

# 'n Model om Nylkrokodileiers se volumes mee te skat nadat hulle uitgebroei het

## Outeurs:

Johan O Nöthling,<sup>a</sup>  
Johan A Nöthling,<sup>b</sup>  
Jan G Myburgh<sup>c</sup>

## Affiliaties:

<sup>a</sup>Departement Produksie-  
dierstudies, Fakulteit  
Veeartsenykunde,  
Universiteit van Pretoria,  
Privaatsak X04,  
Onderstepoort 0110,  
Suid-Afrika

<sup>b</sup>Departement Fisika,  
Universiteit van Pretoria,  
Privaatsak X20, Hatfield  
0028, Suid-Afrika

<sup>c</sup>Eksotiese Leer  
Navorsingsentrum,  
Fakulteit Veeartsenykunde,  
Universiteit van Pretoria,  
Privaatsak X04,  
Onderstepoort 0110,  
Suid-Afrika

## Korresponderende outeur:

Johan Nöthling  
E-pos:  
johan.noethling@up.ac.za

## Datums:

Ontvang: 30/06/18  
Aanvaar: 03/12/18  
Gepubliseer: 11/04/19

## Hoe om hierdie artikel aan te haal:

Johan O Nöthling, Johan A Nöthling, Jan G Myburgh, 'n Model om Nylkrokodileiers se volumes mee te skat nadat hulle uitgebroei het, *Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* 38(1) (2019). <https://doi.org/10.36303/SATNT.2019.38.1.680>

An English copy of this paper is available online at <http://www.satnt.ac.za/index.php/satnt/article/view/680>

## Kopiereg:

© 2019. Authors.  
Licensee: *Die Suid-Afrikaanse Akademie vir Wetenskap en Kuns*.  
Hierdie werk is onder die Creative Commons Attribution License gelisensieer.

Die waarde van hul leer stimuleer kommersiële boerdery met verskeie spesies van die Crocodylia. Oorlewings- en groeivermoë van krokodilbroeiende hou verband met hul geboortemassa. Daar bestaan 'n positiewe verband tussen broeiingsgrootte en eiergrootte van verskeie spesies van die Crocodylia. Krokodileiers se grootte word dikwels nie gemeet voordat hulle uitgebroei nie. Die doel van hierdie studie was om 'n model te skep waarmee die volume van individuele Nylkrokodileiers geskat kan word nadat hulle uitgebroei het en die dop gebreek is, sodat die verband tussen eiervolume en broeiingsmassa op 'n individuele basis bestudeer kan word sonder dat die grootte van eiers gemeet is voordat hulle uitgebroei.

Onvrugbare eiers is in sy-aansig gefotografeer, met een pool na onder en die ander na bo en 'n skaal op die vlak van fokus. Hul volume is met waterverplasing gemeet (verplasingvolume). 'n Rekenaarprogram wat vir die doel geskryf is, is gebruik om die foto's te meet. Die program het die eierbeeld regop gedraai en die posisie van die poolas bepaal sonder om die boonste pool se posisie in ag te neem. Die lengte van verskeie dwarsdeursnitte (loodreg op die poolas) is gemeet, en die volume van die eier bereken deur die funksie wat die horison van die eier op die poolas beskryf te integreer (berekende volume). Die beste modelle is bepaal om die berekende volume te skat deur gebruik te maak van inligting beperk tot verskillende afstande van die onderste pool in die rigting van die boonste te gebruik, en vir eiers met verskillende polariteit. Die modelle is daarna gebruik om die volumes van 138 eiers waarvan 15%, 20%, 25% en 30% van elke eierbeeld, van die boonste pool in die rigting van die onderste, gemasker is.

Deur analise van die gemaskerde foto's kan die volume van eiers met volumes van 60 ml tot 135 ml met 95% vertroue binne 4.57 ml van die werklike voorspel word. Hierdie studie skep die moontlikheid om die volume van uitgebroeiende Nylkrokodileiers te skat. Variasie in Nylkrokodille se geboortemassa van groter as 7.72% kan met 95% vertroue geïdentifiseer word vir broeiende uit eiers met 'n geskatte volume van 60 ml, terwyl die presisie verbeter tot 'n variasie groter as 3.40% vir broeiende uit eiers met 'n geskatte volume van 135 ml.

**Sleutelwoorde:** Nylkrokodil, krokodil, eier, volume

## A model by which to estimate the volume of Nile crocodile eggs after they have hatched:

The value of their leather stimulates commercial farming with several crocodylian species. The survival and growth of crocodile hatchlings depends on their birth mass. There exists a positive relationship between the hatchling mass and egg size of several crocodylian species. The size of crocodylian eggs is often not measured before hatching. The aim of this study was to create a model whereby the volume of individual Nile crocodile eggs can be estimated after they have hatched and the shell been broken, so that the relationship between egg volume and hatchling mass can be studied on an individual basis without the size of the eggs having been measured prior to hatching.

Infertile eggs were photographed in side view, with one pole towards the bottom and the other towards the top and a scale in the focal plane. Their volumes were measured by water displacement (displacement volume). A custom-written computer program was used to measure the photo images. The program turned the image of the egg upright and the position of the polar axis was determined without considering the position of the upper pole. Various transverse diameters (perpendicular to the polar axis) were measured, and the volume of the egg calculated by integrating the function describing the horizon of the egg on the polar axis (calculated volume). The best models for estimating the calculated volume were determined by using information limited to various distances from the bottom pole of the egg's image towards its upper pole, and for eggs of different polarity. The models were then used to estimate the volumes of 138 eggs of which 15%, 20%, 25% and 30% of the image of each egg were masked from the upper pole towards the bottom pole.

Volumes of 60–135 ml derived from analysis of the masked photographic images of eggs permitted estimation of the eggs' volumes to within 4.57 ml of their actual volumes with 95% confidence. This study makes it possible to estimate the volume of eggs from the shells of hatched eggs and identify a variation larger than 7.72% in the birth mass of Nile crocodile hatchlings from eggs with an estimated volume of 60 ml, with the precision increasing to identify a variation larger than 3.40% for hatchlings from eggs with an estimated volume of 135 ml with 95% confidence.

**Keywords:** Nile crocodile, crocodile, egg, volume

## Inleiding

Die leer van verskeie spesies van die krokodilagtiges (spesies van die orde Crocodylia) endemies tot verskeie wêrelddele is gesog, wat kommersiële boerdery met hierdie spesies stimuleer. Die Nylkrokodil (*Crocodylus niloticus*) het 'n wye verspreiding in Afrika en is die enigste spesie waarmee in Suid-Afrika geboer word.

Die oorlewing en groei van broeilinge is 'n belangrike bepaler van die sukses van krokodilboerdery. By geboorte bestaan 'n broeiling uit sy liggaamsweefsel, wat sy liggaamsgrootte bepaal, en die dooier wat oorgebly het na die voorgeboortelike ontwikkeling in die eier, wat die broeiling kort voor geboorte opgeneem het in sy buik, en wat dien as nageboortelike voedselbron vir die broeiling (Huchzermeyer, 2003). Beide die liggaamsgrootte en die massa van die dooier bepaal die oorlewing en groei van die broeiling (Hutton, 1987). Geboortemassa is dus 'n sinvolle aanduiding van die oorlewings- en groeivermoë van krokodilbroeilinge.

Verskeie studies toon 'n positiewe verband tussen broeilinggrootte en eiergrootte van verskeie spesies van die krokodilagtiges. Totale broeilingmassa neem toe met eiermassa (Brien et al., 2014; Deitz en Hines, 1980; Garnett en Murray, 1986; Webb en Cooper-Preston, 1989), eierlengte (Brien et al., 2014; Garnett en Murray, 1986; Gómez-González et al., 2017) en eierbreedte (Garnett en Murray, 1986). Daar bestaan ook 'n positiewe verwantskap tussen dooiervrye broeilingmassa en eiergrootte (Whitehead, 1987). Broeilinglengte is ook afhanklik van eierlengte (Isberg et al., 2005). Xia et al. (2008) meld dat eiervolume positief gekorreleer is met die voortplantingsukses in die Sjinese alligator (*Alligator chinensis*).

Groot variasie in eiergrootte kom voor tussen broeisels in verskeie spesies van die krokodilagtiges, alhoewel beduidende variasie ook binne broeisels mag voorkom (Deitz en Hines, 1980; Garnett en Murray, 1986; Stoker et al., 2013). Die Crocodylia se eiers word as ellipsoïed beskou (Marzola et al., 2015; Stoker et al., 2013).

