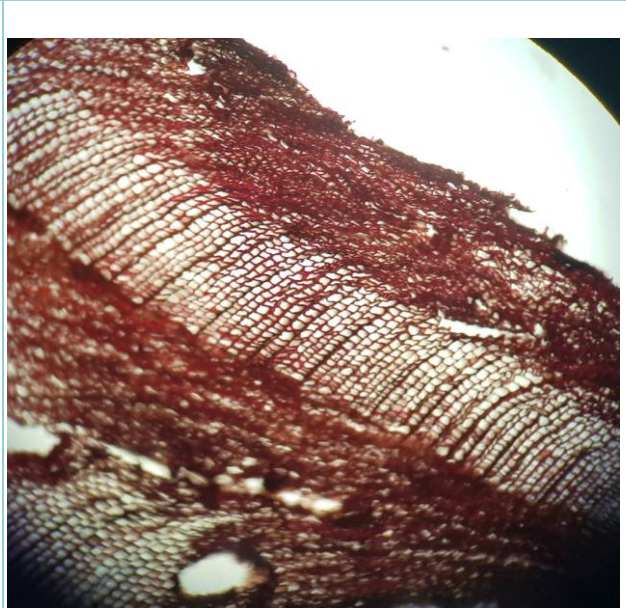
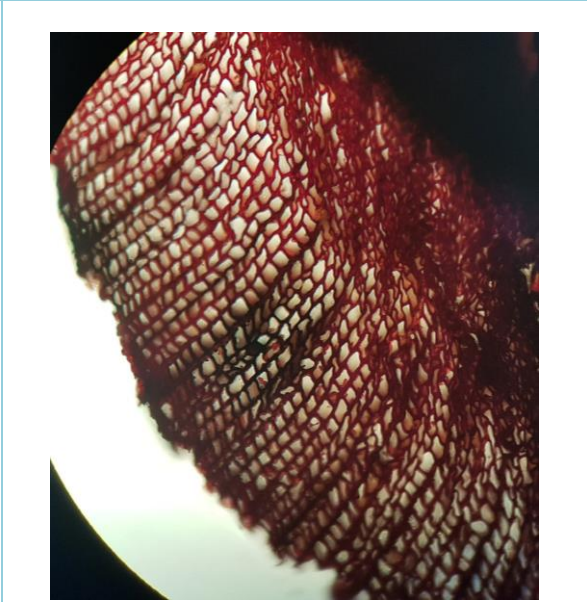
Mikroskopisk tilstandsvurdering



Figur 7 viser et mikroskopisk udsnit af recent, velbevaret træstruktur.

Figur 7. Velbevaret nåletræ, hvor cellestrukturen er let genkendelig. De kompakte celler er vinterved, mens de store celler er vårved. Foto: Nanna B. Pedersen.


Til sammenligning kan man se områder med kollaps i kistetræet fra Tvis Kirkegård. Den mikroskopiske tilstandsvurdering af træet er samlet i tabel 6, der viser 1) oversigtsmikrografi og 2) nærmere udsnit af cellestrukturen. Kistetræ "Grav 1 A" er indfarvet med Tolouidin blå, mens kistetræ "Grav 1 B" er indfarvet med Safranin O.


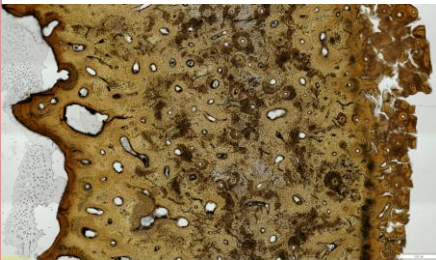
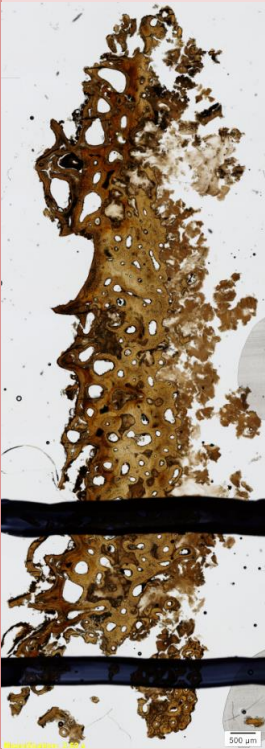
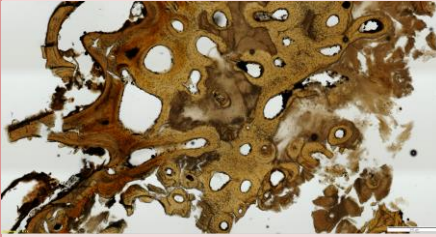
TRÆ ID	OVERSIGHT (100 MAG)	UDSNIT (200 MAG)
GRAV 1 (A)		
GRAV 2 (B)		


