

# Om Egtvedpigens bevarelse

Nyere undersøgelser vedrørende dannelsen af jernlag omkring egekister i bronzealderhøje

HENRIK BREUNING-MADSEN

Et af de mest bemærkelsesværdige og spektakulære fund fra den danske oldtid er Egtvedpigens, der ved udgravningen i slutningen af 1920'erne lå velbevaret i en egekiste omsluttet af et jernlag. Dette egekistefund er et af de sidste i en lang række af velbevarede egekistefund, der er dateret til at stamme fra den ældre bronzealder, altså for mere end 3000 år siden. At disse fund arkæologisk set er helt specielle, gav Vilhelm Boye allerede udtryk for, da han for 100 år siden i 1896 udgav sit storslåede værk om de danske egekistefund fra bronzealderen. Han indledte med at konstatere, at de velbevarede egekister udgjorde et usædvanligt fænomen, der på forunderlig vis var sluppet næsten helt uden om de ellers uundgåelige nedbrydningsprocesser. Egekistefundene er nogle af de vigtigste fund, vi har at øse af, når det gælder om at få et indtryk af, hvordan man levede og gik klædt i den ældre bronzealder.

Hovedparten af egekistefundene blev gjort i anden halvdel af 1800-tallet, hvor et stort antal gravhøje blev gravet væk. De fleste af egekistehøjene lå omkring isens hovedstilstandslinie (højderyggen) i Jylland; hovedparten var bygget af sandet materiale, men lerede høje fandtes også. Der er fra åbning af højene gentagne beretninger om, at vand nærmest skyllede ud af højkernen, hvori kisten eller kisterne lå. Af beretningerne fra de fagkyndigt undersøgte høje fremgår, at grænsen mellem den tørre og brunlige højkappe og den blågrå stærkt fugtige højkerne markeredes af et tyndt, fast cementeret jernlag, og at et tilsvarende nedre jernlag fandtes under de centrale dele af højen. Den fugtige højkerne var således fuldstændigt indkapslet, hvilket forklarer, hvorfor højene var i stand til at holde på de store mængder vand, selvom de var placeret på toppunkterne i terrænet, der naturligt er de mest tørre

partier i landskabet. Det er oplagt, at der er en sammenhæng mellem den fugtige højkerne og de enestående bevaringsforhold, og allerede i slutningen af forrige århundrede begyndte man at beskæftige sig med årsagerne til jernlagets dannelse.

I dette århundrede er der udgravet langt færre velbevarede egekister end i forrige århundrede, hvilket blandt andet skyldes fredningen af gravhøjene i 1937. Derimod er de nyere udgravede egekister blevet grundigt undersøgt og beskrevet af kyndige folk med jordbundsmæssig indsigt. Der findes nu et godt datamateriale, der tillader en videnskabelig tolkning af dannelsesmåden og dermed de processer, som er foregået i højene. Endvidere er der udviklet forskellige dateringsmetoder, som gør det muligt at tidsfæste højlæggelserne relativt præcist. Her tænkes først og fremmest på dendrokronologi på bevarede egekister. I dag er mere end halvdelen af de på Nationalmuseet opbevarede egekister dateret. Det er bemærkelsesværdigt, at de alle ligger indenfor en 100-årig periode, nemlig i 1300-tallet før vor tidsregning, se *Dendrochronology of the Danish oak coffin graves* af J. Jensen i: Inst. of Archaeology, Report Series 48, Lunds Universitet 1993.

Der er i den første halvdel af dette århundrede fremkommet forskellige teorier om, hvilke processer og procesforløb i jorden der har skabt jernlagene omkring den centrale del af gravhøjene og bevaret egekisterne i et vådt miljø, skønt jorden over og under kernen fremstår tør. I forbindelse med fx motorvejsbyggeri har det inden for de senere år været nødvendigt at nødudgrave en del bronzealderhøje, nogle med jernlag. Forfatteren har i samarbejde med arkæologistuderende Mads Holst fra Moesgård undersøgt kemien i disse jernlag og sammenholdt resultaterne med analyser af et stykke af jernlaget fra Egtvedpigens grav. Det er derved blevet muligt at bestemme de jordbundsprocesser, der har ført til dannelsen af jernlagene.

Denne artikel beskriver de teorier, der blev fremsat i forbindelse med udgravningerne af egekister i begyndelsen af dette århundrede, de nyere undersøgelser af jernlag i bronzealderhøje udgravet i 1990'erne og på basis af disse en diskussion af de jordbundsprocesser, der har dannet jernlagene. Før de forskellige teorier diskuteres, er det nødvendigt kort at beskrive jerns opførsel i jord.

## Jerns opførsel i jord

For at forstå dannelsen af jernlag i gravhøje må man i grove træk kende jernets forekomst og kemi i jorden. En stor del af jordens jernindhold findes som rustfarvede oxider eller hydroxider, der danner overfladebelægninger på ler- og sandpartiklerne og farver jorden brun. Det er især disse jernformer, som er interessante i forbindelse med dannelsen af jernlag.

