



Universiteit
Leiden
The Netherlands

From the Solo to the Madura Strait: Quaternary geology, vertebrate palaeontology and hominin chronology of eastern Java and submerged Sundaland

Berghuis, H.W.K.

Citation

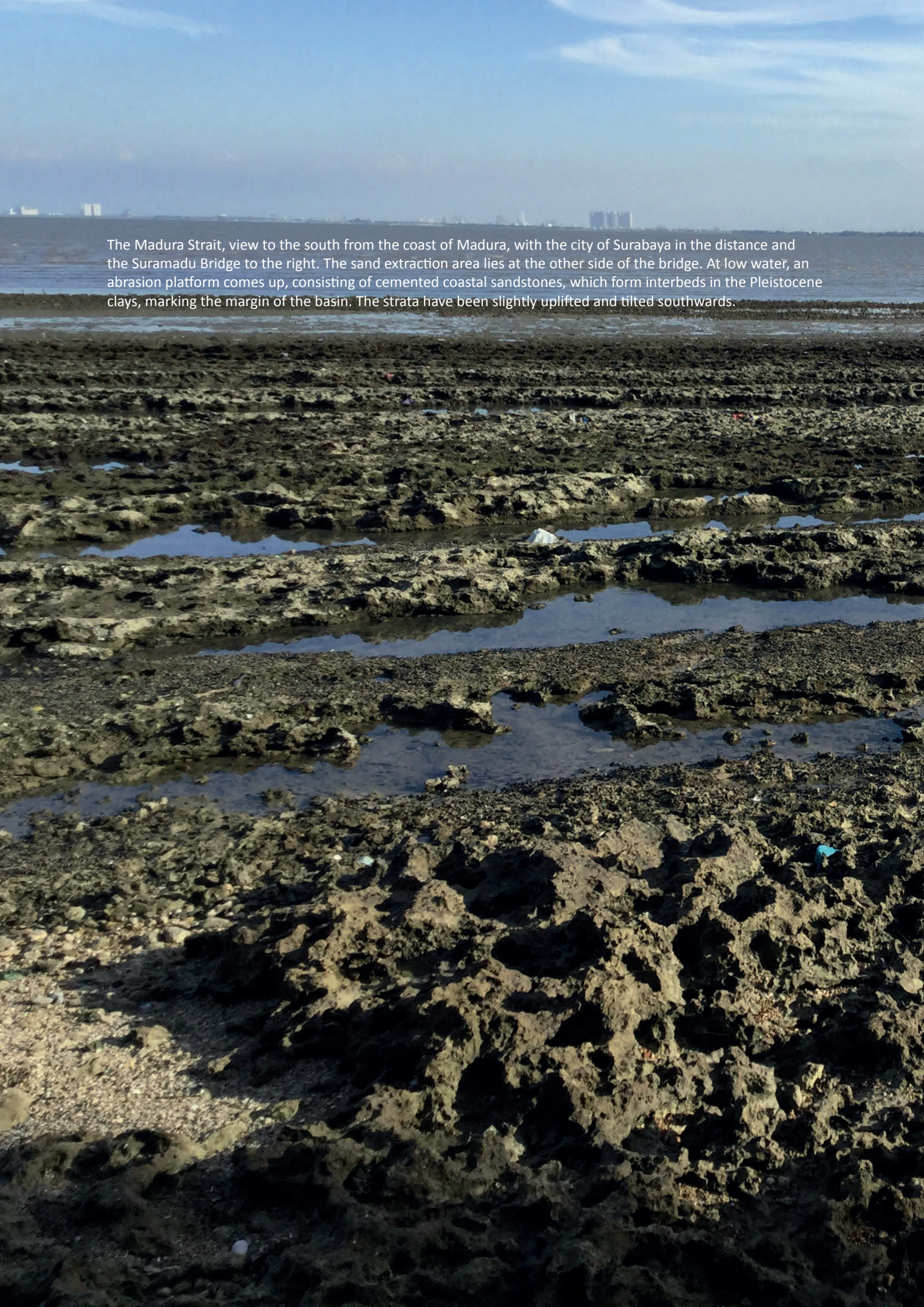
Berghuis, H. W. K. (2026, January 22). *From the Solo to the Madura Strait: Quaternary geology, vertebrate palaeontology and hominin chronology of eastern Java and submerged Sundaland*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4287856>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4287856>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).



The Madura Strait, view to the south from the coast of Madura, with the city of Surabaya in the distance and the Suramadu Bridge to the right. The sand extraction area lies at the other side of the bridge. At low water, an abrasion platform comes up, consisting of cemented coastal sandstones, which form interbeds in the Pleistocene clays, marking the margin of the basin. The strata have been slightly uplifted and tilted southwards.

