

Kulstof-14-datering: Nogle åbne spørgsmål – 1

Af cand. polyt. Finn Lykke Nielsen Boelsmand

Indledning:

Denne artikel bygger på mit ingeniørspeciale Radioaktive dateringsmetoder, 1985¹, hvor jeg bl.a. havde adgang til samtlige offentliggjorte kulstof-14 dateringer 1949-1968 med relation til Ægyptens historie.

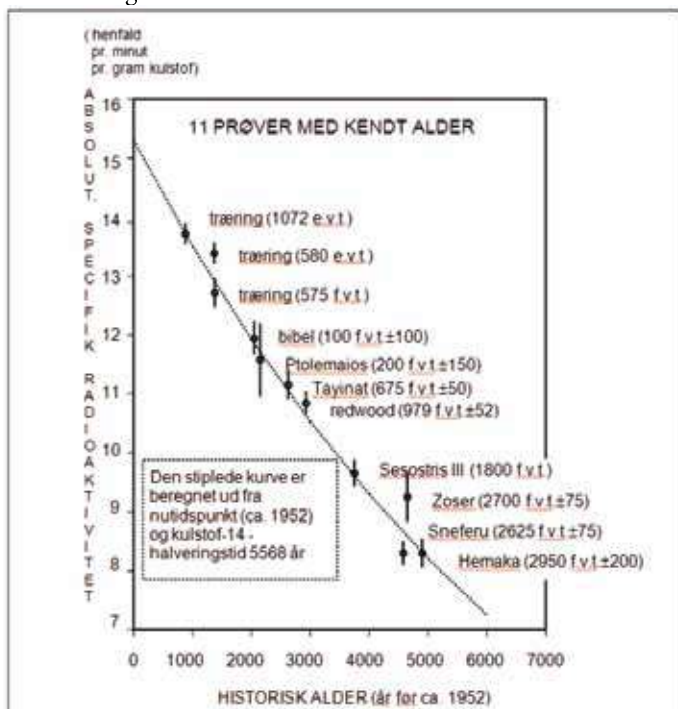
Oversigt:

Nogle vigtige årstal og begivenheder i kulstof-14-dateringsmetodens historie:

Årstal	Begivenhed
1949-52	Libbys første kalibreringskurve
1962/68 og før	Gængs ægyptenkronologi (Hayes/Helck)
1966	Yaku-Sugi dendrokronologi
o. 1969	Børstekoglefyr dendrokronologi
o. 1970	Kongres hvor man valgte at bygge kalibreringskurven på dendrokronologi (børstekoglefyr) og ikke ægyptenkronologi ³ .
1970	Courvilles ægyptenkronologi

Libbys første kalibreringskurve

Omkring år 1952² offentliggjorde W. F. Libby sin kulstof-14 kalibreringskurve:



Figur 1: Libbys kalibreringskurve (reproduceret efter Libby, 1952²)

Libbys aldersformel for kulstof-14 datering er:

$$\text{tilsyneladende alder} = t = \frac{5568 \text{ år}}{\ln(2)} \cdot \ln\left(\frac{15.3}{A}\right) \quad \text{formel 1}$$

Den bygger på den antagelse at aktiviteten af "frisk" træ er (til alle tider)³:

$$A_0 = 15.3 \frac{\text{henfald}}{\text{gram kulstof} \cdot \text{minut}}$$

Man kan også formulere antagelsen således, "at den kosmiske stråling er konstant (til alle tider)". Desuden anvender han halverings tiden for kulstof-14³:

$$T_{1/2} = 5568 \text{ år}$$

Formel 1 bruges ved at man måler aktiviteten A' (enhed, f.eks.: $\frac{\text{henfald}}{s}$),

regner om til den specifikke aktivitet

$$A \text{ (enhed: } \frac{\text{henfald}}{\text{gram kulstof} \cdot \text{minut}})$$

af en kulstof holdig prøve – og derefter ind sætter i formel 1.

For at godtgøre at aldersformlen er rimelig, offentliggjorde Libby kalibreringskurven (figur 1). Man ser at de 11 målepunkter ligger tæt ved den teoretiske, stiplede kurve. Cirklerne er forsynet med en lodret usikkerhedslinje der viser usikkerheden ΔA på aktivetsmålingen. Hvis man måler aktiviteten to gange på den samme kulstofprøve, vil man i almindelighed få to forskellige resultater. Det skyldes at radioaktivt henfald er en tilfældig proces (ligesom kast med terninger).