Jern forekommer i jorden med to iltningsstrin, som divalent ferrojern og som trivalent ferrijern. Ferrijern er den stabile jernform i iltrige (aerobe) miljøer, og den er derfor den normale form i ikke vandlidende jorde. Under danske forhold er den mest almindelige ferriforbindelse goethit ( $\text{FeOOH}$ ), der farver jorden brun eller gullbrun. Goethit binder sig stærkt til de andre jordpartikler, og ferrijern er stort set ubevægeligt i jorden ved normale pH-værdier. Det forholder sig anderledes med ferrojernet, der er den stabile form under iltfattige (anaerobe) forhold, som især findes i vandlidende jorde, hvor luftskiftet er hæmmet. Ferrojern er i modsætning til ferrijern opløseligt i vand og vil derfor følge vandbevægelsen i jorden. Ferrojern giver jorden blålige, grålige eller grønne farver.

Der er to væsensforskellige jordbundsdannende processer, der medfører flytning og opkoncentrering af jern i bestemte lag, og det er podsolering (aldannelse) og redoxprocesser (iltning/reduktionsprocesser). Disse skal kort omtales.

Podsolering foregår normalt kun i sure veldrænede (tørre) sandede jorde, hvor nedfaldne blade, nåle og kviste har dannet et morlag på overfladen. Organiske syrer fra dette lag opløser jern- og aluminium-(hydr)oxiderne i de øverste jordlag og kompleksbinder jernet og aluminiummet, der derved bliver mobilt. De organiske kompleksforbindelser føres med det nedsivende vand og genudfældes i de nedenfor liggende lag (ofte fra ca. en halv meters dybde). Sandskornene i de øverste jordlag bliver hermed hvide, idet de har mistet deres farvende jernbelægninger, medens de dybereliggende lag bliver beriget med farvende humus- og jernforbindelser samt med det farveløse aluminium. Øverst vil den berigede del ofte være helt sort af organisk stof, medens de under-

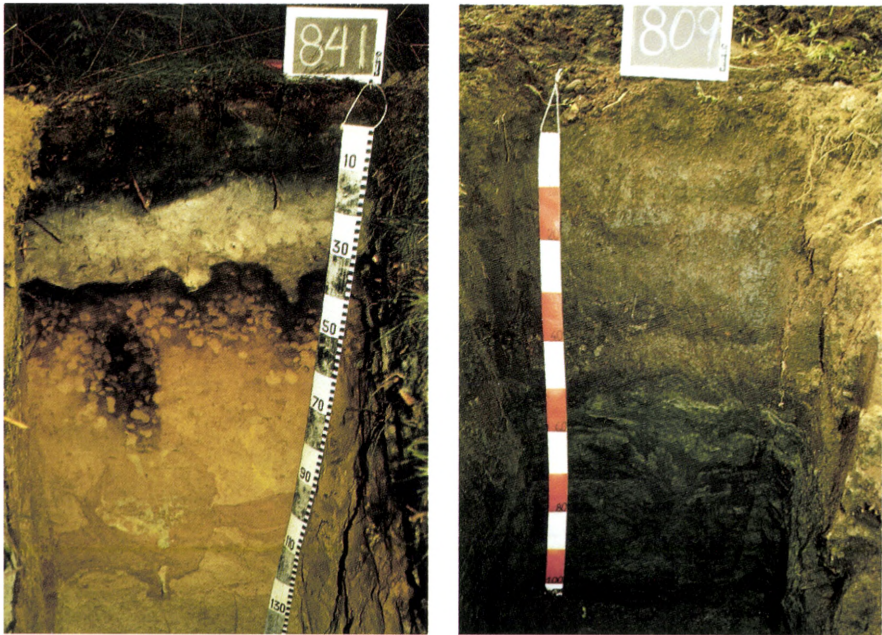


Fig. 1: Snit gennem de øverste lag af en jord præget af henholdsvis podsolering og redoxprocesser.

A: Podsol, hvor man øverst under morlaget ser det hvide blegsandslag, fra hvilket jern og aluminium er udvasket sammen med organiske syrer. Under blegsandslaget ses alen. Øverst er den sort på grund af et relativt stort indhold af organisk stof, medens den nedenunder er rødbrun på grund af farvende jernforbindelser.

B: Jord, hvor de øverste lag er iltrige og derfor brunlige, medens de dybere liggende lag er mørkeblå på grund af et iltfattigt miljø betinget af et højstående grundvand.

liggende lag vil være rødbrune, især farvet af jern. De berigede lag, der også kaldes allaget, kan være stærkt sammenkittet af de nedførte og genudfældede jern- og aluminiumforbindelser. Jorde med veludviklede allag findes som bekendt især i Jyllands hedeegne.

Redoxprocesser (iltnings- og reduktionsprocesser) foregår især i vandlidende jorde. Den biologiske aktivitet i jorden vil i vandmættede partier hurtigt opbruge al ilten, og der opstår iltfattige forhold. Ferrijern vil blive reduceret til ferro, og jorden vil miste sin brunlige farve og blive olivenfarvet, blålig eller grålig. Ferrojernet vil blive ført med grundvandet og genudfældet som ferri(hydr)oxider, hvor der er mere iltrigt, fx i rodgange. Hvor der er en skarp, veldefineret grænse mellem det iltrige

## *Om Egtvedpigens bevarelse*

og iltfattige miljø, kan jernudfældningen ske i et snævert område og derved danne et hårdt tæt lag. Typiske jernlag dannet ved denne proces er myremalm, der tidligere dækkede store arealer i Jylland.