The background image is a photograph of a rocky shoreline at low tide. The foreground is filled with dark, wet, and textured rocks. In the middle ground, there are several small pools of water reflecting the sky. In the background, a large bridge with two tall pylons spans across a body of water. The sky is blue with some light clouds.

**Samenvatting
Summary**

**Dankwoord
Ucapan terima kasih
Acknowledgements**

Curriculum vitae

References

SAMENVATTING

De fossiele beenderen van Java houden de wetenschappelijke wereld al meer dan een eeuw bezig. Met name het oostelijk deel van het eiland kent rijke vindplaatsen, waarvan sommige ook menselijke fossielen hebben opgeleverd, fossielen die vroeger zijn beschreven als *Pithecanthropus*, maar die we vandaag de dag beschouwen als *Homo erectus*. Wat maakt dit gebied zo rijk aan fossielen? Dit is een vraag die ik vaak krijg. Oostelijk Java kende vroeger duidelijk een rijke en diverse vertebratenfauna. Maar de kans dat botten van deze dieren uiteindelijk bewaard blijven is erg klein. Wat hielp is dat het gebied een relatief droog klimaat heeft gekend, met een lage verwerkingssnelheid van botten. Het kende ook een uitgesproken regenseizoen, waarin botten die tijdens de droge tijd verspreid over het land waren komen te liggen, werden samengespoeld in rivierbeddingen. Er was een hoge aanvoer van vulkanisch zand, wat leidde tot snelle sedimentatie en begraving van aanwezige botten in een rivierbedding. Oostelijk Java is ook een tektonisch actief gebied, met lokale bodemdaling, waardoor afzettingen bewaard bleven. Door diezelfde tectonische activiteit werden deze lagen later geplooid, zodat ze weer aan het oppervlak terecht kwamen. En ten slotte helpt het dat het gebied tot op de dag van vandaag een relatief droog klimaat kent, hetgeen tot een min of meer open landschap leidt, waarin tropische bodemverwerking geen grote rol speelt.

De fossielen uit oostelijk Java geven een interessant inzicht in de evolutie en verspreiding van soorten over zuidoost-Azië gedurende het Pleistocene. De westelijke eilanden van Indonesië, waaronder Java, maken deel uit van het Sunda Plat. In het verleden heeft dit gebied boven zeeniveau gelegen, waardoor een brede continentale zone ontstond die het westelijk deel van Indonesië verbond met het Aziatische vasteland. Dit verloren continent noemen we Sundaland. Zulke fasen waarin Sundaland boven water lag, zouden zijn gekoppeld aan ijstijden, oftewel glacialen. Omdat tijdens ijstijden veel water wordt vastgehouden in ijskappen, is dan wereldwijd het zeeniveau lager. *Homo erectus* zou Java onder dergelijke glaciële omstandigheden bereikt kunnen hebben. Dit maakte de ontdekking van een vindplaats op de zeebodem, in de Straat van Madura, heel bijzonder. Het is de eerste vindplaats van fossiele beenderen in dit overstromde gebied, en biedt daarmee een uniek venster op de fauna van het Pleistocene Sundaland.

De fossielen werden bij toeval ontdekt tijdens een zandwinnings project. Zand werd gewonnen op de bodem van de Straat van Madura en vervolgens naar een kustlocatie vervoerd nabij Gresik, waar het werd gebruikt voor de aanleg van een nieuw haven terrein. In 2015, net na de voltooiing, was het terrein een zandvlakte, met een oppervlakte van meer dan 100 ha, helemaal verlaten en zuchtend in de zon. Het bleek bezaaid te zijn met fossiele beenderen. Het kostte me een paar maanden om alle fossielen van het oppervlak te verzamelen. Tegen het einde van het jaar had ik in totaal 6372 exemplaren verzameld.

Het verzamelen van de fossielen was nog maar het begin. De interpretatie van de vindplaats en haar fossielen bleek lastig binnen de geaccepteerde geologische en paleontologische beschrijvingen van Java. De stratigrafie, die de afzettingen op het eiland beschrijft en onderverdeelt in grotere eenheden, was tamelijk eenvoudig opgezet en hield geen rekening met de complexe landschapsontwikkeling van het eiland, onder invloed van vulkanisme, tektoniek, zeespiegelschommelingen en steeds veranderende drainagepatronen. Bovendien bleek er geen logisch verband te zijn tussen de stratigrafie van Java en de offshore stratigrafie van het omringende continentaal plat. Het eiland was altijd het domein geweest van paleontologen en archeologen, terwijl de ondiepe zee al decennia het domein was van oliemaatschappijen die het gebied afzoeken naar winbare olie- en gasvoorraden. Seismische studies in dit zeegebied laten zien dat de zeebodem bestaat uit een opstapeling van dikke mariene lagen, wat wijst op een opeenvolging van mariene fasen, met daartussen periodes waarin het gebied droog lag. Maar een dergelijke cycliciteit was nooit herkend in de geologie van Java. Dit is vreemd, temeer omdat paleontologen juist deze afwisseling van mariene en droge fasen van het Sunda Plat gebruiken om veranderingen in de fossiele fauna van Java te verklaren.