Måler man på en træprøve i tidsrummet t_1 sekunder og får antal henfald til N_1 , så kan A' og A beregnes:

$$A' = \frac{N_1}{t_1} \quad \text{hhv.} \quad A = \frac{A'}{m_1 \cdot 60 \text{ s/min}} = \frac{N_1}{m_1 \cdot t_1 \cdot 60 \text{ s/min}}$$

(kulstofprøven indeholder m_1 gram kulstof; der går 60 s på 1 min)

(N_1 er i virkeligheden et tælleantal der *beregnes* ud fra et målt tælleantal N' , for selvom man prøver at opfange samtlige henfald fra træprøven ved at omkranse den med Geiger-Müller-rør, vil der være nogle henfald der ikke registreres i rørene, blandt andet pga.: At nogle henfald rammer ved siden af rørene, at nogle henfald ikke har energi nok til at trænge ind i rørene, og at et rør har en "dødtid" for nye henfald umiddelbart efter en registrering. Med i beregningen af N_1 er også at rørene måler en

baggrundsstråling som ikke skyldes træprøven. Den skal fratrækkes målingen på træprøven og bidrager til usikkerheden.)

Pga. den statistiske usikkerhed på radioaktive tællel (ΔN₁) vil den absolutte og relative usikkerhed på den specifikke aktivitet A blive:

$$\Delta A = \frac{\Delta A'}{m_1 \cdot 60 \text{ s/min}} = \frac{\Delta N_1}{m_1 \cdot t_1 \cdot 60 \text{ s/min}} = \frac{\sqrt{N_1}}{m_1 \cdot t_1 \cdot 60 \text{ s/min}}$$

hhv.

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\sqrt{N_1}}{N_1} = \frac{1}{\sqrt{N_1}} \quad (\text{formel 2})$$

(Normalfordelte tællel, som radioaktive tællel nogenlunde antages at være, har usikkerheden:

$$\Delta N_1 = \sqrt{N_1} \text{ .})$$

Af formel 2 ses at den relative usikkerhed er omvendt proportional med kvadratroden af tællel. Man skal altså måle længe på træprøven, så man får så høje tællel som muligt. Derved mindskes usikkerheden på tællel – og dermed usikkerheden på den specifikke aktivitet og alderen i følge formel 1.

Libbys kalibreringskurve bygger på fire kulstofprøver der er træringe (træring, redwood), én kulstofprøve der er fra Israels historie (bibel=omslag fra Esajasbogrulle/Dødhavsrulle) og seks kulstofprøver der er fra Ægyptens historie (Ptolemaios, Tayinat, Sesostri III, Zoser, Sneferu, Hemaka). Den linje holder sig de næste mange år at kalibreringskurver bygges på dendrokronologi (= træringe) og ægyptenkronologi (= tidstavle). Derfor vil jeg koncentrere mig om de 2 kronologityper.

Hver af de 11 kulstofprøver har desuden en trænings-/historisk usikkerhed:

1. for de tre "træring"-prøver er den sat til 0 – for "redwood"-prøven er den sat til plus/minus 75 år.
2. for kulstofprøven fra Israels historie, "Bibel" (omslag fra Esajasbogrulle/Dødhavsrulle), er den historiske usikkerhed sat til plus/minus 100 år.
3. for de seks kulstofprøver fra Ægyptens historie, Ptolemaios, Tayinat, Sesostri III, Zoser, Sneferu, Hemaka, er den historiske alder sat til hhv. plus/minus 200 år, plus/minus 50 år, 0 år, plus/minus 75 år, plus/minus 75 år og plus/minus 200 år. Disse usikkerheder er ikke direkte usikkerheder i Ægyptens kronologi. De historiske usikkerheder skyldes også at træprøven ikke altid kan henføres til en bestemt faraos bestemte regeringsår, men snarere at man kan afgrænse den således at den må være samtidig med eller noget efter en bestemt farao. Man kan også være nødt til at gøre antagelser om hvor mange år der går fra et træ bliver fældet, til træet bliver anvendt til en sarkofag el.lign. Som "HISTORISK ALDER (år før ca. 1952)" har Libby anvendt den bedste alder efter gængs ægyptenkronologi.