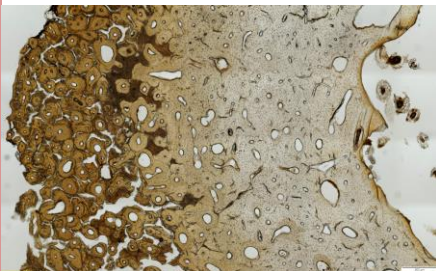

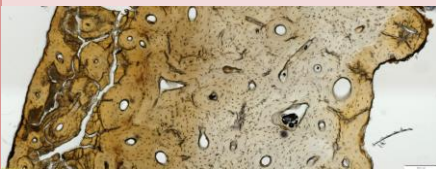
SAMLET MIKRO VURDERING		Mikrobielt nedbrudte cellevægge, der som følge af ilt-eksponering områdevist er kollapsede (minder om "båndsalat")
-----------------------------------	--	--

Tabel 6. Mikrografier af træets celler viser områder med kollaps.

Den mikroskopiske tilstandsvurdering af de humane knogler er vurderet i tabel 7, der viser 1) histologisk oversigtsmikrografi med aftegnet udsnit, 2) mikrografier af områderne periost, midt og endost, 3) en vurdering af hvert af disse områder ud fra det histologiske index som nævnt i metodeafsnittet.

Makro afskæring	Histologisk oversigtsmikrografi med aftegnet udsnit	Histologisk udsnit Periost/Midt/Endost	Periost	Midt	Endost
Højre lårben			1	4	4
Bedst bevarede sted (1:2)					
Grav 1					

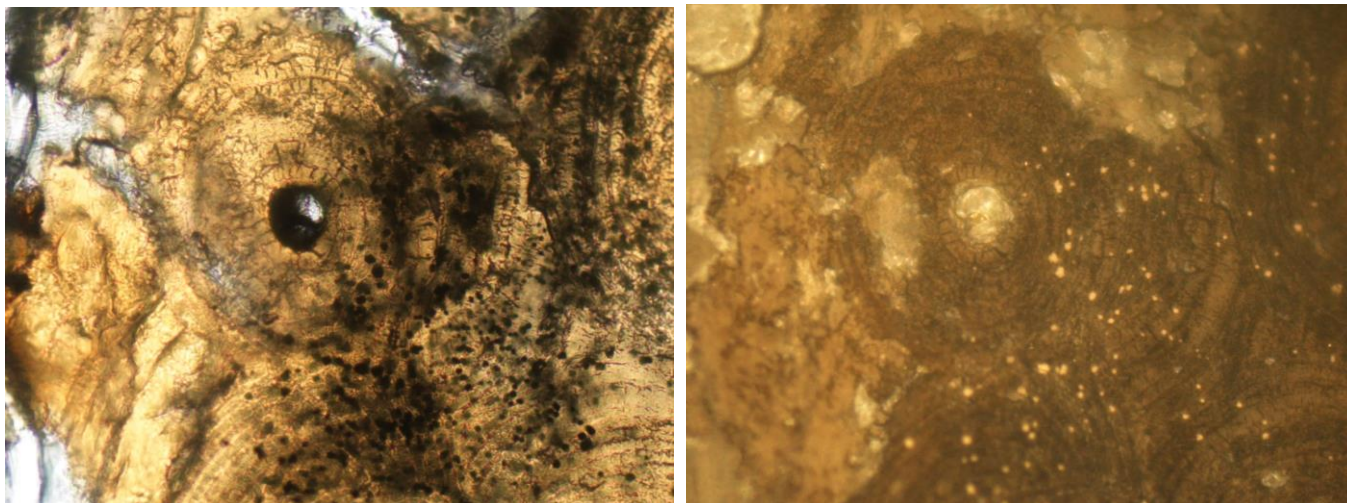
<p>Højre lårben</p> <p>Bedst bevarede sted (2:2)</p> <p>Grav 1</p>			1	3	4
<p>Højre lårben</p> <p>Dårligst bevarede sted</p> <p>Grav 1</p>			0	2	3