Det vil tage mange år at få dannet en al ved podsolering, medens redoxprocessen ferri til ferro og tilbage igen kan forløbe meget hurtigt. Det sidste ses fx i risjorde. Her er store mængder jern på ferroform under udplantningen af risen, hvor markerne er vanddækkede og jorden iltfattig, medens jernet er på ferriform ved høst, hvor vandet er afdrænet, markerne er tørre, og jorden er iltrig.

### Tidligere teorier for dannelse af jernlag i gravhøje

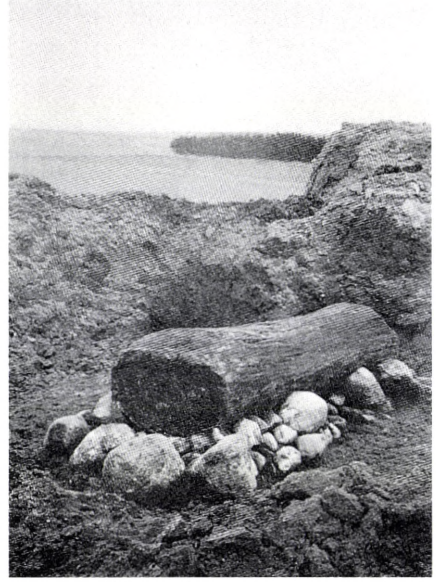
Der er i den første halvdel af dette århundrede fremsat tre teorier for dannelse af jernlag i gravhøje, nemlig i forbindelse med udgravningen af Egtvedpigens og i forbindelse med udgravninger omkring Skrydstrup.

*Egtved Storhøj*: I 1921 blev Egtvedpigens gravet ud af en høj, der oprindeligt var en næsten cirkulær høj med en diameter på ca. 25 meter og en højde på ca. 5 meter. Hun lå i en velbevaret kiste på et stenleje omgivet af et jernlag, se figur 2. Da landmand Peter Platz gravede kisten frem, konstaterede han, at vand løb ud af graven. Nationalmuseet blev straks kontaktet, og under kyndig vejledning blev kisten forsegleet, sendt til København og åbnet der. Man fandt en rimeligt velbevaret pige, især med hensyn til hår, hud og tøj, medens kød og skelet nærmest var forsvundet. For nærmere beskrivelse henvises til Thomas Thomsen (1929): *Egekistefundet fra Egtved, fra den ældre Bronzealder*, i: *Nordiske Fortidsminder*, bd. II, Det Kgl. Nordiske Oldskriftselskab, København. I kisten fandt man endvidere en udsprungen røllike og en del af et bregneblad. Dette viser, at nedbrydningen må være gået i stå umiddelbart efter begravelsen. Det må betyde, at jernlaget og de våde forhold er opstået ganske kort tid efter højlægningen.

Få måneder efter udgravningen af kisten besøgte daværende afdelingsgeolog Knud Jessen Egtvedhøjen og studerede et snit gennem denne for sammen med statsgeolog Axel Jessen at vurdere, hvordan jernlaget var

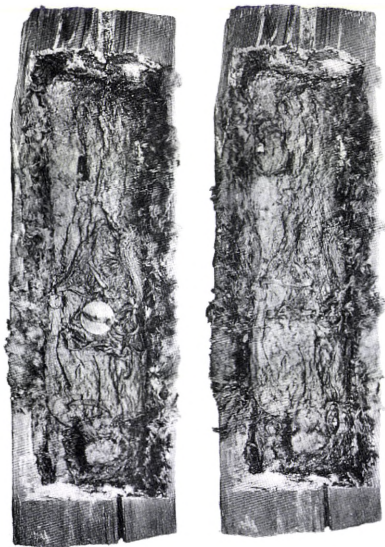


Fig. 2: Billeder fra Egtvedpigens gravhøj.  
A: Snit gennem en del af gravhøjen.  
Den øvre del af kappen er buet, medens  
den nedre del danner et plant gulv.



B: Egtvedpigens uåbnede kiste.

C: Den åbnede kiste.



D: Egtvedpigens.

## *Om Egtvedpigens bevarelse*

dannet. Det blev konstateret, at højen bestod af sand, og at den var todelt. Yderst var der en kappe bestående af tørt muldblandet sand, der kunne have være taget fra en nærliggende mark eller overdrev. Inderst var der en kerne, der var fugtig og bestod af mørkt humusholdigt sand. Jessen mente, at det mørke fedtede sand ikke kan være taget på høj mark, men må være hentet i en lavning, hvorefter det er benyttet til højfyldning. På basis af Jessens observationer konkluderer Thomas Thomsen i sin artikel om Egtvedpigens at: »Dets (øvre allag) Dannelse skyldes, at de Jærnforbindelser og Humusstoffer, som med Regnvandet siver ned gennem Sandjorden, standses i deres videre Fremtrængen af det fugtige Engjordslag og derfor afsætter sig langs dets Overflade og i Tidens Løb sammenbindes til en fast Masse. – Paa samme Maade hindres Undergrundens Fugtighed i at trænge op, og der har derfor dannet sig Al ogsaa i Skellet mellem Engjorden og Undergrundsandet.«