By geboorte breek die broeiling die eier by een van sy twee pole oop. Eiermassa en eierlengte kan net op heel eiers gemeet word. In die praktyk word eiers se grootte dikwels nie gemeet voordat hulle uitbroei nie ten einde die hantering van vrugbare eiers te minimeer. Die doel van hierdie studie is om 'n model te skep waarmee die volume van individuele Nylkrokodileiers geskat kan word nadat hulle uitbroei het, sodat die verband tussen eiervolume en broeilingmassa op 'n individuele basis bestudeer kan word sonder dat die grootte van eiers gemeet hoef te word voordat hulle uitbroei.

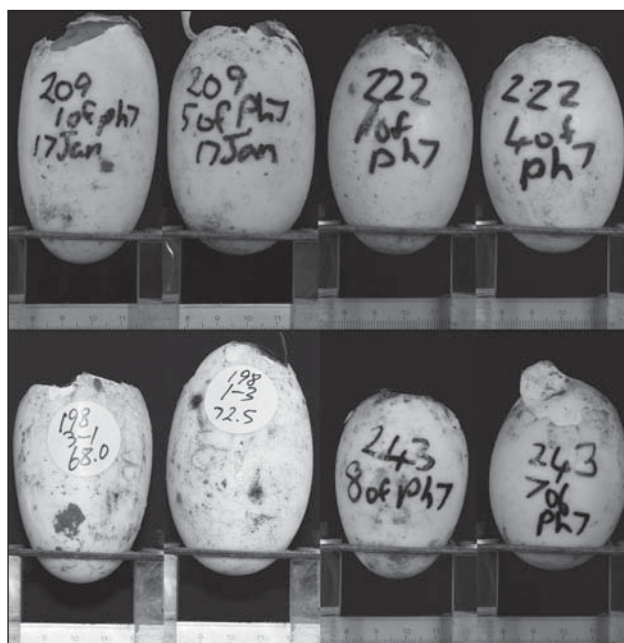
## Materiale en Metodes

Die navorsing is goedgekeur deur die Animal Ethics Committee van die Universiteit van Pretoria (projek V071-14, V078-14).

## Eiers

Nylkrokodileiers is gedurende twee broeiseisoene op 'n enkele kommersiële plaas in die Noordwes-provinsie van Suid-Afrika versamel. Alle broeilinge op die plaas is uit kunsmatig-geïnkubeerde eiers van teeldiere in gevangenissskap geproduseer.

Sodra die laaste broeiling van die onderskeie broeisels uitgebroei het is 497 heel onvrugbare eiers van 62 broeisels versamel (1–27 per broeisel, gemiddeld 7.8). Die nommer van die broeisel en eier is in swart op die eier geskryf. Figuur 1 demonstreer die variasie in vorm en grootte van uitgebroeide Nylkrokodileiers (eiers van bewese vrugbaarheid) wat op dieselfde tyd en plaas as die onvrugbare eiers wat in die huidige studie gebruik is, versamel is.



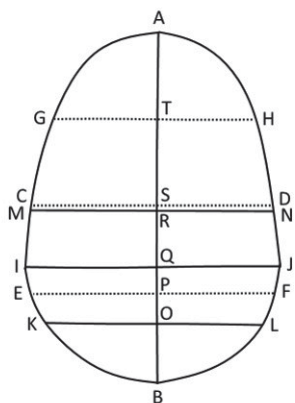
**FIGUUR 1:** Twee uitgebroeide eiers van elk van vier broeisels (209, 222, 198 en 243) toon die variasie in grootte en vorm van eiers in- en tussen broeisels

## Fotografie

Elke eier is saam met 'n vernierpasser se meetarm (gemerk in 1 mm inkremente) op 'n afstand van presies 1 m afgeneem met 'n enkellensreflekskamera met 'n 100 mm vastefokusafstand lens. Die foto is in JPG formaat gestoor met die fotonommer wat die kamera toegeken het as lêernaam. Elke foto het die buitelyne van die eier (eierbeeldrand) en die merke op die meetarm skerp in fokus vertoon, asook die broeisel- en eiernommer. Hierdie is die onvoorbereide foto's. Die broeisel- en eiernommer van elke eier is teen die foto se lêernaam in 'n Excelsigblad gestoor.

## Benoeming van eiermates

Figuur 2 verduidelik die afmetings wat op die foto's gemaak kon word. Die poolaslengte, ewenaarlengte en die ewenaarlyngtelengtes kon op papierdrukstukke van die foto's (papierfoto's) gemeet word, terwyl al die afmetings op die digitale foto's gemaak kon word.



**FIGUUR 2:** 'n Skematiese voorstelling van 'n Nylkrokodileier om verskeie deursnitte te verduidelik. AB = Poolas, CD = Ewenaardeursnit [AS = BS], EF = Onderste ewenaarkwartlyn [BP = PS], GH = Boonste ewenaarkwartlyn [AT = TS], IJ = Buikdeursnit (Deursnit op hoogte 1.0, met die "1.0" wat aandui dat deursnit IJ een indekseenhede bokant die onderste pool lê), BQ = Hoogte 1.0 (onderste pool tot buik), KL = Deursnit op hoogte 0.5 [BO = OQ], BO = Hoogte 0.5 (0.5 × onderste pool tot buik), MN = Deursnit op hoogte 1.5 [QR = QO], BR = Hoogte 1.5 (1.5 × onderste pool tot buik).

## Meting van eiervolume deur waterverplasing

Twee wyebekglasbottels (Consol Glass, Johannesburg, Suid-Afrika), elk met 'n volume van ongeveer 500 ml en 'n glasdeksel met twee gaatjies van 5 mm in deursnit op die hoogste punt daarvan, is gebruik. 'n Bottel se deksel is daarop toegeskroef. 'n Waterbeker wat op 'n weegskaal gestaan het is met 'n plastiekpypie met 'n klep daarin aan die een gaatjie in die deksel verbind nadat die buisie met water uit die beker gevul is en die klep gesluit is. Die massa van die beker met water is gemeet, waarna die bottel met water gevul is totdat alle lug uit die bottel ontsnap het en die meniskus (5 mm in deursnit), in die tweede gaatjie in die deksel gelê het. Die massa van die beker met die oorblywende water daarin is weer gemeet en die volume van die fles bereken deur die eindmassa van die aanvangsmassa af te trek, met die aanname dat die water se volume presies een milliliter per gram is. Die bottel is daarna geleë en drooggemaak. Die proses is 10 keer vir elke bottel herhaal en sy gemiddelde volume bereken.

Elke eier is in een van die droë bottels geplaas en die bottel, soos hierbo beskryf, met water gevul. Die eiervolume is bereken deur die hoeveelheid water wat benodig was om die bottel met die eier daarin te vul af te trek van die bottel se gemiddelde volume. Hierdie eiervolume word voortaan die verplasingvolume genoem.

## Papiermetings

Elke onvoorbereide foto is volbladgrootte op 'n A4 papier gedruk. Die poolas is deur oogskatting op die eierbeeld getrek en 'n middelloodlyn daarop van een rand van die eierbeeld tot die teenoorstaande, is as die ewenaar beskou. Die middelloodlyn op die onderste- en boonste helftes van die poolas is as die onderskeie ewenaarkwartlyne beskou. Die lengtes van die onderskeie lyne, sowel as die lengte van 140 mm volgens die merke op die beeld van die vernierpasser se meetarm, is tot twee desimale van

'n millimeter met 'n vernierpasser in die hand gemeet. Die werklike lengtes van die eier se poolas, ewenaar en ewenaarkwartlyne is daarna bereken.

## Seleksie van eiers vir fotometing (uitgebreide stel)

So veel as moontlik, maar tot 'n maksimum van vyf eiers is uit elk van die 62 broeisels gekies vir meting en volumeberekening op die rekenaar. (Dit het 224 eierfoto's beloop met vyf uit elk van 26 broeisels, vier uit elk van nege, drie uit elk van nege, twee uit elk van 13 en een uit elk van vyf.)

## Fotovoorbereiding

Die program Paint.net weergawe 4.0.21 ([www.getpaint.net](http://www.getpaint.net)) is gebruik om elk van die 224 onvoorbereide foto's se agtergrond tot naby die eierbeeldrand met swart, en alle donker merke sowel as die broeisel- en eiernommer op die eierbeeld met wit te oordek. Hierdie voorbereide foto is met dieselfde naam as dié van die .jpg-lêer, maar as 'n .png-lêer gestoor.

## Program

'n Program (voortaan "die program") is in Python ([www.python.org](http://www.python.org)) geskryf waarmee metings en volumeberekenings op die voorbereide foto's gedoen kon word.

Die program is eers gebruik om vir elke voorbereide foto 'n drempelwaarde te kies, sodat so na as moontlik alle agtergrondpikselfs as swart en so na as moontlik alle pikselfs wat deel uitmaak van die eierbeeld (eierpikselfs) as wit geïdentifiseer is.