Hvis man betragter Libbys kurve, kan man se at otte af de 11 målingers lodrette usikkerhedslinjer skærer den stiplede kurve, mens tre af de 11 målinger ligger uden for. Det er forventeligt.

Hvis målinger er normalfordelte, forventes det at 2/3 rammer inden for usikkerheden og 1/3 uden for.

Tællel er nogenlunde normalfordelte. Forudsigelsen passer

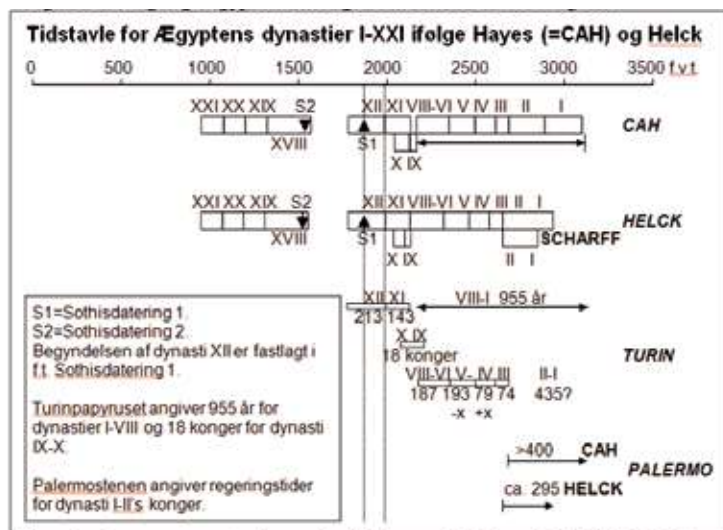
ganske godt, idet $\frac{2}{3} \cdot 11 = 7.3$

I formel 1 kaldes aldersberegningen *tilsyneladende alder* for at fremhæve at den nok skal korrigeres for at finde den rigtige alder. Umiddelbart tyder Libbys kurve ikke på at den behøver særligt store korrektioner – de 11 målecirkler ligger jo tæt på den stiplede kurve. Man bemærker dog at f.eks. Zoserprøven falder flere hundrede år ved siden af. (Det skyldes ikke kun statistisk usikkerhed på tællel, for andre laboratoriers senere måling viser noget af det samme.) Der er altså brug for en ny kalibreringskurve (= en kurve der viser omsætning fra *tilsyneladende alder* til *faktisk alder*) bygget på enten ægyptenkronologi eller dendrokronologi. *Hvad gør man hvis man får fremstillet flere kalibreringskurver der ikke stemmer overens?*

Gængs ægyptenkronologi

Enhver ægyptenkronologi bygger bl.a. på Ægyptens, Babylons, Assyriens og Israels kongelister og skrevne historie. Desuden arkæologiske fund.

I figur 2 er vist gængs ægyptenkronologi⁴, som den så ud i 1968 og før:



Figur 2. Gængs ægyptenkronologi (Hayes (1962) og Helck (1968)). Reproduceret efter Säve-Söderbergh og Olsson (1970)⁵.

Kronologien er hængt op på vores tidsakse ved hjælp af de 2 astronomiske dateringer, såkaldte Sothisdateringer: S1 og S2. Det er beretninger om stjernen Sothis' (Sirius') opgang på en bestemt kalenderdato ifølge den egyptiske kalender. Ved beregninger kan man finde hvilket årstal f.v.t. (før vor tidsregning) det må være sket. Dateringen er imidlertid ikke uden usikkerhed – bl.a. fordi tolkningen af den bygger på sene historiske kilder. Hvis tolkningen er korrekt, har man med stor nøjagtighed fastlagt dynasti XII og XVIII på vores tidsakse. Hvis tolkningen er forkert, får man stor usikkerhed ind i gængs ægyptenkronologi. I forhold til S1 er dynasti I til XI beregnet ud fra de forskellige kongelister og tolkning af Turinpapyruset

og Palermostenen. Disse tolkninger er ikke uden usikkerhed, hvilket man bl.a. kan se af at Hayes, Helck og Scharff er uenige. I forhold til S2 er dynasti XIX-XXX (ikke alle er vist på figur 2) beregnet ud fra de forskellige kongelister. Desværre findes der mange kongelister som ikke stemmer helt overens – så man kommer ikke uden om (stor) usikkerhed i regeringstider og dynastilængder. Mere alvorlig er dog spørgsmålet: *Kan man være sikker på den gængse ægyptenkronologis rækkefølge og samtidighed/manglende samtidighed af de 30 dynastier?*