Om jernlagets dannelse skriver statsgeolog Axel Jessen: »Det tynde, haarde Lag mellem de nævnte to Sandlag er Al. Bindemidlet er dels Jærnforbindelser, dels – og hovedsageligt – Humusstoffer (det falder ikke fra hinanden ved Behandling med Saltsyre, hvorimod det paavirkes stærkere af Natronhydrat, der farves meget mørkt). Dette Allags Fremkomst paa Grænsen mellem det øvre, løse, for Vandet let gennemtrængelige Sand og det nedre, humusblandede, vandstandsende Sand er meget naturlig, men en Aldannelse fra saa sen Tid og af saa ringe Alder er vistnok meget sjælden.«

Man må altså konkludere, at de to geologer helt klart mener, at jernlagene er aldannelser og dannet ved en podsolering.

*Skrydstruphøjene:* I forbindelse med udgravninger omkring Skrydstrup i tiden lige før og under 2. verdenskrig blev der fremsat to andre teorier for indkapslingen af egekister.

I 1935 blev den berømte Skrydstruphøj udgravet. Hun lå indsvøbt i et klæde direkte på stenlejet, idet kisten stort set var forgået. Under højen var udviklet et jernlag, og i højen var udviklet to jernlag med en halv meters afstand, hvoraf den ene indkapslede centralhøjen fuldstændigt. Statsgeolog Werner Christensen besøgte højen, som bestod af sandet græstørv, og fremsatte følgende betragtninger som beskrevet i H.C.

Broholm & M. Hald (1939): *Skrydstrupfundet*. i: Nordiske Fortidsminder, Det Kgl. Nordiske Oldskriftselskab, København: »Højen er efter Profilet at dømme opkastet ovenpaa en podsoleret Jordbund. Jernudskillelsen paa Grænsen mellem Centralhøjen og den senere tilførte Fyld maa skyldes, at der har været særlige Betingelser for Udfældningen af det fra den øverste Del af Højen udvaskede Jern. Det vil ikke ud fra disse Forhold være muligt at drage nogensomhelst Slutning om, hvor lang Tid der er hengaaet mellem Centralhøjens og de sekundære Højes Dannelse, idet den underliggende Al maa være dannet forud for Højens Tilblivelse, medens Jernudskillelsen i Højen er foregaaet, efter at Højen var fuldstændig færdig.«

Om jernlaget mellem kerne og kappe skrives: »Denne Jernudskillelse maa skyldes, at det nedsivende Vand har opløst en Del Jern i den øverste Del af Højen og atter udskilt det paa Grænsefladen. Naar Jernet udfældes her, maa det, ligesom i Hellevad, forklares ved, at der enten har været Mulighed for Iltilførsel, eller at der her har ligget et humusholdigt Lag, da Tilstedeværelsen af Humus fremmer Udfældningen af Jern. Man kan imidlertid ikke opfatte denne Jernudskillelse som et Allag, idet den ikke er knyttet til et normalt Podsolprofil.«

Det kan altså konkluderes, at Werner Christensen mener, at det nedre jernlag er dannet, før højen er bygget. Kernen, her kaldet centralhøjen, er derefter bygget ved højlægningen, medens kappen er bygget på et senere, ikke bestemt tidspunkt. Det øvre jernlag er dannet ved, at overskudsnedbøren har opløst jern i kappen og afsat dette på overgangen mellem kappe og centralhøj, muligvis på grund af mere ilt eller humus. Da der i kappen ikke er udviklet de normale podsolag som fx blegsand, er der ikke tale om en podsolproces, og det øvre jernlag er derfor ikke en al, som fx konkluderet af Jessen ved Egtved Storhøj.

Under 2. verdenskrig byggede tyskerne en flyveplads ved Skrydstrup, og i denne forbindelse måtte der fjernes en række bronzealdergravhøje, der derfor blev nødudgravet. En af disse høje, Staldhøj, var bygget af græs- og lyngtørv fra et hedeagtigt overdrev, og var tydeligt todelt i en muldagtig kappe og en meget fugtig og næsten blåsort kerne, der ved luftens tilgang blev lysegrå. Efter undersøgelser af højen mente professor C.J. Becker at kunne konkludere, at begge jernlag, både det



## Om Egtvedpigens bevarelse

øvre og nedre, er sekundære, det vil sige dannet efter højens opførelse. De er endvidere ikke stabile, der fandtes nemlig både over og under de nuværende faste striber rester af ældre stærkt opløste (Beckers tolkning). På basis af disse iagttagelser og inspireret af den tyske geolog Gripps tanker fremkom C.J. Becker med en helt ny teori for jernlagsdannelsen, der i hovedtræk er som følger:

Højen (kerne og kappe) er opført på én gang og består af lyng eller græstørv. Højen suger fugt til sig som en højmose, og langs grænserne udskilles jernlag under påvirkning af ilt, dels fra nedsivende vand, dels fra den gennemluftede, underliggende mark. Det nedre jernlag er stabilt, da der ikke er adgang for nedbrydende stoffer, medens det øvre jernlag til stadighed er påvirket af nedsivende vand, der sammen med humussyre fra kernen nedbryder og gendanner det øvre jernlag længere nede i jorden. Ovenover det øvre jernlag dannes kappen efterhånden med en afvigende farve. Da det øvre jernlag bevæger sig nedad, vil det på et eller andet tidspunkt smelte sammen med det nedre jernlag, således at kernen forsvinder og dermed også egekisten. Dette er illustreret på fig. 3, der er omtegnet fra Jensen (1979): *Bronzealderen*, bd. 2. I Danmarkshistorien, Sesam, Viborg. Procesmæssigt bygger denne teori først på en reduktion/oxidationsproces, der danner jernlaget omkring hele højen. Derefter må nedvaskningen af det øvre jernlag vel nærmest betegnes som en podsolering.