Parametriese lineêre interpolering tussen naasliggende eierpikselfs op die eierbeeldrand is gebruik om die foutiewe identifisering van die eierbeeldrand wat spruit uit pikselfs wat werklik tot die eierbeeld behoort maar deur die drempelwaarde as swart geklassifiseer is te verminder. Hierdie interpolering het ook 'n hoër digtheid van punte op die eierbeeldrand en 'n eweredige spasiering daarvan gelewer. Die interpolering is gedoen deur 'n aantal parametries eweredig-gespasieerde interpoleringspunte gelyk aan vyf maal die aantal fotopikselfs op die eierbeeldrand op die eierbeeldrand te stip. Die eierbeeldrand deur hierdie interpoleringspunte gestip, word voortaan die gestipte eierbeeldrand genoem, en die ruimte wat die gestipte eierbeeldrand omskryf, die omstipte eierbeeld.

Die program het daarna 'n virtuele raam geskep met rante wat parallel aan mekaar en aan die vertikale as van die cartesiese koördinaatstelsel is, en wat slegs aan daardie punte wat verste links en verste regs op die gestipte eierbeeldrand geleë is raak. Die hoogtes van hierdie linker- en regterraakpunte is vergelyk en die eierbeeld geroteer totdat die raakpunte ewe hoog is. (Tydens hierdie eierbeeldrotering is die wydte van die raam voortdurend verklein, sodat die linker en regterkant van die raam aan die linker- en regterkantse uiterste van die

gestipte eierbeeldrand bly raak.) Op hierdie stadium van rotering is aanvaar dat die eierbeeld regop gestaan het m.b.t. tot die raam en die cartesiese koördinaatstelsel van die foto (kortweg die regop eierbeeld).

'n Eier was nie noodwendig 'n perfekte ellipsoïed nie, en sy gestipte eierbeeldrand nie 'n perfekte ellips nie. Daarom het die lyn tussen die linker- en regterraakpunte van die regop eierbeeld se gestipte eierrand aan die virtuele raam nie noodwendig die eierbeeld se buikdeursnit, en die middelloodlyn daarop nie noodwendig sy perfekte poolas geïdentifiseer nie. Net so het die onderste en boonste punte van die regop eierbeeld nie noodwendig die onderskeie pole presies aangedui nie. Die poolas en buikdeursnit is soos volg bepaal: Die heel onderste en heel boonste punte van die gestipte eierrand van die regop eierbeeld het dit in voorlopige linker- en regter gestipte eierbeeldrande verdeel. Ongeveer 10 piksels weg van die onderpunt op die linkergestipte eierbeeldrand is 'n interpoleringspunt geïdentifiseer en daarna 'n interpoleringspunt op die regter gestipte eierbeeldrand so na as moontlik op dieselfde hoogte as die eerste. Die middelpunt van die verbindingslyn tussen hierdie punte is geïdentifiseer. Net so is die middelpunte bepaal van die verbindingslyne tussen elke paar interpoleringspunte op die linker en regter gestipte eierrande bokant die eerste paar, tot ongeveer 10 piksels weg van die boonste eierbeeldpunt. Die beste reguit passingslyn oor hierdie middelpunte het die poolas en sy helling aangedui en sy sny punte aan die onderste- en boonste gestipte regopeierbeeldrand die onderskeie pole. Die grootste deursnit van die omstipte eierbeeld loodreg op die poolas is die buikdeursnit.

### Fotometings en volumeberekings van volledige eiers met die rekenaarprogram

Eiers is die aantal fotopiksels wat een millimeter werklike afstand op 'n eier (nie die eierbeeld nie) aandui bepaal. Om dit te doen is die breedte van die foto eers op die rekenaarskerm bereken. Die aantal piksels op die rekenaarskerm (skerpiksels) wat die breedte van 'n onvoorbereide foto en 140 mm op die beeld van die vernierpasser se meetarm, onderskeidelik, onderspan is bepaal. Die program "Measure" (Baron Roberts, <http://www.thing.com/Measure.asp>) is hiervoor gebruik. Die breedte van die foto in millimeter is bereken as 140 mm vermenigvuldig met die aantal skerpiksels oor die fotobreedte gedeel deur die aantal skerpiksels per 140 mm op die skaal). Die aantal fotopiksels oor die breedte van die ooreenstemmende voorbereide foto is bepaal met die program wat in Python geskryf is. Met die breedte van die foto in millimeter bekend, is die aantal fotopiksels per millimeter op die eierbeeld bereken en in die program gebruik om fotopikselaafstande op die eierbeeld om te skakel na afstande in millimeter op die werklike eier.

Met die poolas bekend, is die eierdeursneë loodreg daarop 0.25, 0.5 en 0.75 maal die afstand tussen die pole,

van die onderste pool in die rigting van die boonste pool as die onderste ewenaarkwartlyn, ewenaar en boonste ewenaarkwartlyne gemeet en hul lengtes aangeteken.

Daardie deel van die omstipte eierrand links van die pole is as die finale linker gestipte eierrand beskou. Die volume van die eier is deur integrasie bereken as

$$V = \pi \int_{\mathcal{D}} [f(x)]^2 dx, \quad (1)$$

waar  $f(x)$  die eierrand as 'n funksie van loodregte afsnit op die poolas,  $x$ , beskryf, en die onderpool en bopool se koördinate, op die poolas gemeet, deur  $\mathcal{D}$  en  $\mathcal{B}$  gegee word. Die finale volume is bereken as die gemiddeld van die integrasieberekings vir die linkerrand, en regterrand as  $f(x)$ . Hierdie eiervolume word voortaan die berekende eiervolume genoem.

Die herhaalbaarheid van die bepaling van die berekende eiervolume is beoordeel deur dit twee keer deur onafhanklike metings op dieselfde verwerkte foto van elk van 55 lukraak-gekose eiers uit die groep van 224 te bepaal. Die tweede bepaling van die berekende volume van elke eier is gedoen met 'n nuwe drempelwaarde, wat bepaal is sonder enige insae in die drempelwaarde wat vir die eerste bepaling van die berekende volume gebruik is.

Die ewenaar kan nie op eierbeelde waarvan die boonste deel gemaskeer is, of uiteindelik op uitgebreide eiers bepaal word nie. Daarom is dwarsdeursneë (loodreg op die poolas) op verskillende hoogtes van die onderste pool relatief tot die buik gemeet en hul lengtes aangeteken. Die hoogte van 'n meting is die afstand van die onderste pool in die rigting van die boonste, op die poolas gemeet en uitgedruk as 'n breuk van die afstand tussen die onderste pool en die buikdeursnit. Dwarsdeursnitte is op hoogtes 0.2 en 0.3, en daarna met inkremente van 0.05 van hoogte 0.35 tot hoogte 1.7 en laastens op hoogte 1.8 gemeet. Hierdie dwarsdeursnitte is die deursnit op hoogte 0.2, die deursnit op hoogte 0.3 ens. tot die deursnit op hoogte 1.8 genoem, met die buikdeursnit as die deursnit op hoogte 1.0. Die volume van die eier onder elk van hierdie deursnitte, van die buikdeursnit en daarbo, is met behulp van vergelyking 1 bereken (waar  $\mathcal{B}$  nou die poolaskoördinaat van die gekose afsnydeursnit is).

### Modelskepping

#### Die finale stel eiers vir modelskepping

Die finale stel vir modelskepping is daardie 167 eiers (58 broeisels; vier met vyf eiers, 18 met vier, 11 met drie, 17 met twee en agt met een) uit die 224 waarvan die verplasingvolume en die lengtes van die poolas, ewenaar en ewenaarkwartlyne op papierfoto's gemeet minder as twee persent hoër of laer was as die ooreenstemmende metings met die rekenaarprogram.

## Polariteitberekening

Sommige eiers was opvallend asimmetries, met die buik nader aan een pool as aan die ander. Vir elke eier in die finale stel is die som van die lengtes van die deursnitte op hoogtes 0.7, 0.8, 0.85, 0.9 en 0.95 afgetrek van dié van die deursnitte op hoogtes 1.05, 1.1, 1.15, 1.2, 1.25 en 1.3. 'n Eier se polariteit was minus een indien hierdie verskil minus een millimeter of minder was, nul indien dit tussen minus een en een millimeter was en een indien dit een millimeter of meer was. Hierdie indeling het drie min of meer ewe groot groepe eiers opgelewer. Eiers met polariteit minus een se buik was oorwegend nader aan die boonste pool as aan die onderste, eiers met polariteit een se buik was oorwegend nader aan die onderste pool as die boonste, terwyl eiers met polariteit nul se buike eweredig rondom die middelpunt van die poolas geleë was.