Om deze zaken op te lossen, besloot ik, samen met collega's uit Nederland en Indonesië, om de wijde omgeving van de beroemde vindplaatsen op oostelijk Java opnieuw te onderzoeken. Het bleek al gauw dat de geologische situatie inderdaad veel complexer is dan eerder werd aangenomen. Het lagenpakket bevat grote hiaten en er is een enorme laterale variatie, waardoor correlaties tussen vindplaatsen lastig zijn. In zo'n situatie is het weinig zinvol om met regionale stratigrafische eenheden te werken, zeker als die 'units' dan ook nog eens worden beschouwd als chronologische eenheden. Toch is dat hoe het nu al bijna een eeuw gaat, met als gevolg dat heel wat correlaties en interpretaties die tot op de dag van vandaag algemeen geaccepteerd zijn, flink herzien moesten worden.

Ter vervanging van het oude stratigrafische systeem definieerden wij nieuwe, lokale eenheden met een beperkte geografische geldigheid. Deze 'units' zijn telkens gebaseerd op goed herkenbare lithologische overgangen en vertegenwoordigen belangrijke fasen in de lokale landschapsontwikkeling. De units zijn uitdrukkelijk niet gedefinieerd als

chronologische eenheden. Maar, uiteraard is het wel relevant om inzicht te hebben in de ouderdommen van de stratigrafische eenheden en in de processen waaronder ze gevormd zijn. Daarom hebben we zoveel mogelijk geprobeerd

de nieuwe units in een chronologische context te plaatsen. Dat leidde hier en daar tot wel heel verrassende inzichten, die sterk afwijken van de tot dusver geldende interpretaties. Dat niet iedereen het daar zomaar mee eens was, is begrijpelijk.

Waarop zijn deze ouderdomsindicaties gebaseerd? Er zijn verschillende manieren om gesteentes te dateren, maar die hebben vaak wel hun beperkingen. Voor mariene afzettingen kunnen we terugvallen op gedateerde ranges van microfossielen. Voor terrestrische afzettingen in een vulkanisch gebied kunnen we radiometrische dateringsmethoden gebruiken, maar deze bepalen kristallisatie-ouderdommen, en die zijn niet noodzakelijkerwijs hetzelfde als afzettings-ouderdommen, zeker niet voor de rivierafzettingen waar we op Java veelal naar kijken. Een andere methode is OSL-datering. Deze bepaalt de tijd die is verstreken sinds een mineraal voor het laatst aan licht is blootgesteld, en geeft daarmee een maat voor de daadwerkelijke ouderdom van de afzetting. Maar de techniek werkt alleen voor specifieke sedimenttypen en voor ouderdommen jonger dan ca. 450 duizend jaar. Er zijn nog meer technieken, zoals het meten van de magnetische polariteit van het sediment. Deze kan je vervolgens koppelen aan gedateerde omkeringen van het aardmagnetisch veld. Al met al vormen de uitkomsten van deze bepalingen steeds slechts een stukje van de puzzel. Het is belangrijk om altijd het grotere geheel ogenschouw te nemen. Er zitten heel wat signalen in de stratigrafie waar je ook leeftijdsrelaties mee kan doen, signalen die bijvoorbeeld wijzen op een grote vulkanische uitbarsting of een verandering van type vulkanisme. Ditzelfde geldt voor grote tektonische gebeurtenissen, klimaatverandering, of een verandering van riviergedrag. Dit soort processen hebben allemaal hun sporen nagelaten in het 'geologisch archief' en soms zelfs in het huidige landschap. Als je eenmaal grip krijgt op het verloop van deze landschapsvormende processen, hun representatie in de geologie, en de ouderdommen die erbij horen, dan kan je ook een ruwe chronologie koppelen aan de gesteentepakketten.