## Nyere undersøgelser af gravhøje

I løbet af de seneste år er der blevet udgravet flere gravhøje med mere eller mindre veludviklede jernlag. Disse udgravninger har givet nye muligheder for at studere de processer, der har skabt jernlagene i bronzealderens egekistehøje.

To af disse høje, udgravet i forbindelse med anlæg af motorvejstrækninger i Sydjylland, vil blive diskuteret i detalje. Det drejer sig om den store høj ved Tårup mellem Kolding og Vejle, der blev udgravet i 1993, og højen ved Lejrskov vest for Kolding, der blev udgravet i 1995. Figur 4 viser billeder fra de to høje. Tåruphøjen er bygget på veldrænende

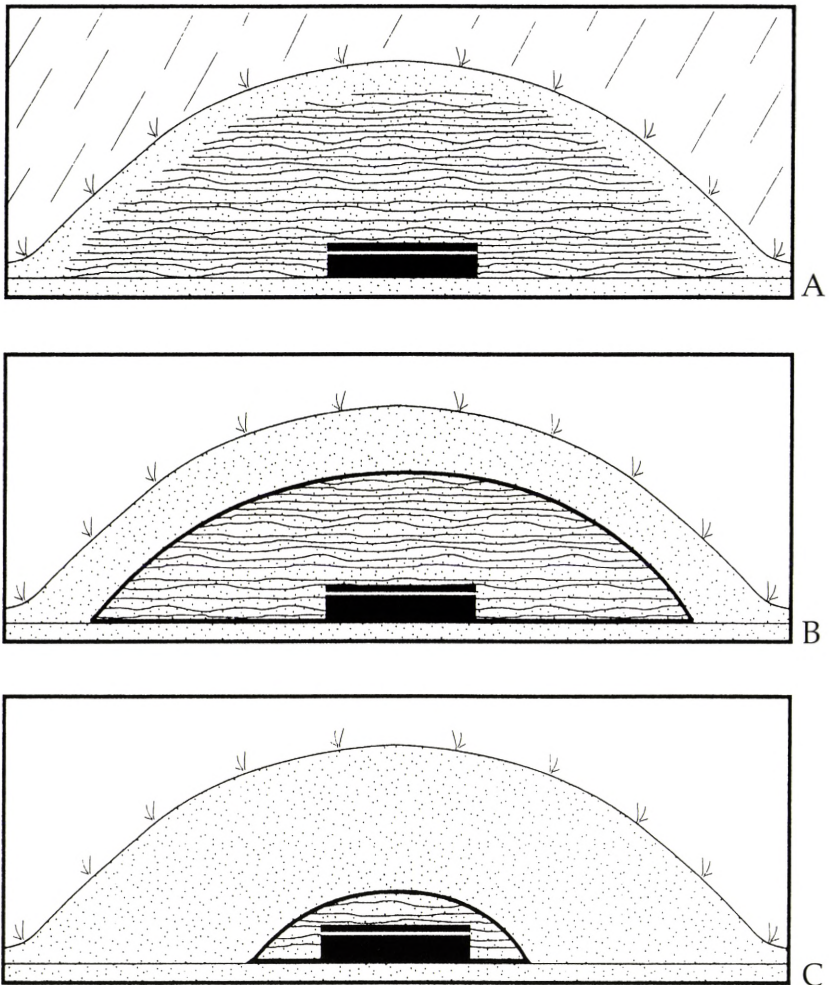


Fig. 3: C.J. Beckers teori for udviklingen af jernlag omkring egekister i gravhøje fra Bronzealderen.

- A: Græstørven i en nyopført gravhøj suger regn og anden fugtighed til sig.
- B: Under påvirkning af bl.a. regnvandet udskilles et hårdt, jernholdigt lag langs højens overflade og på dens bund. De jernholdige lag holder på højens fugtighed og beskytter kisten mod at rådne.
- C: I århundredernes løb flytter de jernholdige lag sig nedad, men stadig holder de på højens fugtighed. Dersom laget når ned til kisten, starter forrådnelsen, og alt organisk materiale omdannes.

## Om Egtvedpigens bevarelse



Fig. 4A: Snit gennem Tåruphøjen.