Courvilles ægyptenkronologi

I figur 3 er vist Courvilles ægyptenkronologi, 1970⁶:

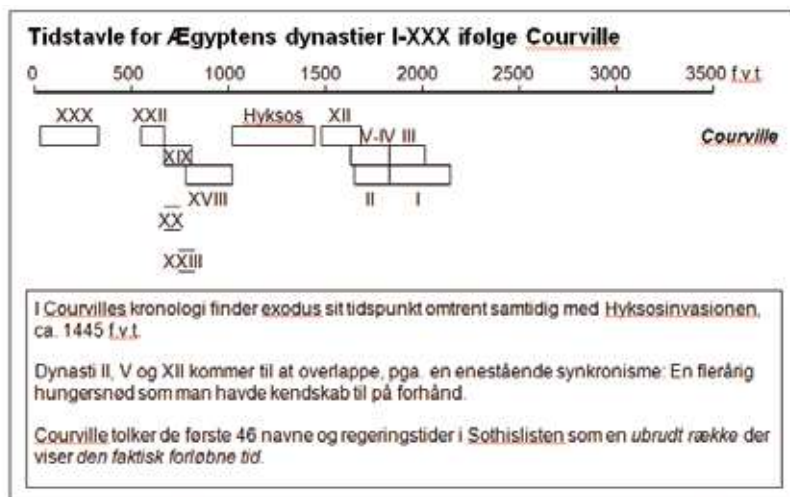
Mellemøstens kronologier er forbundne, idet bl.a. Babylons, Assyriens, Israels og Ægyptens skrevne historie indeholder synkronismer (= henvisninger til samme historiske hændelse, f.eks. indbyrdes slag.)

Derfor vil en omtolkning af én af dem uvægerligt medføre omtolkninger af de øvrige. Udover de skrevne historier kan man også udlede synkronismer fra arkæologisk materiale.

Courville tvivler så meget på de to Sothisdateringer at han ikke vil bygge sin kronologi på dem. Han nævner i hundredvis af eksempler hvor arkæologi og Israels historie *systematisk* afviger nogle århundreder – afvigelser der ofte er blevet klandret Israels skrevne historie. Da de arkæologiske delperioder imidlertid hænger på Ægyptens kronologi, antager Courville at problemet snarere skyldes at gængs ægyptenkronologi er forkert anbragt på tidsaksen – altså at de to Sothisdateringer må være forkerte. Uden de to Sothisdateringer bruger Courville naturligvis alle tilgængelige kongelister til at opbygge sin kronologi, ligesom også gængs ægyptenkronologi gør, men han vægter kilderne anderledes. Bl.a. bruger han den tolkning af kongelisten Sothislisten at de første 46 navne og regeringstider er en ubrudt række der viser den faktiske forløbne tid. (Slutningen af Sothislisten er desværre forvansket med navne og regeringstider der ikke følger det system.) Han ender med en kronologi (se figur 3) som han mener giver meget bedre overensstemmelse mellem arkæologi og skrevne kilder – især Israels skrevne historie.

Eksempel: Fra Israels historie ved man at Kong Akab havde et elfenbenspalads. Man finder rester af en elfenbensbygning, men i arkæologiske lag der ifølge gængs ægyptenkronologi anses for meget yngre end Kong Akab – det kan altså ikke være hans palads, eller? Mon ikke det er Akabs elfenbenspalads, og de arkæologiske delperioder skal fremrykkes så det stemmer? I Courvilles kronologi kommer fundet til at passe med Akabs regeringsperiode.

(At Israels skrevne historie er meget nøjagtig, fremgår af Thieles bog 1959, hvor han får 396 ud af 400 henvisninger til regeringstider for Israel hhv. Juda til at stemme nøjagtigt overens. De resterende fire er måske fejlskrivninger? Faktisk kan de resterende fire også være korrekte, hvis man antager nogle hidtil ukendte coregenser. Ved hjælp af Thieles israelskronologi har man kunne afklare et enkelt dunkelt punkt i Assyriens kronologi, der ellers er flagskibet i Mel-



Figur 3: Courvilles ægyptenkronologi (reproduceret efter Courville, 1970⁶).

lemøsten m.h.t. nøjagtigt optegnede årstavler (de såkaldte eponymlister)).