## Bepaling van modelle met beperkte aanvangsvoorspellers, verminder tot kleinste Akaike inligtingskriterium (ingekort tot "Beperk-Akaike")

Elke eier in die finale stel vir modelskepping met polariteit minus een is ingesluit in 'n veelvuldige lineêre regressie van die volume van die hele eier soos deur integrasie bereken as uitkomsveranderlike, en die afstand van die onderste pool tot die buik sowel as elke deursnit van dié op hoogte 0.2 tot dié op hoogte 1.3 en die berekende eivolume onder die deursnit op hoogte 1.3 as voorspeller veranderlikes. Die voorspeller veranderlikes in die aanvanklike stel is verminder totdat die kleinste Akaike se inligtingskriterium bereik is. Die afsnit en koëffisiënte van die voorspeller veranderlikes van hierdie finale stel is gestoor, sodat die volume van eiers in die latere fase van modeltoetsing, wanneer inligting bokant die deursnit op hoogte 1.3 nie beskikbaar is nie, daarmee geskat kon word. Hierdie proses is herhaal vir eiers met polariteit nul en daarna vir dié met polariteit een.

Die prosesse hierbo is herhaal vir die deursnit op hoogte 1.35, met die byvoeging van die deursnit op hoogte 1.35 tot die aanvanklike model en die vervanging van die berekende volume onder die deursnit op hoogte 1.3 met dié onder die deursnit op hoogte 1.35. Net so is die prosesse herhaal vir elke deursnit bo 1.35 tot die deursnit op hoogte 1.8.

Omdat slegs daardie berekende volume onderkant die hoogste deursnit van elke hoogte-met-polariteitkombinasie aanvanklik ingesluit is, voordat die voorspellers verminder is om die Akaike inligtingskriterium te minimeer, word na hierdie modelle verwys as die modelle met beperkte aanvangsvoorspellers, verminder tot kleinste Akaike inligtingskriterium, ingekort tot "Beperk-Akaike".

## Bepaling van modelle met volle aanvangsvoorspellers, verminder tot kleinste Akaike inligtingskriterium (ingekort tot "Vol-Akaike")

Die prosesse hierbo is herhaal vir elke hoogte-met-polariteitkombinasie, met dié verskil dat nie slegs die berekende

volume onder die hoogste deursnit aanvanklik by die model ingesluit is nie, maar die berekende volume onder elke deursnit, van deursnit 1.0 tot die hoogste deursnit vir elke bepaalde hoogte-met-polariteitkombinasie. Net soos vir die Beperk-Akaike modelle, is die afstand van die onderste pool tot die deursnit op hoogte 1.0, sowel as elke deursnit, van dié op hoogte 0.2 tot die hoogste deursnit van elke bepaalde hoogte-met-polariteitkombinasie ook by die aanvanklike stel voorspellers ingesluit. Die voorspellers is daarna verminder totdat die kleinste Akaike inligtingskriterium bereik is. Hierdie modelle staan bekend as die modelle met volle aanvangsvoorspellers, verminder tot kleinste Akaike inligtingskriterium, ingekort tot "Vol-Akaike".

## Bepaling van modelle met behoud van die volledige stel aanvangsvoorspellers (ingekort tot "Vol")

Naas die Beperk-Akaike en Vol-Akaike modelle, is daar ook 'n volmodel vir elke hoogte-met-polariteitkombinasie bepaal. Die proses was dieselfde as dié wat hierbo vir Vol-Akaike beskryf is, behalwe dat die volle stel voorspellers in die model behou is. Hierdie modelle staan bekend as die volmodelle, ingekort tot "Vol".

## Regressie van geskatte eivolume op berekende eivolume

Ten einde die lineêre aard van die verband tussen die geskatte eivolume en die berekende eivolume te demonstreer is die voorspeller veranderlikes met hul koëffisiënte en afsnit, soos hierbo bepaal, gebruik om die volume van elk van die 167 eiers in die finale modelskeppingstel by elke hoogte te skat. Daarna is 'n regressie van hierdie geskatte volumes op die berekende eivolumes van dieselfde eiers by elke hoogte gedoen om die afsnit, koëffisiënt van die berekende eivolume met sy 95%-vertrouensinterval en die bepaaldheidskoëffisiënt te bepaal.

## Modeltoetsing

### Eiers in die toetsstel

Al die eiers wat nie by die 224 ingesluit is wat aanvanklik vir modelskepping oorweeg was nie, tot 'n maksimum van vyf per broeisels, is gekies vir modeltoetsing. So is 138 eiers uit 36 broeisels (vyf uit elk van 18 broeisels, vier uit elk van sewe, en een tot drie uit die oorblywende 11 broeisels) gekies om die modelle te toets.

### Beoordeling van die presisie van meting op die toetssteleiers en hul ongemaskerde beelde

Soos vir modelskepping is die lengtes van die poolas, ewenaar, en ewenaarwartlyne van toetssteleiers met die hand op papierfoto's en met die program op digitale foto's gemeet, terwyl hul volumes deur waterverplasing gemeet en deur integrasie met die program bereken is. Die programmetings en berekende volumes is as persentasies van die ooreenstemmende metings met die hand uitgedruk en d.m.v. 'n t-toets vergelyk met die persentasies vir die 224 eiers waaruit die finale stel vir modelskepping gekies is.

### Maskering van eierbeelde en meting op gemaskeerde eierbeelde

Vyftien persent van die cartesiese hoogte van elk van die 138 eierbeelde is, voordat dit in die virtuele raam geroteer is, op die voorbereide foto gemaskeer. Die posisie van die poolas is daarna bepaal soos beskryf vir modelskepping, maar deur slegs gebruik te maak van metings onderkant die maskeringslyn, sonder dat enige inligting bokant die maskeringslyn gebruik is. Met die posisie van die poolas bekend, is die buiklyn geïdentifiseer (mits dit nie bokant die maskeringslyn was nie). Daarna is die afstand van die onderste pool tot die buiklyn en elke dwarsdeursnit, soos onder modelskepping beskryf, onderkant die maskeringslyn met die program gemeet. Die volume van die eier onder die buikdeursnit en elke dwarsdeursnit daarbo tot die hoogste dwarsdeursnit onderkant die maskeringslyn is met vergelyking 1 bepaal (met die poolas-ooroordinaat van die betrokke deursnit).

Bogenoemde proses is vir elk van die 138 eiers herhaal, maar met 20%, 25% en 30% van die bokant van elke eier gemaskeer. Die 138 eiers het dus altesaam 552 gemaskeerde eierbeelde opgelewer. Slegs een drempelwaarde is vir die metings op die ongemaskeerde eierbeeld sowel as die beeld na elk van die vier maskeringspele gebruik.

### Bepaling van die bestek en polariteit van gemaskeerde eierbeelde

Die bestek van 'n gemaskeerde eierbeeld was die hoogte langs die poolas, gemeet van die onderste pool in die rigting van die boonste pool, tot die hoogste gemete dwarsdeursnit onder die maskeringslyn, uitgedruk as 'n fraksie van die afstand van die onderste pool tot die buiklyn. Die vier maskeringsbeelde van elke eier (behalwe ses; sien hieronder) het elk 'n ander bestek gehad, met verskillende hoeveelhede inligting waarmee die posisie van die poolas bepaal moes word, asook verskillende aantalle gemete dwarsdeursnitte en verskillende hoogste dwarsdeursnitte waaronder die volume bereken moes word. Twee van die vier gemaskeerde eierbeelde van elk van die ses eiers het dieselfde bestek gehad. Die mins-gemaskeerde beeld van elk van hierdie ses pare is uitgesluit van verdere data-analise. Slegs daardie gemaskeerde eierbeelde met 'n bestek van minstens 1.3 is gebruik vir modeltoetsing.

Die polariteit van elke gemaskeerde eierbeeld met 'n bestek van 1.3 of hoër is bereken soos beskryf vir die beelde van heel eiers wat gebruik is vir modelskepping.

### Beraming van eiervolumes deur toepassing van die geskepte modelle se regressieformules op gemaskeerde eierbeelde

Met die besteken polariteit van 'n eier in die toetsstel bekend, is die afsnit en koëffisiënte van die voorspeller veranderlikes in die Beperk-Akaike, Vol-Akaike en Vol modelle wat tydens modelskepping geïdentifiseer is by die hoogte gelyk aan die bestek van die toetssteleierbeeld, en vir eiers met

'n polariteit gelyk aan dié van die toetssteleier, gebruik om die volume van die hele toetssteleier te skat (geskatte eiervolume).

### Vergelyking van die presisie van volumeberaming met gemaskeerde eierbeelde van verskillende polariteit en bestek

Die ooreenstemming tussen die geskatte eiervolume en die berekende eiervolume is vir elke polariteit en bestek beskryf deur die konkordansiekoëffisiënt ( $r_k$ ) met sy  $z$ -getransformeerde 95%-vertrouensinterval (Lin, 1989). Volgens Lin sal  $r_k$  gelyk wees aan een slegs wanneer die presisie en akkuraatheid van die skatting volkome is; d.w.s. wanneer Pearson se korrelasiekoëffisiënt een is, die gemiddeldes van die geskatte volume en die berekende volume gelyk is, en hul standaardafwykings gelyk is. Met  $r_k = 1$  sal die punte wanneer die geskatte volume teen die gemete volume gestip word teen asse met gelyke skale op 'n reguit lyn deur die oorsprong en met 'n helling van  $45^\circ$  lê.