I Tåruphøjen ses øverst den brunlige kappe. De enkelte tørv ses tydeligt i dele af kappen, og de er ikke stablet på en systematisk vis. Under kernen ses den blågrå kerne. Der er intet øvre jernlag, desuagtet er overgangen mellem kappe og kerne meget skarp. Under kernen ses det nedre jernlag tydeligt få cm nede i undergrunden.

møræneler med en del sandlommer, medens Lejrskovhøjen er bygget på senglacialt vandaflejret sand. Selve højene, både kappe og kerne, har stort set samme kornstørrelsesfordeling som underlaget, hvilket viser, at græstørven er taget fra nærliggende marker eller overdrev. Der er altså ikke tale om, at fx kernen er vådbundsjord hentet fra en nærliggende mose eller eng, som foreslået af Jessen ved Egtved Storhøj. Begge høje har et nedre kontinuert jernlag, der skiller undergrunden fra kernen, der er blågrå. I Lejrskovhøjen ses de enkelte tørv, der opbygger kernen, tydeligt. Hver tørv har et markant overfladelag bestående af ikke omsat mos. Så tydelige vegetationsrester sås ikke i Tåruphøjen. Over kernen ligger kappen, der er mere brunlig, og i Lejrskovhøjen findes en del diskontinuerte rustrøde, mere eller mindre hærdede jernlag (øvre jernlag) på overgangen mellem kappe og kerne. Det er formodentlig sådanne



Fig. 4B: Snit gennem Lejrskovhøjen.

I Lejrskovhøjen ses den brunlige kappe tydeligt. På overgangen til den blålige kerne ses flere brudte rustrøde jernlag, der tilsammen danner et diskontinuert øvre jernlag. Den blålige kerne består af systematisk stablede tørv, hvor den tidligere overflades moslag er uomsat og tydeligt kunne erkendes. Under kernen findes et veludviklet kontinuert nedre jernlag. Jorden under det nedre jernlag er rødbrun og veldrænet.

jernlag, Becker tolker som rester af ældre stærkt opløste jernlag. I Tåruphøjen mangler det øvre jernlag, men grænsen mellem kerne og kappe er desuagtet meget skarp og tydelig. I Tåruphøjen ses de enkelte tørv tydeligt i dele af kappen, men de er ikke stablet på systematisk vis som i kernen i Lejrskovhøjen.

Kernen i begge høje er blågrå, hvilket vidner om iltfattige (reducerende) forhold, medens de brunlige farver i kappe og undergrund vidner om, at iltrige (aerobe) forhold har været fremherskende. I Lejrskovhøjen blev der i den nedre del af kernen konstateret tilstedeværelse af ferrojern ved hjælp af dipyridyl. Endvidere fandtes vivianit, at jernfosfat, der kun er stabilt under iltfattige forhold. Det betyder, at kernen endnu idag er iltfattig. Undergrund og kappe var derimod tydelig iltrige.

## Om Egtvedpigens bevarelse

I begge høje blev der bestemt totalt og organisk bundet jern, mangan og aluminium samt organisk stof på prøver fra de forskellige jordlag. Tabel 1 viser resultaterne af disse bestemmelser. Jernlagene er stærkt beriget med jern og mangan, men ikke med aluminium og organisk stof. Iltning/reduktionsprocesser i jord giver ophobning af jern og mangan, medens podsolering giver ophobning af organisk stof, jern og aluminium; det vil sige, at jernlagene er dannet ved iltning/reduktionsprocesser og ikke ved podsolering. Det sidste bestyrkes også af, at man i internationale jordbundsklassifikationssystemer for podsoljorde kræver, at det organisk bundne jern plus aluminium i alerne skal udgøre mere end 50% af den totale mængde jern plus aluminium. Dette er ikke tilfældet for de i tabel 1 viste jernlag.

Tabel 1: Procent organisk stof, totalt jern (Fe), aluminium (Al) og mangan (Mn) samt organisk bundet jern og aluminium i forskellige lag fra to bronzealderhøje Lejrskov og Tårup.

		% org. stof	% Fe tot	% Al tot	% Mn tot	% Fe org	% Al org
Lejrskov	kappe	0.4	0.11	0.08	0.00		
	ø.jernlag	0.6	2.06	0.18	0.20	0.23	0.09
	kerne	2.0	0.32	0.06	0.05		
	n.jernlag	2.4	4.85	0.12	0.31	0.93	0.05
	underjord	0.6	0.47	0.08	0.05		
Tårup	kappe	1.9	0.3	0.1	0.03		
	kerne	2.2	0.5	0.1	0.02		
	n.jernlag	1.5	14.5	0.3	0.99	0.4	0.3
	underjord	0.5	0.8	0.1	0.26		

I 1980 foretog Vejle Museum udgravninger på det sted, hvor Egtved Storhøj havde ligget. Dette skyldtes, at man ønskede at opføre en ny høj på stedet med en tilhørende mindre udstilling. Der blev ved udgravningen fundet fragmenter af det nedre jernlag, som siden er blevet opbevaret på Vejle Museum. Museet har velvilligt stillet dele af jernlaget til disposition for kemisk analyse, og i tabel 2 ses de kemiske data fra Egtvedpigens jernlag, fra de to førømtalte højes nedre jernlag og fra en veludviklet jernal fra en stærkt podsoleret jord. Analyserne viser, at Egtvedpigens jernlag kemisk set mest ligner de to andre jernlag, og at den ikke kan være dannet ved podsolering (aldannelse) som foreslået af Jessen, jævnfør det ovenfor beskrevne kemiske krav for veludviklede aler i podsoljorde. Der er derfor ingen tvivl om, at jernlaget omkring Egtvedpigens gravleje og i de øvrige egekistehøje er dannet ved redox-processer.