Kalibreringskurver bygget på gængs hhv. Courvilles ægyptenkronologi

I perioden 1949-68 er der offentliggjort ca. 89 kulstof-14 dateringer med relevans for Ægyptens kronologi. Ud fra så mange som muligt af dem (det er ikke alle 89 der kan historisk indplaceres på figur 2 hhv. 3), er beregnet følgende korrektionsfaktorer for tilsyneladende alder:

$$\text{faktisk alder}_{\text{gængs}} = f_{\text{gængs}} \cdot \text{tilsyneladende alder}$$

$$\text{faktisk alder}_{\text{Courville}} = f_{\text{Courville}} \cdot \text{tilsyneladende alder}$$

I tidsskriftet Radiocarbon, hvor de fleste af de 89 dateringer er offentliggjort, fortsatte man med at beregne tilsyneladende alder ved hjælp af halveringstiden 5568 år selvom halveringstiden faktisk blev målt mere nøjagtigt til 5730 år. (En korrektion for lidt forkert halveringstid er kun en lille korrektion, og ved at fortsætte med 5568 i beregningerne kan man sammenligne alle offentliggjorte tilsyneladende aldre.)

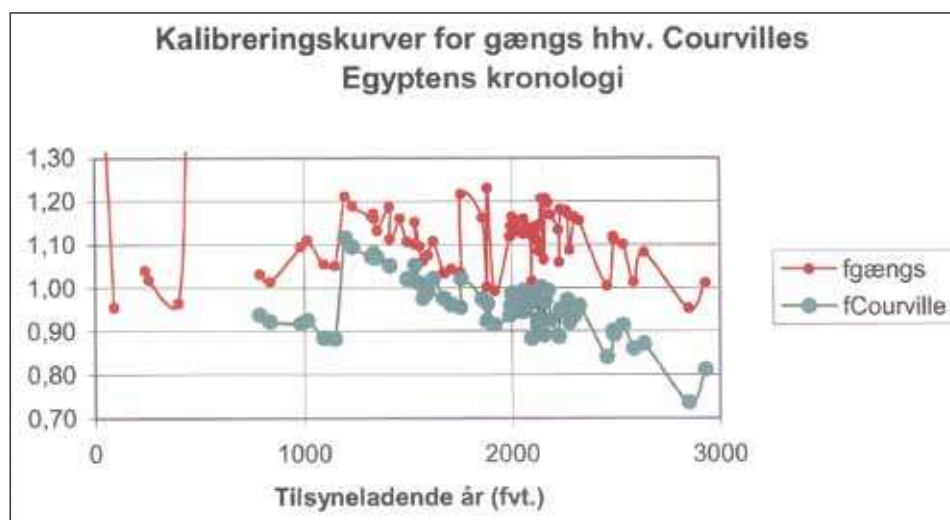
Hvilken af de 2 ægyptenkronologier giver den mest rimelige kalibreringskurve? Spørgsmålet kan efter min mening ikke besvares entydigt – men man kan bemærke om der optræder "urimelige" sving på korrektionskurverne. "Urimelige" sving kan være en indikation på manglende for mange samtidigheder af dynastier. Det er langt fra alle 30 dynastier der findes offentliggjorte kulstof-14 dateringer fra – nogle dynastier har også efterladt sig meget lidt arkæologisk materiale.

Korrektionsfaktorerne er nemmest at overskue, hvis man i stedet for tilsyneladende alder laver en graf som funktion af tilsyneladende år (f.v.t.):