Die presisie van skatting is uitgedruk as die ooreenstemmingsperke volgens Bland en Altman (1986) en die relatiewe ooreenstemmingsperke, wat bereken is as die geskatte volume uitgedruk as 'n persentasie van die berekende volume van elke toetssteleier.

Slegs daardie model (Beperk-Akaike of Vol-Akaike of Vol) wat vir elke bestek-met-polariteitkombinasie die hoogste  $r_k$  en die kleinste interval tussen die boonste- en onderste relatiewe ooreenstemmingsperke opgelewer het word in die resultate verskaf.

Die wydte van die 95%-vertrouensinterval waarmee die volume van 'n eier uit die modeltoetsstel o.g.v. sy gemaskeerde eierbeeld voorspel kan word is bepaal (Steyn et al., 1998). Net so is die wydte van die 95%-vertrouensinterval bepaal waarmee die berekende volume van 'n toetssteleier, sowel as 'n eier uit óf die toetsstel óf die modelskepstel voorspel kan word deur toepassing van die formule vir 'n ellipsoïed. Wilcoxon se rangsomtoets is gebruik om die presisie waarmee die volumes wat d.m.v. die modelle op gemaskeerde eierbeelde geskat is en die ellipsoïede volumes onderskeidelik die berekende volumes van die eiers in die toetsstel beraam het te vergelyk.

Die analise is met STATA weergawe 14 (StataCorp, 4905 Lakeway Drive, College Station, Texas 77845 USA) en in Excel gedoen. Afrikaanse statistiekterme is verkry uit Steyn et al. (1998) en Steyn et al. (2009).

## Resultate

### Die presisie van meting

Tabel 1 toon die hoë mate van ooreenstemming tussen die 10 metings van die volume van elk van die twee bottels, met die maksimum wat die minimum met 0.4% en 0.24% oorskry.

Vier van die 224 eiers wat vir modelskepping oorweeg was en een wat vir modeltoetsing gebruik is se verplasingvolumes was ooglopend verkeerd. Elkeen van hulle se verplasingvolume is met dié van twee ander eiers met soortgelyke afmetings (10 kontrole-eiers) vergelyk en hulle het met 5.4% tot 13.4% (gemiddeld 9.4%, SD 3.1%) verskil. Hierdie vyf verkeerde verplasingvolumes het ook met 6.6% tot 13.2% (gemiddeld 9.4%, SD 2.7%) van hul onderskeie berekende volumes verskil, terwyl hul berekende volumes nou met die 10 kontrole-eiers se verplasingvolumes ooreengestem het (0.0% tot 2.9%, gemiddeld 1.6%, SD 0.9%). Hierdie verplasingvolumes is buite rekening gelaat in die vergelyking met die berekende volume. Die presisie van deursneë met die rekenaarprogram gemeet relatief tot dié wat met die hand op papierfoto's gemeet is, en die berekende eivolumes relatief tot die verplasingvolumes het nie verskil tussen eiers wat vir modelskepping oorweeg was en dié wat vir modeltoetsing gebruik is nie ( $p > 0.2$ ). Tabel 2 toon dat metings wat met die rekenaarprogram gedoen is gemiddeld met hoogstens 0.41% verskil het van die metings wat met die hand op papierfoto's gedoen is en dat enige rekenaar meting met 95% vertroue met hoogstens 1.27% van die ooreenstemmende meting met die hand verskil het.

Tabel 2 toon dat die berekende volume gemiddeld 1.49% hoër as die verplasingvolume was en dat die berekende volume van enige eier met 95% vertroue tussen 0.49% onder en 3.48% bo sy verplasingvolume was.

Die berekende volume was gemiddeld 1.46 ml hoër as die verplasingvolume (95% ooreenstemmingsperke -0.394 ml tot 3.32 ml). Slegs 15 van die 357 eiers (4%) se berekende volume was laer as die verplasingvolume.

Die bepaling van die berekende eivolume was hoogs herhaalbaar: Figuur 3 toon dat 'n tweede, onafhanklike analise

**TABEL 1:** Opsomming van 10 metings van die volume van elk van die twee bottels wat gebruik is om die volumes van Nylkrokodileiers mee te meet

	Bottel 1	Bottel 2
Minimum (ml)	535.20	540.80
Maksimum (ml)	537.36	542.08
Gemiddelde (ml)	535.96	541.22
Standaardafwyking (ml)	0.645	0.399
Koëffisiënt van variasie (%)	0.120	0.074
Maksimum as persentasie van minimum	100.40	100.24

**TABEL 2:** Berekende volume en mates met die rekenaarprogram gedoen, uitgedruk as persentasies van die verplasingvolume en mates met die hand op papierfoto's gemeet van die eiers wat vir modelskepping oorweeg was sowel as dié wat vir modeltoetsing gebruik is

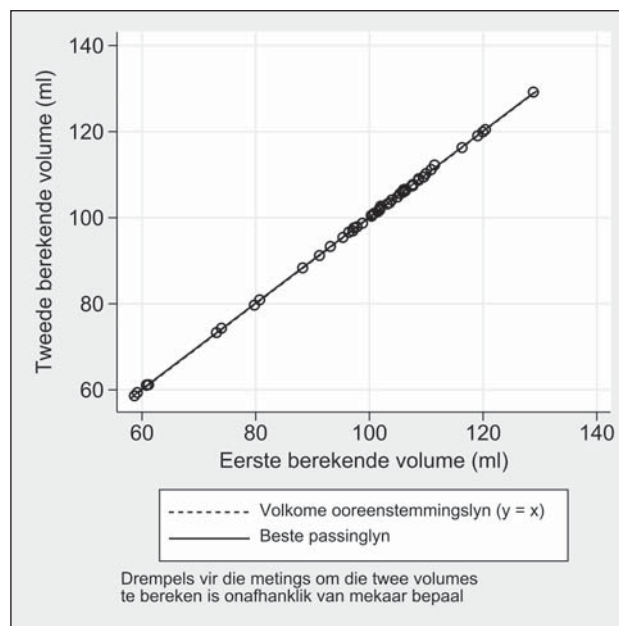
	Gemiddelde	Ondergrens <sup>a</sup>	Bogrens <sup>b</sup>	Aantal eiers
Eivolume	101.49	99.51	103.48	357
Pooldeursnit	99.97	99.36	100.59	362
Ewenaardeursnit	100.34	99.52	101.16	362
Onderste ewenaarkwartlyn	100.26	99.36	101.15	362
Boonste ewenaarkwartlyn	100.41	99.54	101.27	362

<sup>a</sup> 1.96 standaardafwykings onder die gemiddelde; <sup>b</sup> 1.96 standaardafwykings bo die gemiddelde

van elk van die 55 voorbereide foto's – maar met gebruik van 'n nuwe drempelwaarde wat onafhanklik van die eerste bepaal is – 'n berekende volume opgelewer het wat baie nou met die eerste ooreengestem het. Die konkordansiekorrelasiekoëffisiënt was 1.000 en die gemiddelde verskil tussen die eerste en tweede berekende volume van elke eier was -0.142 ml (95%-ooreenstemmingsperke -0.548 ml en 0.263 ml). Die tweede berekende volume was gemiddeld 0.15% hoër as die eerste en het met 95% vertroue tussen 0.27% onder en 0.57% bo die eerste geval.

Die regressievergelyking vir daardie model (Beperk-Akaike, Vol-Akaike of Vol) wat die berekende volumes van die eiers in die toetsstel vir elke bestek van 1.3 tot 1.8 gekombineer met elk van die drie polariteitvlakke met die grootste presisie geskat het verskyn in die aanvullende lêer genaamd "Regressievergelykings". Beide die voorspeller veranderlikes en hul koëffisiënte verskil vir elk van die drie polariteitvlakke by 'n bepaalde bestekwaarde, asook by verskillende bestekwaardes.