Tabel 2: Procent organisk stof, total jern (Fe), aluminium (Al) og mangan (Mn) samt organisk bundet jern og aluminium i de nedre jernlag fra Egtved, Tårup og Lejrskov og i en veludviklet al fra en stærk podsol.

	% org. stof	% Fe total	% Al total	% Mn total	% Fe org	% Al org
Egtved	4.6	7.86	0.15	0.80	0.95	0.07
Lejrskov	2.4	4.85	0.12	0.31	0.93	0.05
Tårup	1.5	14.5	0.3	0.99	0.4	0.3
Podsol al	5.5	0.38	0.37	0.02	0.29	0.37

Dannelsen af jernlagene er sandsynligvis forløbet ved, at ferrojern fra den våde iltfattige kerne har bevæget sig ned i den tørrere og mere iltrige undergrund eller i mindre grad op i den tørrere og mere iltrige kappe. Ved mødet med de mere iltrige jordlag er ferrojernet momentant blevet udfældet som ferrijern mellem jordpartiklerne, har sammenkittet disse og gjort laget uigennemtrængeligt for vand og luft. Dermed er det ikke blevet muligt for ilt senere at trænge ind i kernen, og de biologiske omsætningsprocesser er stort set gået i stå. De udfældede jernlag er ikke

## *Om Egtvedpigens bevarelse*

særlig tykke, ofte ikke over 1 cm. Det nedre jernlag er normalt tykkere og mere veludviklet end det øvre, hvilket formodentlig skyldes, at der løber mere vand fra kernen nedad end opad på grund af tyngdekraften, og at overgangen mellem iltrige og -fattige lag er mere skarp mellem kerne og undergrund end mellem kerne og kappe, hvor vegetationsresterne fra græstørven i laget kan gøre denne svagt iltfattig.

Andre ting, foruden de kemiske analyser og jordlagenes farve, der bestyrker redoxprocesteorien på bekostning af podsoleringsteorien, er fundene af rølliken i Egtvedpigens kiste samt det uomsatte mos i Lejrskovhøjen. Dette viser, at dannelsen af jernlaget må have gået meget hurtigt, da disse planter ellers ville være omsat og dermed forsvundet. Podsolering tager mange år, medens redoxprocessen kan forløbe meget hurtigt.

Spørgsmålet er derfor, hvordan de våde iltfattige forhold er opstået i kernerne i disse gravhøje, medens de omgivende jordlag er tørre. Det skal dertil bemærkes, at de fleste gravhøje ligger på toppunkter i terrænet og derfor er bygget på de mest tørre områder i landskabet. Gravhøje fra tidligere og senere perioder er som egekistehøjene opbygget af mark- eller overdrevstørv, men i disse er der ikke udviklet jernlag, som omslutter gravlejet. Der må derfor være nogle natur- eller kulturbetingede forhold, der har kunnet optræde som en udløsende faktor, »trigger«, i en hundredårig periode, og udløst dannelsen af jernlagene i højene.

Det er meget svært at forestille sig en hundredårig naturbetinget ændring, der kan give anledning til dannelsen af jernlagene, derimod kan man godt forestille sig nogle kulturbetingede ændringer, der kan optræde som en »trigger«. Den mest sandsynlige forklaring er, at egekistehøjene er bygget på en ganske bestemt måde, forskellig fra den, der blev anvendt i tidligere og senere perioder. En mulig byggemåde, der kan skabe den våde iltfattige kerne omgivet af en mere tør kappe, kan være følgende: Egekisten sættes direkte på underjorden i en stensætning. Derefter dækkes kisten med græstørv e.l., der lægges i en meget tæt lejring, der minimerer det luftfyldte grovporesystem og gør det diskontinuert. Derved hindres luftskiftet i kernen, der hurtigt vil blive iltfattig, når vegetation på tørvne begynder at forrådnede. Har man også opvædet kernerne for at få jorden til at ligge tættere omkring kisten, vil

dette helt klart have fremmet dannelsen af en iltfattig kerne. Umiddelbart efter at kernen er lagt, lægges græstørv ovenpå som kappe i en knap så tæt og systematisk lejring og uopvædede.

Hvis kernerne har været opvædet, opnås en våd kerne omgivet af tør jord umiddelbart efter højbygningen. Derefter vil græsset i kernen begynde at blive omdannet, hvorved al ilt i kernen bliver brugt. Kernen bliver meget iltfattig, og ferrijern vil gå over på ferroform og blive mobilt. I kappen vil græsset også blive omdannet, men da laget ikke er vandmættet som kernen, vil kappen for det meste kunne vedblive med at være iltrig eller kun blive svagt iltfattig. Vandet fra kernen vil langsomt blive suget ned i undergrunden eller op i kappen, hvor det iltes, og ferrojernet overgår til ferrijern, udfældes momentant og lukker kernen inde, hvorefter yderligere vandtransport ud af kernen stopper, og stort set alle omsætningsprocesser ophører.