<p>Højre overarm</p> <p>Bedst bevarede sted</p> <p>Grav 4</p>	 	1	5	4
<p>Højre overarm</p> <p>Dårligst bevarede sted (1:2)</p> <p>Grav 4</p>	 	2	5	4

<p>Højre overarm</p> <p>Dårligst bevarede sted (2:2)</p> <p>Grav 4</p>			1	5	4
<p>SAMLET MIKROSKOPISK VURDERING AF HUMANE KNOGLER</p>		<p>Knoglerne har et signifikant heterogent nedbrydningsmønster, hvor det periostale (ydre) af knoglen er substantielt mere opløst og nedbrudt end den inderste kortikale knogle. Humussyrer har infiltreret knoglevævet primært periostalt og har misfarvet knoglen.</p>			

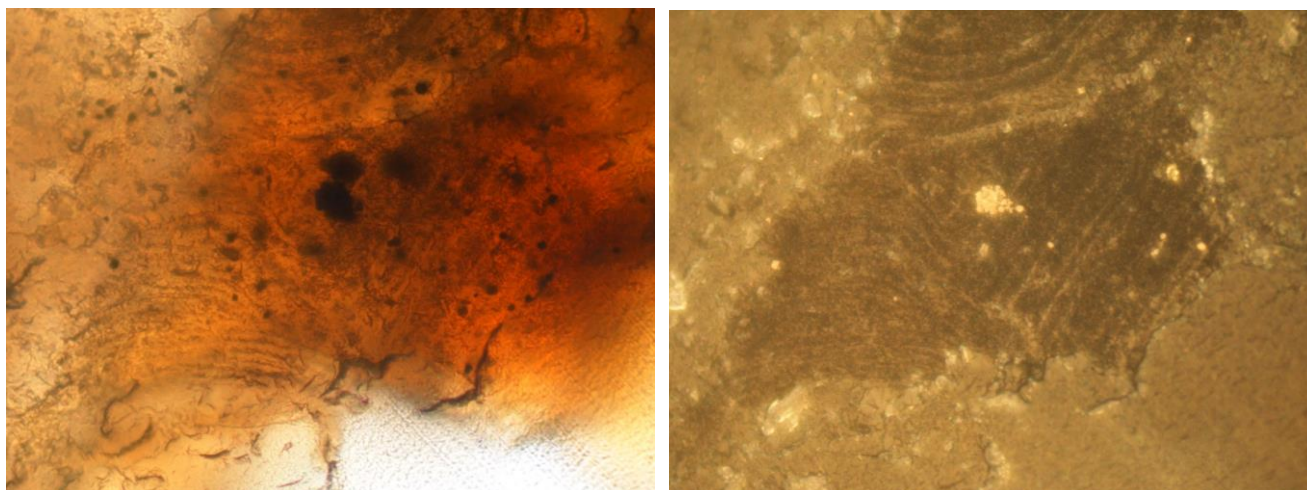
Tabel 7. Den histologiske tilstandsvurdering af det bedst og værst bevarede sted på to humane knogler fra Tvis Klosterkirkegård (baseret på Millard, 2001). Oversigts mikrografiet er ved 100 MAG og udsnittet ved 200 MAG.

Der blev observeret udfældninger af pyrit i knoglematrix (osteocytternes lacunae) og i de Haverske kanaler både i de områder, der var bedst og dårligst bevaret (figur 8).



Figur 8. Eksempler på udfældet pyrit i de Haverske kanaler, fra en human knogle fra Tvis kloster (højre lårben bedst bevarede område). I transmitteret lysmikroskopi (til venstre) ses store områder med sort, infiltreret materiale både i selve matrix af knoglen og i de Haverske kanaler. Skifter man til reflekteret lys kan man konstatere, at de små sorte udfældninger er lysende prikker af udfældet framboidal pyrit (til højre). 400x MAG.

Pyritudfældningerne blev hyppigt observeret i de områder, hvor knoglens struktur var delvist eller helt opløst (figur 9).