Een belangrijk patroon dat je kan herkennen in het de stratigrafie van Java is de cycliciteit die verband houdt met zeespiegelfluctuaties. Ook hiermee kan je goed correleren, zeker als je ergens een paar betrouwbare dateringen hebt. Maar boven alles biedt deze cycliciteit de lang gezochte verbinding tussen de geologie van het eiland en de geologie van de zeebodem van het continentaal plat. De situatie blijkt echter iets anders te zijn dan voorheen werd aangenomen. Recente studies hebben aangetoond dat het Sunda Plat geen tektonisch stabiel oppervlak vormt, maar onderhevig is aan bodemdaling. Het gebied lag waarschijnlijk helemaal boven de zee tijdens het Vroeg-Pleistoceen en kwam pas in de loop van het Midden-Pleistoceen binnen het bereik van zeespiegelfluctuaties. Dit was ook de periode waarin op oostelijk Java een ouder systeem van lokale kleine rivieren langzaam maar zeker opging in twee grote drainagesystemen die nu nog altijd bestaan: de Brantas en de Solo. Destijds waren die rivieren veel langer dan nu. Ze strekten zich oostwaarts uit tot aan de rand van het continentaal plat, over wat nu de zeebodem is van de Straat van Madura. Door de regionale bodemdaling kwam dit laagland langzaam maar zeker binnen het bereik van zeespiegelfluctuaties kwam te liggen, waardoor de benedenloop van deze rivieren soms verdronk, tijdens periodes met een hoge zeespiegel, dus tijdens interglacialen. Als de benedenloop van een rivier verdrinkt dan heeft dat gevolgen voor haar lengteprofiel. Een rivier reageert dan doorgaans door sediment af te zetten in haar bovenloop. Trekt de zee zich weer terug, dan begint de rivier zich weer in te snijden. Afhankelijk van de tektonische situatie kan dit proces, van afwisselende sedimentatie en insnijding, leiden tot de vorming van rivierterrassen (onder omstandigheden van opheffing) of tot begraven sets van dal-opvullingen (onder omstandigheden van bodemdaling). Beide kunnen in oostelijk Java worden waargenomen. In de aan bodemdaling onderhevige kustvlakte rond Jombang en Mojokerto vind je oude dalopvullingen van de Brantas, begraven onder het oppervlak. Erg interessant is dat deze dalopvullingen lokaal omhoog zijn geduwd, in jonge plooiruggen. Zandgroeven in dit gebied geven een prachtige zicht op dit cyclische gedrag van de Brantas, dat vrij goed gerelateerd kan worden aan de Midden-Pleistocene zeespiegelcurve. Hier liggen ook de vindplaatsen van Peking en Jetis, die onder andere de beroemde schedel van Mojokerto hebben opgeleverd. In de opgeheven vlakte rond Trinil en Ngawi heeft de Solo een mooie reeks fluviatiele terrassen gevormd, met fossielhoudende rivierafzettingen van verschillende ouderdommen. De terrassen zijn te volgen tot in de dwarsvallei door de Kendeng, waar zich het befaamde terras van Ngandong bevindt, waarschijnlijk de rijkste vindplaats van *Homo erectus*-schedels ter wereld. Ten noorden van de Kendeng bevindt zich de dalende Randublatung Vallei, die doorloopt tot aan de kustvlakte langs de Straat van Madura. De terrassen verdwijnen hier abrupt en gaan over in begraven dal-opvullingen.

De fluviatiele afzettingen van de Brantas en de Solo vormen een schitterende en goed aan de zeespiegelcurve te koppelen reeks, waarbij met name voor de Brantas nog aanvullende dateringen noodzakelijk zijn, ter verificatie van het voorgestelde raamwerk. Misschien nog wel belangrijker is dat hiermee ook een verbinding is gemaakt tussen de stratigrafie van Java en die van de zeebodem op het continentaal plat, volgens het principe dat de fluviatiele pakketten op het eiland en mariene pakketten op de zeebodem beide gerelateerd zijn aan periodes met een hoge zeespiegel en dus ruwweg met elkaar gecorreleerd kunnen worden.

De vallei-opvullingen van de Solo zijn oostwaarts te volgen tot in het kustgebied van de Straat van Madura. De nieuwe fossielenvindplaats in de Straat van Madura is zo'n oude vallei van de Solo. Op basis van reconstructies van insnijdings- en sedimentatiecycli konden we deze oude vallei koppelen aan het voorlaatste glaciaal. Dit werd bevestigd

door OSL-dateringen van het fluviatiele sediment. Deze wezen op een ouderdom van ca. 140 duizend jaar, iets jonger dan het glaciaal-maximum van deze ijstijd. Hiermee is de dalopvulling te relateren aan de fase waarin de zeespiegel weer steeg en de rivier zijn oude vallei begon op te vullen met sediment.