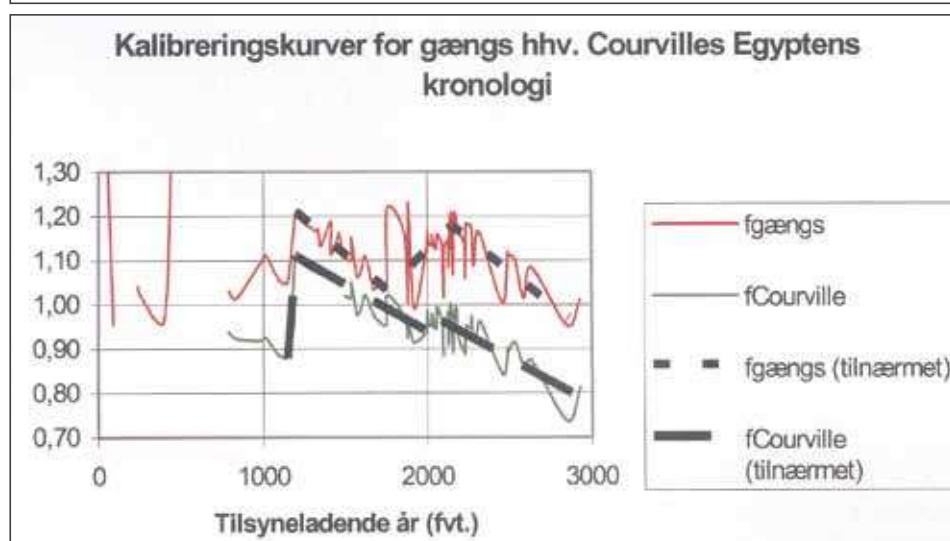
$$\text{tilsyneladende år (f.v.t.)} = \text{tilsyneladende alder} - \text{årstal for målingen}$$

Eksempel: Hvis målingen er udført ca. 1966 og giver den tilsyneladende alder 4050 år, bliver det tilsyneladende år (f.v.t.)=2084.

Figur 4. Kalibreringskurver for gængs hhv. Courvilles ægyptenkronologi.



Figur 5. Kalibreringskurver og tilnærmede kalibrerings-kurver for gængs hhv. Courvilles kronologi.



Tre konklusioner ud fra figur 5:

1. Den tilnærmede, gængse kurve har et zigzag-forløb hvor det midterste stykke svarer til tilsyneladende år ca. 1750-2150 f.v.t., eller faktisk år ca. 1880-2890 f.v.t. Sothisdateringen S1 ligger ved ca. 1871 f.v.t. Hvis zigzag-forløbet opfattes som urimeligt, kunne man få en mere lige kurve ved fremrykning af Sothisdatering S1. Man kan altså stille spørgsmålstegn ved om S1 skal tolkes så gammel. (Man kunne også få en mere lige kurve ved omtolkning af både S1 og S2.)
2. Den tilnærmede, Courville kurve har et zigzag-forløb hvor det 3. stykke svarer til tilsyneladende år ca. 2000-2010 f.v.t., eller faktisk år ca. 1760-1930 f.v.t. Grænsen mellem dynasti IV-V og III respektive dynasti II og I ligger ved ca. 1830 f.v.t. Hvis zigzag-forløbet opfattes som urimeligt, kunne man få en mere lige kurve ved fremrykning af denne grænse. Man kan altså stille spørgsmålstegn ved om grænsen mellem dynasti IV-V og III respektive dynasti II og I skal tolkes så gammel.
3. Det første stykke på den tilnærmede Courville-kurve har et meget lodret forløb og svarer til tilsyneladende år ca. 1150-1200 f.v.t., eller faktisk år ca. 780-1550 f.v.t. Imidlertid findes der et lignende (dog knapt så stort) stykke med et meget lodret forløb på den tilnærmede, gængse kurve. Jeg vil derfor opfatte det som unøjagtighed i den arkæologiske bestemmelse af nogle af kulstofprøverne.

I en senere artikel vil jeg vende tilbage til disse tre konklusioner ved at sammenholde dem med konklusioner ud fra kalibreringskurver bygget på dendrokronologier.

Litteraturliste

- ¹ Finn Lykke Nielsen: *Radioaktive dateringsmetoder*. Civilingeniørspéciale. DTU, Afd. f. Elektrofysik, 1985. I: 80 s.+litteraturlæg; 450 s.+II: 28 s.+litteraturappendix: 92 s.
- ² W. F. Libby: *Radiocarbon Dating*. The University of Chicago Press, 1952.
- ³ I nyere gymnasielærebøger anvendes halveringstiden 5730 år og $A_0=16.0$.
- ⁴ T. Sæve-Söderbergh og I. U. Olsson. "*Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*". Uppsala (1970).
- ⁵ ⁴, side 35-55.
- ⁶ D. A. Courville: "*The Exodus Problem and its Ramifications*". Challenge Books, Loma Linda, California, 1971.