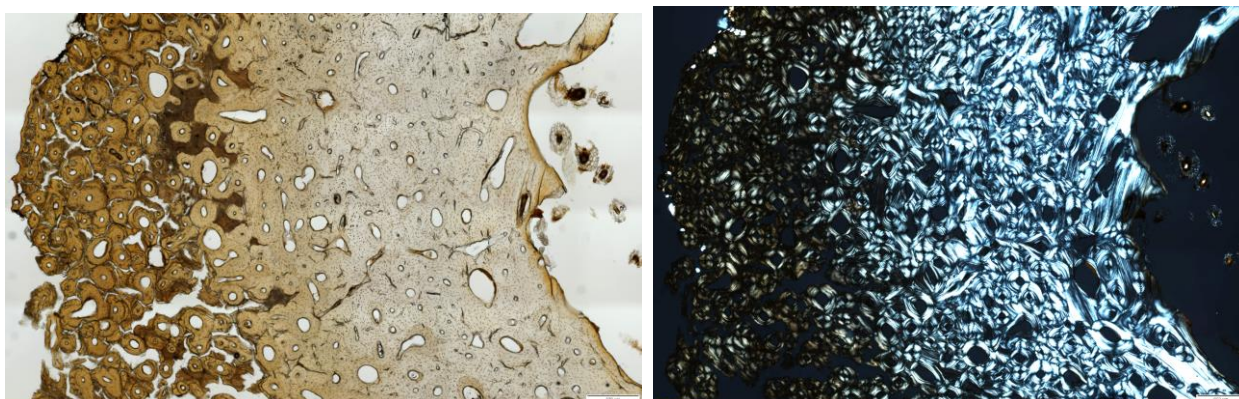
Figur 9. Pyritudfældninger i morfologisk opløst knogleområde, fra en human knogle fra Tvis kloster (højre lårben, værst bevarede område). Transmitteret lysmikroskopi (venstre), reflekteret lysmikroskopi til højre af samme område (højre). 400x MAG.

Diskussion

Denne rapport er en analyse af et begrænset udgravningsmateriale og konkluderer dermed på baggrund af 1) den nuværende tilstand af det kulturelle materiale udgravet i april 2019, 2) de nedbrydningsparametre, der er igangværende og 3) nedbrydningsparametre, der på sigt kan være aktuelle.

Makroskopisk var det primært rod-væksten, der forårsagede den største bevaringsrisiko for det kulturelle fundmateriale. Knoglernes marv-kanal men også kompakte væv bar præg af omfattende rodvækst, hvilket er karakteristisk, da knogler og i særdeleshed marvkanalen er yderst næringsrig. Recent nåletræ (lærk) har en densitet på ca. 550 kg/m^3 . Kistetræet fra Tvis Kirkegård havde en densitet på hhv. 274 og 287 kg/m^3 , hvilket indikerer en nedbrudt cellestruktur (indhold af cellulose og hemicellulose).

Mikroskopisk er træets celler områdevist kollapsede som følge af 1) mikrobiel nedbrydning af cellemens hemicellulose og cellulose og 2) eksponering for et aerobt miljø, der dræner cellen for vand. Der må derfor have været en fluktuerende vandstand på et tidspunkt, hvor træcellerne har været mikrobielt nedbrudt og cellemens kun udfyldt af vand. Knoglerne er mikroskopisk heterogent nedbrudt. Det ydre (periostale) område af knoglerne er mere infiltreret af humussyrer, opløst og revnet i forhold til den indre del af matrix, hvilket er bedst illustreret ved at observere morfologien i polariseret lys sammenlignet med transmitteret lys (figur 10).