Hvis kernen ikke er blevet opvædet, skal den være bygget så tæt, at luftskiftet bliver hæmmet i en sådan grad, at iltfattige forhold opstår med det samme, når græstørven begynder at omsættes. Efterfølgende vinter vil kernen blive opvædet, og ferrojernet vil blive vasket ned i underjorden, hvor det danner det nedre jernlag. Det øvre jernlag, der ofte er svagere udviklet end det nedre, dannes herefter på grænsen mellem kerne og kappe ved kapillær stigning. Det øvre lag kan dannes i flere niveauer, normalt på grænsen mellem græstørvene, hvor poresystemet er groft og derfor iltrigt. Derfor ser man i mange af højene, som fx Lejrskov, flere diskontinuerte øvre jernlag, der altså ikke er et udtryk for en degradering af et tidligere kontinuert øvre allag, som foreslået i Beckers teori. Der er således heller ikke tale om, at det øvre allag vandrer nedad og en dag smelter sammen med det nedre. Det er derimod et spørgsmål, om det er muligt at få velbevarede egekister i høje, hvor den øvre al ikke er kontinuert. Dannelsen af et øvre kontinuert jernlag vil kun ske i de høje, hvor der oppe i højen er et stabilt beliggende markant iltningsspring, hvor det fra kernen opadgående ferrojern udfældes.





Fig. 5: Den eksperimentelle gravhøj på Historisk-arkæologisk forsøgscenter, Lejre.

### Efterprøvning af den opstillede teori

For at efterprøve ovennævnte teori er der indledt et samarbejde med Historisk-Arkæologisk Forsøgscenter i Lejre, hvor der i juni 1995 blev bygget en eksperimentel høj for at undersøge, om det er muligt at skabe en iltfattig ferroholdig kerne omgivet af en mere iltholdig kappe. Højen er i store træk bygget som Egtvedpigens høj, men i skala 1:5, dog med en svag overhøjning, da der må forventes en vis sætning. Som bygningsmateriale anvendtes græstørv fra samme mark, hvor højen blev opført. Græstørven var et morænemateriale med omkring 15% ler og pH på 6.8.

Først blev al vegetation fjernet fra den cirkulære byggeplads (diameter 5 meter), og der blev sat kantsten hele vejen rundt. Der blev bygget en lille stensætning i midten, på hvilken en ca. 40 cm lang egekiste blev anbragt. Kisten indeholdt en ribbenssteg, der skulle symbolisere Egtvedpigens, og en ikke udsprunget røllike. Kernen blev derefter opbygget, ved at græstørv blev lagt i vandrette lag med græsset vendt nedad. Hvert lag blev lagt med en mindre diameter, hvorved kernen blev

kuplet. Efter hvert andet lag blev der hældt vand på, og der blev gået på laget for at sammenpresse dette. Højden på kernen var 60 cm. Derefter blev kappen opbygget af samme type græstørv; disse blev dog ikke opvædet, og de blev ikke lagt i systematisk vandretliggende lag, men fulgte den kuplede form. Den færdige høj er ca. 110 cm høj.

Der blev under højbygningen indbygget elektroder i kerne og kappe, der kunne måle redoxpotentialet i jorden. Redoxpotentialet giver et mål for iltindholdet i jorden; et lavt redoxpotential betyder iltfattige forhold, et højt redoxpotential det modsatte. Der blev endvidere stukket temperaturfølere ind i kerne og kappe for at se, om omsætningen af græsset ville give anledning til opvarmning af højen. Endelig er højen opmålt i to tværsnit vinkelret på hinanden for at få et mål for sammen-synkningen af højen.

Allerede 7 dage efter, at højen var bygget, var kernen meget iltfattig, medens kappen kun var svagt iltfattig. Efter en måned blev der udtaget en jordprøve fra kerne og kappe, og der blev ved hjælp af dipyridyl konstateret ferrojern i prøven fra kernen, hvilket ikke var tilfældet for prøven fra kappen. Det kan på basis af de foreløbige resultater konkluderes, at det er lykkedes at bygge en høj, der har udviklet de kemiske forhold, der er en forudsætning for at få dannet et jernlag omkring en våd iltfattig kerne. Hvorvidt jernlaget udvikles, er det ikke muligt at udtale sig om i dag, men en senere udgravning vil muligvis afsløre dette. Det skal dog bemærkes, at forholdene ikke er helt så gunstige som ved bygning af en høj i skala 1:1, idet kernen ligger så tæt ved jord-overfladen, at den naturligt vil indgå i rodzonen og derved være udsat for udtørring. Desuden er pH i den eksperimentelle høj væsentligt højere, end den har været i de oprindelige gravhøje. Dette medfører, at kernen i den eksperimentelle høj skal være mere iltfattig end i de oprindelige høje, for at processen forløber. Det vil derfor være ønskeligt senere, når de endelige resultater fra den nuværende høj foreligger, at bygge en gravhøj i fuld skala. Dette vil give en god indsigt i, hvordan en gravhøj egentlig bygges, samt give de ideelle betingelser for udviklingen af et jernlag.

### *Om Egtvedpigens bevarelse*

Forfatteren vil til slut gerne takke arkæologistuderende Mads Holst fra Moesgård for fagligt inspirerende samarbejde, både hvad angår de rent arkæologiske problemstillinger omkring gravhøjene og de mere jordbundskemiske aspekter. Endvidere skal rettes en tak til forskningschef Marianne Rasmussen, Historisk Arkæologisk Forsøgscenter i Lejre, i forbindelse med bygningen af den eksperimentelle høj.