Die afsnitte naby nul en die hellings (koëffisiënte) naby een en die kleinheid van die hellings se 95%-vertrouensintervalle



**FIGUUR 3:** Nieu ooreenstemming tussen twee onafhanklike berekenings van die volume van elk van 55 Nylkrokodileiers deur integrasie van mates geneem deur 'n rekenaarprogram met die gebruik van 'n onafhanklik-bepaalde drempelwaarde vir elke stel metings op elke eierbeeld

in Tabel 3 toon dat die volumes, soos geskat met die regressievergelykings in die aanvullende lêer, nou ooreenstem met die berekende eivolumes. Alhoewel die 95%-vertrouensintervalle almal betreklik klein is in verhouding tot die hellings, was hulle ietwat wyer by laer hoogtes as by hoër hoogtes, bes moontlik omdat die volumes by laer hoogtes geskat is op minder inligting as dié by hoër hoogtes. Daardie regressievergelykings wat t.w.v. bondigheid nie in Tabel 3 vertoon word nie is soortgelyk aan dié wat wel vertoon word.

## Modeltoetsing

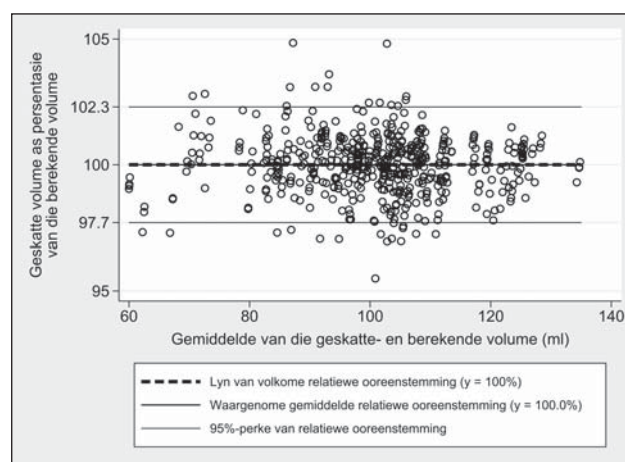
### Die effek van maskering op die inligting wat van 'n eier behoue bly

Die bestek van 22 van die 552 gemaskeerde eierbeelde was laer as 1.3 (twee na 25% maskering en 20 na 30%), die bestek van slegs 11 was 1.8 (nege na 15% maskering en twee na 20%) en dié van 48 was 1.7 (40 was 15% gemaskeer, ses 20% en twee 25%). Elkeen van die 138 eiers in die toetsstel het een of meer gemaskeerde beelde wat geskik was vir modeltoetsing bygedra.

### Die presisie en akkuraatheid van die skatting van eier-volume

Tabel 4 toon hoë  $r_k$ -waardes ( $\geq 0.95$ ) met nou 95%-vertrouensintervalle, wat hoë akkuraatheid en -presisie van volumeskatting bevestig. Die onderste ry van Tabel 4 toon dat, met 95% vertroue, die geskatte volumes hoogstens 2.26 ml hoër of 2.29 ml laer as die berekende volume was. Figuur 4 toon dat die geskatte volumes van eiers gemiddeld gelyk was aan 100% van hul onderskeie berekende volumes, terwyl 95% van die geskatte eivolumes binne 2.3% van hul onderskeie berekende volumes geval het.

Tabel 4 toon dat die ooreenstemmings- en relatiewe ooreenstemmingsgrense, sowel as die wydte van die intervale tussen hulle varieer tussen die onderskeie bestek-met-polariteitkombinasies. Die wydte van die intervale tussen die relatiewe ooreenstemmingsgrense van die onderskeie bestek-met-polariteitkombinasies neem af met toename in bestek (Spearman se rangkorrelasiekoëffisiënt 0.66,  $p < 0.001$ ,  $n = 28$ ). Figuur 5 toon die aantal bestek-met-polariteitkombinasies waarvoor die eiervolume binne die onderskeie peile van relatiewe ooreenstemming geskat kon word. Figuur 5 toon dat die modelle die volume van eiers vir vier van die 28 bestek-met-polariteitkombinasies binne twee tot drie persent van hul berekende volumes geskat het en dié van eiers in 20 kombinasies binne twee tot vyf persent. Vir eiers in vyf van die oorblywende agt kombinasies is die volume binne vyf tot ses persent van hul



**FIGUUR 4:** Die perke van relatiewe ooreenstemming tussen die eivolumes wat op grond van 524 gemaskeerde eierbeelde geskat is en die volumes wat deur integrasie bereken is uit metings op dieselfde eierbeelde voordat hulle gemaskeer is

**TABEL 3.** Regressievergelykings van die geskatte eiervolume (g.e.) op die berekende eiervolume (b.e.) by geselekteerde hoogtes bokant die onderste pool van die Nylkrokodileiers in die finale modelskeppingstel

Hoogte <sup>a</sup>	Polariteit <sup>b</sup>	Regressie van geskatte eierformule (g.e.) op berekende eiervolume (b.e.)	95%-vi. <sup>c</sup>	R <sup>2</sup>	n
1.3	-1	$g.e. = 0.767 \text{ ml} + 0.9923 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9671–1.0174	0.992	51
1.3	0	$g.e. = 0.624 \text{ ml} + 0.9938 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9728–1.0148	0.994	58
1.3	1	$g.e. = 0.642 \text{ ml} + 0.9938 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9727–1.0148	0.994	58
1.4	-1	$g.e. = 0.607 \text{ ml} + 0.9939 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9715–1.0163	0.994	51
1.4	0	$g.e. = 0.279 \text{ ml} + 0.9972 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9832–1.0113	0.997	58
1.4	1	$g.e. = 0.459 \text{ ml} + 0.9955 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9777–1.0134	0.996	58
1.5	-1	$g.e. = 0.503 \text{ ml} + 0.9949 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9745–1.0153	0.995	51
1.5	0	$g.e. = 0.206 \text{ ml} + 0.9980 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9859–1.0100	0.998	58
1.5	1	$g.e. = 0.290 \text{ ml} + 0.9972 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9830–1.0114	0.997	58
1.6	-1	$g.e. = 0.347 \text{ ml} + 0.9965 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9796–1.0135	0.997	51
1.6	0	$g.e. = 0.209 \text{ ml} + 0.9979 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9858–1.0100	0.998	58
1.6	1	$g.e. = 0.282 \text{ ml} + 0.9973 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9833–1.0113	0.997	58
1.7	-1	$g.e. = 0.017 \text{ ml} + 0.9998 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9961–1.0036	1.000	51
1.7	0	$g.e. = 0.244 \text{ ml} + 0.9976 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9844–1.0107	0.998	58
1.7	1	$g.e. = 0.237 \text{ ml} + 0.9977 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9848–1.0105	0.998	58
1.8	-1	$g.e. = 0.126 \text{ ml} + 0.9987 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9885–1.0090	0.999	51
1.8	0	$g.e. = 0.062 \text{ ml} + 0.9994 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9928–1.0060	0.999	58
1.8	1	$g.e. = 0.061 \text{ ml} + 0.9994 \times b.e. \text{ (ml)}$	0.9929–1.0059	0.999	58

<sup>a</sup> Die afstand van die onderste pool in die rigting van die boonste, as 'n fraksie van die afstand van die onderste pool tot die buik.

<sup>b</sup> Minus een indien die verskil tussen die som van die lengtes van ses eweredig-gespasieerde dwarsnitte van 'n eier op hoogtes 1.05 tot 1.3 en dié van ses eweredig-gespasieerde dwarsnitte op hoogtes 0.7 tot 0.95 -1 mm of minder was, een indien die verskil 1 mm of meer was en nul indien die verskil tussen -1 mm en 1 mm was.

<sup>c</sup> Die 95%-vertrouensinterval van die koëffisiënt.



**TABEL 4:** Maatstawwe van ooreenstemming tussen die geskatte volumes van Nykrokodilleiers en hul volumes soos met integrasie bereken