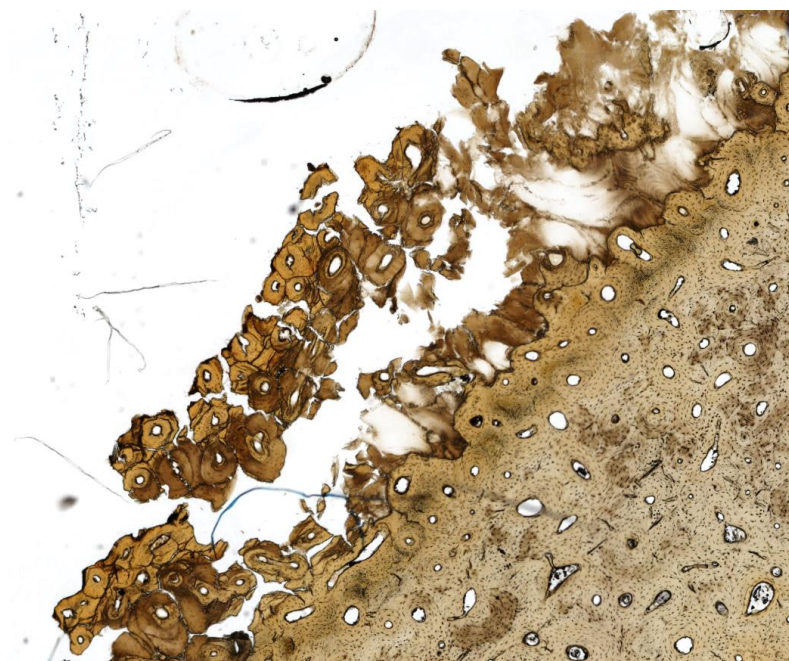


Figur 10. Eksempel på infiltreringen af humussyrer fra det omgivende miljø, fra en human knogle fra Tvis kloster (højre overarm, bedst bevarede område). Det periostale område er tydeligt misfarvet af en brun substans (venstre), mens den indre knoglematrix er lysere. I polariseret lys (højre) ser man, hvordan det infiltrerede område lyser mindre op sammenlignet med det inderste af knoglen (højre). 100x MAG.

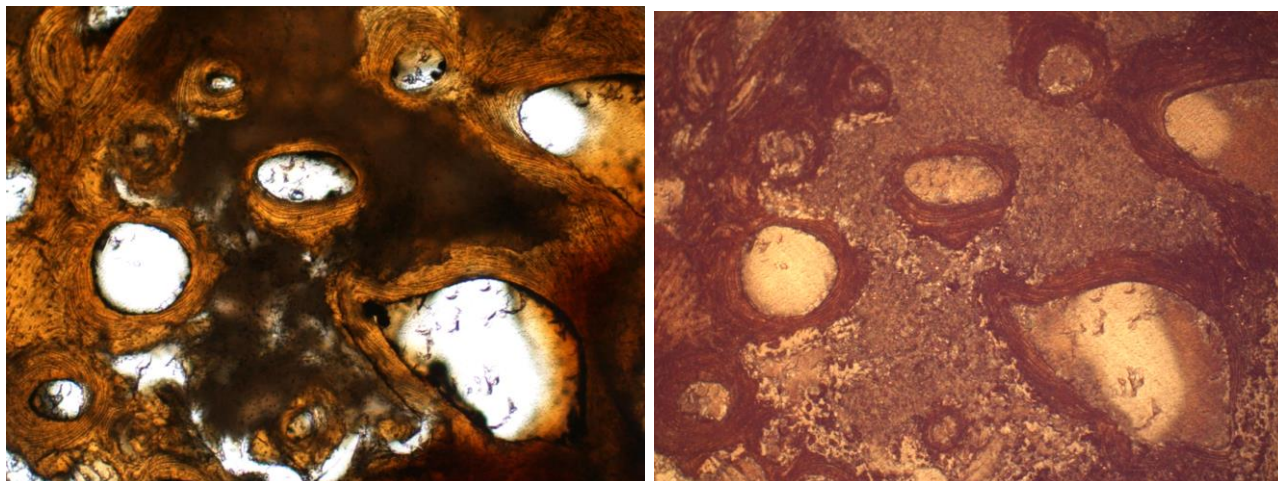
Der blev observeret en betydelig del af sorte udfældningsprodukter i knoglernes Haverske kanaler samt i osteocytternes lacunae. Ved at lokalisere inklusionerne i transmitteret lysmikroskopi og siden i reflekteret pålys var det muligt at identificere inklusionerne til framboidal pyrit, der dannes under iltfattige forhold i forbindelse med sulfatreducerende bakteriers metabolisme. Udfældningen pyrit forudsætter lettilgængelige organiske forbindelser (eksempelvis marv og organisk væv), og tilstedeværelsen heraf indikerer, at knoglerne har været relativt friske ved deponeringen (Behrensmeyer & Kidwel 1985, Hollund et al. 2012). Dette er dog ikke overraskende på en kirkegård.