De fossielen in dit rivierzand zijn de overblijfselen van fluviatiele dieren, zoals rivierhaaien, krokodillen, schildpadden en nijlpaarden, gemengd met de overblijfselen van terrestrische dieren zoals runderen, herten, olifanten, neushoorns en zwijnen. In totaal konden 36 verschillende diersoorten worden geïdentificeerd, wat de collectie buitengewoon soortenrijk maakt. Alles bij elkaar vertegenwoordigt de collectie een laaglandfauna, die hoorde bij een savanne-achtige vlakte langs een grote, langzaam stromende rivier. Verschillende soorten pijlstaartroggen, haaien en schildpadden waren niet eerder beschreven van vindplaatsen op Java. Andere soorten waren wel eerder beschreven op Java, maar zijn uiterst zeldzaam, zoals makaken en Komodovaranen. Deze laatste soort was één van de belangrijkste roofdieren binnen het ecosysteem. Het laat zien dat zijn huidige territorium, op Komodo, Rinca en Flores, een overblijfsel is van een veel groter verspreidingsgebied. Van soorten als *Duboisia santeng* en *Epileptobos groeneveldii* werd voorheen verondersteld dat ze al eerder waren uitgestorven, maar ze bleken tot ten minste 140 duizend jaar geleden te hebben overleefd op de laaglandvlakte van Sundaland. Een waardevol facet van ons onderzoek is dat alle geïdentificeerde skeletresten zijn opgemeten en beschreven, hetgeen een interessant inzicht geeft in lichaamsgrootte en evolutionaire trends per soort, en bovendien een goede referentie biedt voor toekomstige identificaties.

Onder de geïdentificeerde fossielen bevinden zich twee menselijke schedelfragmenten. Het materiaal dateert uit een periode van grote veranderingen in de menselijke populatie in Azië. Op het vasteland werd *Homo erectus* geleidelijk vervangen door binnenvallende groepen van meer moderne menssoorten, onder wie Denisoviërs en Neanderthalers. Op Java lijkt *Homo erectus* al deze tijd te hebben overleefd, als een relictpopulatie. Maar geldt dit ook voor de laaglandvlaktes van Sundaland? Sundaland was immers het grootste deel van deze tijd gewoon verbonden met het vasteland van Azië. We hebben een gedetailleerde metrische en morfologische vergelijking uitgevoerd tussen de nieuwe schedelfragmenten van de Straat van Madura en alle relevante schedels uit het Pleistoceen van China, India, Java en Flores. Hieruit blijkt dat de schedelfragmenten uit de Straat van Madura een grote verwantschap vertonen met de late *Homo erectus* van Java en niet zozeer met de even oude, maar morfologisch meer moderne populaties van het Aziatische vasteland. Dit toont aan dat de Javaanse *Homo erectus* een groter territorium had, dat zich uitstreckte over de laaglandvlaktes van Sundaland. In plaats van te spreken van de Java-mens, kunnen we misschien beter spreken van de Sunda-mens. Het roept echter wel de vraag op: waarom drongen de populaties van het vasteland niet door tot in Sundaland? Deze vraag is niet zo eenvoudig te beantwoorden. Een mogelijkheid is dat de savanne zich alleen over het zuidoostelijke deel van Sundaland uitstreckte, en dat dit gebied in het noorden werd afgeschermd door een dicht equatoriaal woud, dat een barrière vormde voor de verspreiding van soorten die zich het liefst ophouden in meer open terrein.

Snijsporen op fossiele botten tonen aan dat de *Homo erectus* van de Straat van Madura zich voedde met rivierschildpadden en runderen. De ledemaatbotten van de runderen werden gebroken om toegang te krijgen tot het beenmerg. Interessant is dat de meeste runderen in de collectie zijn gestorven als jongvolwassene. Dit is niet wat je onder natuurlijke omstandigheden zou verwachten en wijst op selectieve jacht door mensen, gericht op het doden van de meest vetrijke exemplaren binnen een kudde. In Europa en op het Aziatische vasteland wordt dit gedrag over het algemeen in verband gebracht met relatief moderne populaties zoals de Neanderthalers. Mogelijk ontwikkelde de Sunda Mens dit gedrag onafhankelijk. Maar het is ook mogelijk dat de Sunda Mens dit gedrag heeft overgenomen van binnenvallende modernere groepen. Hiermee is het ook nog steeds mogelijk dat de late *Homo erectus*, van Java en van de Straat van Madura, wel degelijk al genen droeg van deze meer moderne mensachtigen van het vasteland.