Scope	Polarity	$r_c^a$	Konkordansiekorrelasie		Ooreenstemming (ml)		Relatiewe ooreenstemming (%)		n	Model
			95% CI <sup>b</sup>	$r_c^b$	$\bar{d} - 1.96s_p$	$\bar{d} + 1.96s_p^d$	$\bar{p} - 1.96s_p$	$\bar{p} + 1.96s_p^f$		
1.3	-1	0.992	0.978-0.997	0.346	-2.277, 2.968 (5.245)	100.3	97.8, 102.9 (5.1)	18	Beperk-Akaike	
1.3	0	0.995	0.986-0.998	0.171	-2.531, 2.873 (5.404)	100.3	97.2, 103.4 (6.2)	16	Beperk-Akaike	
1.3	1	0.998	0.992-0.999	-0.108	-2.270, 2.055 (4.325)	100.0	97.7, 102.3 (4.6)	11	Beperk-Akaike	
1.35	-1	0.995	0.984-0.998	0.541	-1.909, 2.991 (4.900)	100.5	98.0, 103.1 (5.1)	13	Beperk-Akaike	
1.35	0	0.996	0.991-0.998	-0.387	-1.889, 2.662 (4.551)	100.4	98.0, 102.8 (4.8)	24	Vol-Akaike	
1.35	1	0.989	0.969-0.996	-0.064	-3.562, 3.435 (6.997)	100.0	96.6, 103.4 (6.8)	17	Beperk-Akaike	
1.4	-1	0.994	0.986-0.997	-0.525	-2.828, 1.778 (4.606)	99.5	97.5, 101.6 (4.2)	20	Vol-Akaike	
1.4	0	0.996	0.992-0.998	-0.610	-2.148, 2.025 (4.173)	100.0	97.7, 102.2 (4.5)	25	Beperk-Akaike	
1.4	1	0.998	0.996-0.999	-0.130	-2.164, 1.905 (4.069)	99.8	97.6, 102.0 (4.4)	28	Beperk-Akaike	
1.45	-1	0.996	0.987-0.999	0.715	-1.611, 3.040 (4.651)	100.7	98.1, 103.3 (5.2)	14	Vol-Akaike	
1.45	0	0.996	0.990-0.998	-0.271	-2.360, 1.817 (4.177)	99.8	97.7, 101.8 (4.1)	26	Beperk-Akaike	
1.45	1	0.996	0.990-0.998	-0.034	-2.518, 2.449 (4.967)	100.0	97.5, 102.6 (5.1)	21	Beperk-Akaike	
1.5	-1	0.991	0.977-0.997	-0.286	-3.076, 2.504 (5.580)	99.7	97.1, 102.4 (5.3)	18	Vol-Akaike	
1.5	0	0.999	0.997-0.999	0.053	-1.422, 1.529 (2.951)	100.1	98.6, 101.6 (3.0)	26	Beperk-Akaike	
1.5	1	0.998	0.996-0.999	0.067	-1.914, 2.048 (3.962)	100.0	98.1, 101.9 (3.8)	27	Vol-Akaike	
1.55	-1	0.983	0.951-0.994	1.302	-1.861, 4.465 (6.330)	101.4	98.0, 104.8 (6.8)	11	Beperk-Akaike	
1.55	0	0.995	0.988-0.998	-0.210	-2.536, 2.116 (4.652)	99.8	97.4, 102.2 (4.8)	22	Beperk-Akaike	
1.55	1	0.996	0.991-0.998	-0.231	-2.347, 1.886 (4.233)	99.8	97.8, 101.8 (4.0)	22	Beperk-Akaike	
1.6	-1	0.995	0.988-0.998	0.129	-1.965, 2.223 (4.188)	100.2	98.1, 102.2 (4.1)	17	Beperk-Akaike	
1.6	0	0.999	0.998-1.000	0.200	-0.961, 1.361 (2.322)	100.2	99.1, 101.4 (2.3)	28	Beperk-Akaike	
1.6	1	0.997	0.995-0.999	-0.207	-2.549, 2.136 (4.685)	99.8	97.4, 102.1 (4.7)	31	Beperk-Akaike	
1.65	-1	0.992	0.963-0.998	-0.442	-1.457, 2.302 (3.759)	100.4	98.7, 102.2 (3.5)	4	Beperk-Akaike	
1.65	0	0.990	0.968-0.997	0.144	-1.908, 2.197 (4.105)	100.2	98.1, 102.2 (4.1)	12	Beperk-Akaike	
1.65	1	0.997	0.993-0.999	0.123	-1.609, 1.854 (3.463)	100.1	98.5, 101.7 (3.2)	17	Beperk-Akaike	
1.7	-1	0.981	0.751-0.999	-1.408	-2.993, 0.177 (3.170)	98.7	97.0, 100.4 (3.4)	3	Vol	
1.7	0	0.998	0.994-0.999	-0.617	-1.784, 0.550 (2.334)	99.4	98.3, 100.5 (2.2)	14	Beperk-Akaike	
1.7	1	0.997	0.994-0.999	-0.208	-2.430, 2.015 (4.445)	99.8	97.7, 101.9 (4.2)	30	Vol-Akaike	
1.8	-1							0		
1.8	0							1		
1.8	1	0.958	0.840-0.990	-0.844	-2.188, 0.499 (2.687)	99.2	97.9, 100.5 (2.6)	8	Vol-Akaike	
Alle skattings van eivolume soos deur integrasie bereken										
		0.996	0.996-0.997	-0.013	-2.287, 2.261 (4.548)	100.0	97.7, 102.3 (4.6)	524		

<sup>a</sup> Konkordansiekorrelasiekoeffisiënt; <sup>b</sup> 95%-vertrouensinterval vir  $r_k$ ; <sup>c</sup> Gemiddelde verskil tussen geskatte volume en berekende volume; <sup>d</sup> 95%-grense van ooreenstemming (1.96 standaardafwykings onder en bo die gemiddelde) volgens Bland en Altman (1986), gevolg deur die wydte van die interval tussen hakies; <sup>e</sup> Gemiddelde van die geskatte volume as persentasie van die berekende volume; <sup>f</sup> 95%-grense van die relatiewe ooreenstemming (1.96 standaardafwykings onder en bo die gemiddelde) gevolg deur die wydte van die interval tussen hakies.

berekende volume geskat en vir eiers in die oorblywende drie binne ses tot sewe persent.

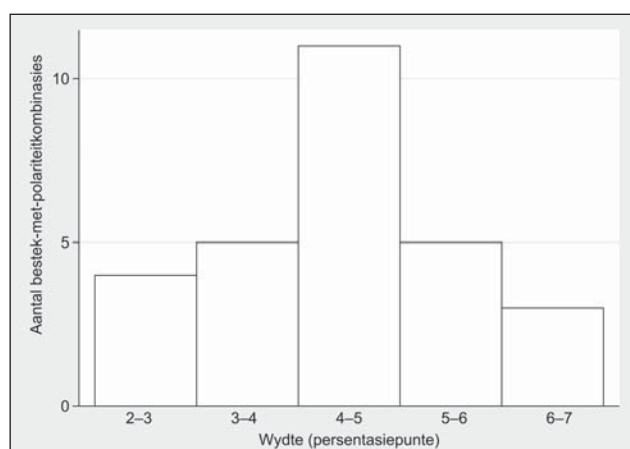
### Die vooruitberaming van 'n eier se volume uit sy geskatte- of ellipsoïede volume

Die hoogte van die 95%-vooruitberamingstrook op Figuur 6 is gemiddeld 4.57 ml (varieer van 4.57 tot 4.61 ml). Gegewe hierdie klein variasie sal 'n geskatte volume tussen 60 ml en 135 ml die eier se berekende volume met 95% vertroue binne 4.57 ml voorspel.

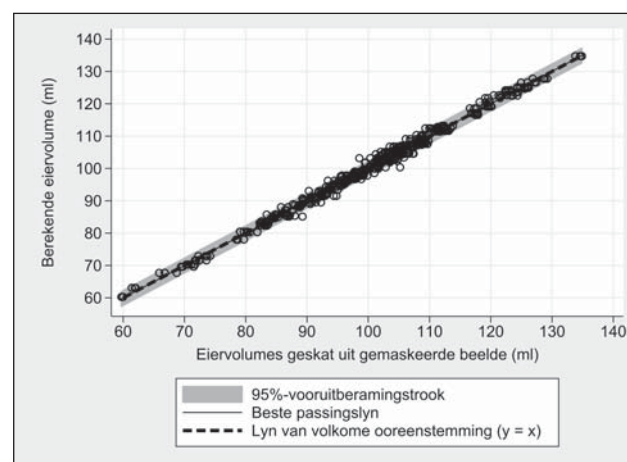
Die ellipsoïede volume van 'n eier uit die toetsstel het sy berekende volume met 95% vertroue binne 7.01 ml (variërend van 6.99 tot 7.20 ml,  $n = 138$ ) voorspel en dié van

'n eier uit die modelskepstel óf die modeltoetsstel binne 7.02 ml (7.01–7.09 ml,  $n = 357$ ).