Studier har vist, at når pyritholdige vådområder drænes og pyritten dermed oxideres, dannes der syre, som resulterer i nedbrydning af knogle HAP (Turner-Walker 2009; High et al. 2015). De histologiske karakteristika såsom lameller, osteocytter og canaliculi opløses, mens lamel-strukturen omkring de Haverske kanaler er det sidste, der opløses (Tjelldén 2016). Figur 11 viser et eksempel på, hvordan overfladen af en human Tvis knogle fragmenteres som følge af kemisk opløsning.

Figur 11. Eksempel på fragmenteret periostalt område, human knogle fra Tvis kloster (højre lårben, bedst bevarede område). Den humus-infiltrerede overflade har ikke længere nogen sammenhængskraft med den resterende kortikale knogle. Kun lamelstrukturen omkring de Haverske kanaler er delvist intakt. (Et zoomudsnit fra oversigtsbilledet)



Der var derudover større områder i den kortikale (kompakt) knogle, hvor den morfologiske struktur var fuldstændigt nedbrudt (figur 12).



Figur 12. Eksempel på fuldstændigt nedbrudt kortikal knogle (højre: transmitteret lys, venstre: reflekteret lys af samme område).

Der er sket – og kan tænkes fortsat ske – en opløsning af knoglernes morfologi. Da det udgravede område er beskrevet som ”vanddrækkent”, altså anaerobt (iltfrit), må man formode en anden forklaring end ilt fra overfladen.

Rodvækst har forårsaget en betydelig mekanisk nedbrydning af knoglen. Røddernes respiration forårsager yderligere en kemisk opløsning af knoglerne på mikro-niveau. Udfældning af pyrit sker i anaerobt miljø, og hvis der efterfølgende sker en ilt-tilførsel vil den forårsage et svovlfuldt mikromiljø, der sænker pH (Tjellén et al 2015). Herved opløses den uorganiske, kalkrige del af knoglen (hydroxyapatit). Det er derfor afgørende for *in situ* bevaring af arkæologisk knoglemateriale, at der i pyritholdige jorde 1) ikke forekommer en fluktuerende vandstand, der skiftevis forårsager aerobe og anaerobe forhold og 2) så vidt muligt minimeres flora, der kan infiltrere knoglerne med både mekanisk og kemisk nedbrydende rodvækst.

En tilstandsvurdering af et arkæologisk bevaringsmiljø bør være et resultat af en monitoring over tid (Tjellén, 2016). Hvis man baserer konklusionerne på materiale fra én udgravning må man nødvendigvis tage en lang række forbehold såsom ukendt historik for bevaringsmiljøet, ukendt historik for det deponerede materiale, usammenligneligt materiale på grund af forskellige deponeringstidspunkter samt materiale hentet fra et begrænset område af lokaliteten. Hertil kommer

spørgsmålet om den observerede nedbrydning var på sit højeste eksempelvis for 10 år siden eller noget har accelereret processen sidenhen. Kun ved tilbagevendende prøvetagning kan man danne sig et korrekt billede af bevaringsmiljøet.

Konklusionen af denne rapport bygger på en undersøgelse af materiale udgravet fra den laveste kote på kirkegården. Dette område vil blive vandmættet ved en forhøjet vandstand, hvilket vil minimere ilt-tilførslen og dermed have en gavnende effekt på bevaringsforholdene. Der foreligger dog ikke materiale fra de højere beliggende dele af kirkegården, som med stor sandsynlighed ville blive udsat for fluktuerende vandstand, hvilket kan have en korrosiv (demineraliserende) effekt på knoglevæv. Rapportens konklusion kan derfor kun gælde det materiale, der ligger på samme kote som det udgravede prøvemateriale. Dette forbehold må understreges.

Konklusion

Udgangspunktet for denne rapport bygger på en tilstandsvurdering af det udgravede materiale fra en søgegrøft ved Tvis Kirkegård i april 2019.

Tilstandsvurderingen af de humane knogler samt kistetræ fra Tvis Kirkegård giver et ganske entydigt billede af bevaringsforholdene i det udvalgte udgravningsområde. Makroskopisk og mikroskopisk er materialerne ikke blot fragmenterede og skrøbelige men viser også tegn på en igangværende fysisk nedbrydning som følge af rødders vækst (fysisk fragmentering og kemisk opløsning af humane knogler), biologisk nedbrydning i form af mikrobiel vækst (træets celle lumen) samt kemisk nedbrydning som følge af pyrit-forsuring (nedbryder de humane knoglers HAP, hydroxyapatit). Hertil kommer en latent bevarings trussel ved de jern-svovlholdige udfældninger, der er observeret i knoglen. Når disse pyritudfældninger iltes, skabes der et surt mikroklima, der opløser den uorganiske hydroxyapatit i knoglerne. Det vil betyde yderligere forvitring af knoglernes overflade og nedbrydning af indre mikro-morfologi. Risikoen for yderlig iltning er ikke kun forårsaget fra atmosfæren, men skabes også ved røddernes respiration. Det må derfor anbefales, at man overvejer en fældning af omkringstående træer for at minimere rødders infiltrering i kulturmaterialet.

For at minimere rodvækst og eventuel atmosfærisk ilt ved fluktuerende vandstand tilrådes det, at vandstanden øges for at bevare det resterende kulturelle materiale mellem kote 13,57 og 13,94 på Tvis Kirkegård.

Referencer

- Behrensmeyer, A.K. & S.M. Kidwell 1985. Taphonomy contributions to paleobiology. *Paleobiology* 11: 1, 105-119.
- Gordon, C. C., & Buikstra, J. E. (1981). Soil pH, bone preservation, and sampling bias at mortuary sites. *American Antiquity*, 46(3), 566-571.
- High, K., N. Milner, I. Panter & K.E.H. Penkman 2015. Apatite for destruction: Investigating bone degradation due to high acidity at Star Carr. *Journal of Archaeological Science* 59, 159-168.
- Hollund, H.I., M.M.E. Jans, M.J. Collins, H. Kars, I. Joosten & S.M. Kars 2012. What happened here? Bone histology as a tool in decoding the postmortem histories of archaeological bone from Castricum, the Netherlands. *International Journal of Osteoarchaeology* 22: 5, 537-548.
- Jans, M. M. E. (2005). In Aalbersberg G., Kars H. and Kraker A. d. (Eds.), *Histological characterisation of diagenetic alteration of archaeological bone. Geoarchaeological and Bioarchaeological studies 4*. Amsterdam: Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Millard, A.R. (2001). The deterioration of bone. In A.M. Pollard, & D.R. Brothwell (Eds.), *Handbook of archaeological science* (pp. 637-674). New York: Wiley.
- Tjelldén, A.K.E., Kristiansen, S.M., Matthiesen, H., Pedersen, O. Impact of Roots and Rhizomes on Wetland Archaeology: a review. *Conservation and Management of Archaeological Sites*. 2015;17(4):370-391. DOI: 10.1080/13505033.2016.1175909
- Tjelldén, A.K.E., 2016. Death, Decay and Dissolution? The impact of a wetland environment on archaeological bone. PhD afhandling, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet, og Afdeling for Konservering og Naturvidenskab, Moesgaard Museum.
- Turner-Walker, G. 2009. Degradation pathways and conservation strategies for ancient bone from wet anoxic sites. I: K. Straetkver & H. Huisman (red.) *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Amsterdam, the Netherlands.

APPENDIX 1

Indstøbningsmetode af humane knoglefragmenter udført af bioanalytiker Sussi Madsen og laboratorietekniker Lene Grønkjær ved Institut for Odontologi og Oral Sundhed, Aarhus Universitet.

Indstøbningsprocedure:

6/5-19: Modtagelse af knoglestykkerne i tør tilstand

6/5-19: Formalin (4% formaldehyd i vand, bufferet) (ved stuetemp.)

7/5-19 morgen: vacuum (stadig samme opløsning) (stuetemp.)

8/5-19 morgen: 70% ethanol (vacuum, stuetemp.)

10/5-19 morgen: 96% ethanol (vacuum, stuetemp.)

13/5-19 morgen: 2-propanol (vacuum, stuetemp.)

14/5-19 eftermiddag: Xylen (vacuum, stuetemp.)

16/5-19 morgen: MMAI (vacuum, stuetemp.)

20/5-19 morgen: MMAII (vacuum, stuetemp.)

23/5-19 morgen: MMAIII (vacuum, stuetemp.)

27/5-19: Indstøbning i fryser

MMA I:

Methylmethacrylat 60 ml.

Merck 8.00590.1000

Butylmethacrylat 35 ml.

Merck 8.00585.0500

Methylbenzoat 5 ml.

Merck 8.22330.1000

Polyethylenglycol 400 1,2 ml.

Merck 8.07485.1000

Omrøres i mindst 1 time og afkøles før brug.

Afdeling for Konservering og Naturvidenskab

MMA II: MMA I 100 ml.
Benzoylperoxid 0,4 g.
Merck 8.01641.0250

Omrøres i mindst 1 time og afkøles før brug.

MMA III: MMA I 100 ml.
Benzoylperoxid 0,8 g.

Omrøres i mindst 1 time og afkøles før brug.

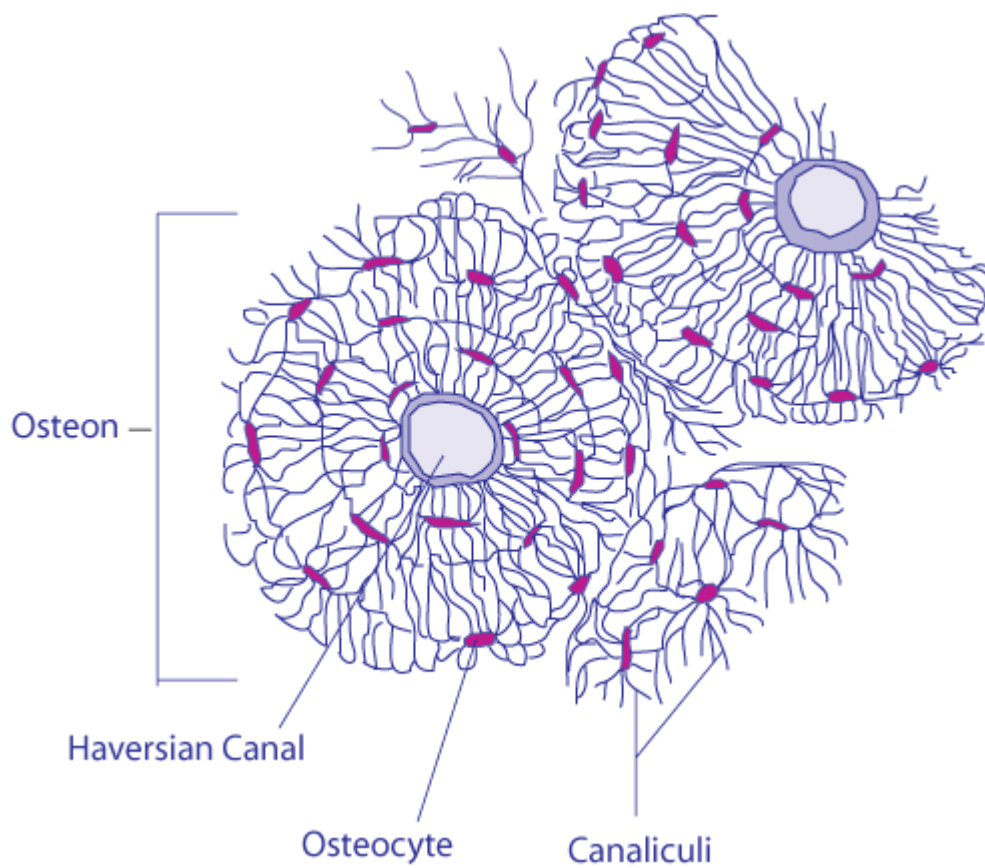
Indstøbningsblanding: MMA III – 4°C 100 ml.
N,N-dimethyl-p-toluidin 300 µl.
Merck 8.22040.0250

Omrøres få minutter og bobles igennem med N₂.

HOLDES KOLD efter tilsætning af acceleratoren.

- Placer det infiltrerede væv i indstøbningsformen (formen skal være helt lufttæt).
- Fyld helt op med indstøbningsblandingen.
- Bobbel kort igennem og sæt hurtig låget på.
- Sæt prøverne i fryseren (-18°C til – 20°C).
- Størkner inden for 3 dage.

APPENDIX 2



(Hentet fra nettet, Wikipedia)