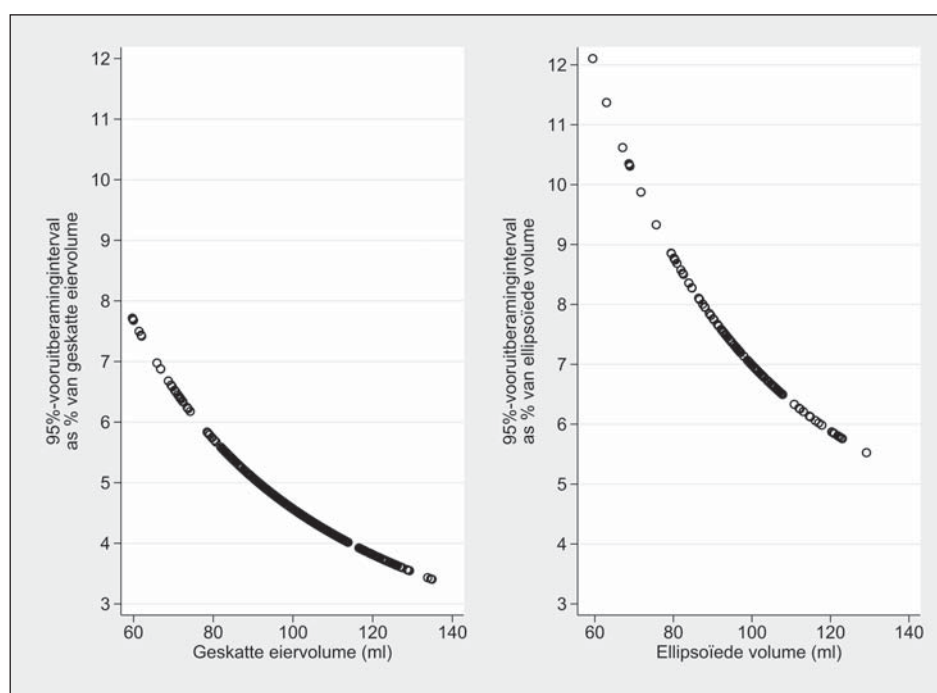
Die hoogte van die 95%-vooruitberamingsinterval vir 'n individuele eier het slegs geringe variasie getoon oor die reikwydte van geskatte eivolumes wat d.m.v. modelle uit metings op gemaskeerde eierbeelde bepaal is, of deur die formule vir 'n ellipsoïed toe te pas op metings op ongemaskeerde eierbeelde. Tóg het die wydte van die vooruitberamingsinterval, uitgedruk as 'n persentasie van die geskatte eivolume, afgeneem met 'n toename in geskatte eivolume (Figuur 7). In ooreenstemming met die linkergrafiek (Figuur 7) voorspel die kleinste geskatte



**FIGUUR 5:** Die aantal bestek-met-polariteitkombinasies waarmee eivolume binne die onderskeie peile van relatiewe ooreenstemming geskat kon word



**FIGUUR 6:** Die volumes van 138 Nylkrokodileiers bereken deur integrasie van metings op 'n beeld van elk teen 1–4 volumes van elk wat geskat is uit dieselfde eierbeelde nadat hulle tot verskillende mates gemaskeer is (524 gemaskeerde beelde in totaal)



**FIGUUR 7:** Die presisie waarmee die volume van 'n individuele Nylkrokodileier vooruit beraam word, getoon as die wydte van die 95%-interval vir die beraming, uitgedruk as 'n persentasie van die geskatte eivolume. Eivolume is geskat deur 'n model op 524 gemaskeerde beelde van 138 eiers te gebruik (links) en as die volume van 'n ellipsoïed wat bereken is uit metings op 'n ongemaskeerde beeld van elk van dieselfde 138 eiers (regs).

eiervolume in die toetsstel (59.7 ml) die ooreenstemmende eier se berekende volume met 'n 95% vertroue binne 7.72%, terwyl die grootste geskatte eiervolume (134.9 ml) dit binne 3.40% voorspel. Die ellipsoïede volumes wat bereken is uit metings op 'n ongemaskeerde beeld van elk van die 138 eiers in die toetsstel voorspel die berekende volumes minder presies as die volumes wat deur gebruik van modelle op die 524 gemaskeerde beelde van dieselfde 138 eiers geskat is ( $P < 0.001$ ).

## Bespreking

Die modelle in hierdie studie het die volume van Nylkrokodileiers uit metings op gemaskeerde beelde van die eiers met 'n bestek van minstens 1.3 (eiers waarvan minstens 1.3 maal die afstand van die onderste pool tot die buik, in die rigting van die boonste pool behoue gebly het) met 'n 95% peil van vertroue met 2.3% of minder onderskat of oorskat. Die studie toon dat, oor die reikwydte van eiervolumes wat in hierdie studie gebruik is (60–135 ml), die volume van enige enkele eier met 'n 95% peil van vertroue binne 4.57 ml voorspel kan word. 'n Geskatte volume van 60 ml sal die volume van die eier met 95% vertroue binne 7.7% van sy werklike volume voorspel, en hierdie presisie verbeter met 'n toename in geskatte volume tot binne 3.4% vir 'n eier met 'n geskatte volume van 135 ml. Die modelle in hierdie studie maak dit dus moontlik om groter variasie as 7.7% in geboortemassa van broeilinge uit eiers met geskatte volumes van 60 ml te identifiseer. Hierdie vlak van identifiseerbare variasie neem af met toename in geskatte eiervolume tot 3.4% vir broeilinge uit eiers met geskatte volumes van 135 ml. Variasie in geboortemassa wat hierdie vlakke oorskry sou dui op die bestaan van faktore wat die verhouding tussen broeilingmassa en eiervolume beïnvloed, wat dan ondersoek mag word.

Afgesien daarvan dat nóg die ewenaardeursnit nóg die poolaslengte (of die afstand van die intakte pool tot die ewenaar) in gemaskeerde eierbeelde en uitgebreide eierdoppe bepaal kan word, toon hierdie studie dat die modelle die volume van gemaskeerde eierbeelde (en gevolglik uitgebreide eierdoppe) meer presies voorspel as die ellipsoïede volume.

Die studie toon dat die presisie waarmee die eiervolume geskat kan word varieer tussen bestek-met-polariteitkombinasies, met presisie wat toeneem met 'n toename in bestek. Hierdie toename in presisie is waarskynlik aan verskeie faktore te wyte. Eerstens neem die hoeveelheid inligting waarop die program die posisie van die poolas skat toe met bestek. Tweedens neem die aantal dwarsdeursnitte wat in die model ingesluit kan word toe met bestek. Derdens neem die aantal berekende volumes onder verskeie hoogtes bo die buikdeursnit wat by die volmodelle en die Vol-Akaikemodelle ingesluit kon word toe met bestek. Laastens is die berekening van die volume onder die hoogste dwarsdeursnit binne die bestek, wat by alle modelle ingesluit is, gebaseer op 'n groter fraksie van die totale eiervolume.

Alhoewel elke eierbeeld in die toetsstel tot die selfde mates gemaskeer is het dit gelei tot 'n groot variasie in die aantal gemaskeerde eierbeelde in elke bestek-met-polariteitkombinasie. Die mate waartoe die frekwensie van eierbeelde in die onderskeie bestek-met-polariteitkombinasies in die toetsstel dié van uitgebreide eiers verteenwoordig is onbekend.

In hierdie studie is die berekende eiervolume gebruik en nie die verplasingvolume nie. Die berekende volume van 96% van eiers was gemiddeld 1.49% hoër as hul verplasingvolume, met 95% van al die verskille wat tussen 0.49% laer en 3.48% hoër was. Die herhaalde metings van die verplasingvolume van twee bottels het, soos die herhaalde berekening van die volume van 55 eiers, in 'n geringe mate verskil. Die gemiddelde verskil tussen die meting van eiers se volumes deur waterverplasing en hul berekende volumes, asook die variasie in grootte van hierdie verskille tussen eiers was veel groter as die verskille tussen herhaalde metings van die bottels se volumes en die herhaalde berekenings van 55 eiers se volume. Verder het die mates van eiers wat die rekenaarprogram gemeet het nou ooreengestem met dié wat met die hand op foto's op papier gemeet is, wat aandui dat die mates waarop die rekenaar die berekening van eiervolume deur integrasie gebaseer het, presies en betroubaar is. Die meting van eiervolume deur waterverplasing kon dus foutiewe resultate oplewer, wat tot die verskil tussen die verplasingvolume en die berekende volume en die variasie in grootte van hierdie verskil kon lei. Een moontlike meganisme wat tot foutiewe verplasingvolumes kon lei is dat die poreuse eierdop (Ferguson, 1982; Grigg, 1986), en moontlik nog lugspasies onder die dop ook (Manolis et al., 1986), met water geïmpregneer kon raak terwyl die bottel met die eier daarin met water gevul is om die verplasingvolume te meet. Dit sou die indruk wek dat 'n groter volume water benodig was om die ruimte rondom die eier te vul as wat werklik die geval was, wat weer sou lei tot 'n vals lae verplasingvolume.

Die berekening van die eiervolume deur integrasie berus op die aanname dat alle dwarsnitte deur elke eier sirkulêr is. Indien 'n eier nie sirkulêr in dwarsnit is nie, sal sy berekende volume foutief wees. Dit is onwaarskynlik dat die algemene waarneming dat die berekende eiervolume groter was as die verplasingvolume te wyte is aan eiers wat nie sirkelvormig in dwarsnit was nie, omdat dit foto's sou vereis wat geneem is met die grootste dwarsdeursnee van sulke eiers nader aan loodreg op die kamera se optiese as parallel daaraan.

Ons het gepoog het om die eiers regop te plaas vir fotografie. Dog was die eiers meesal gekantel. Die program het vir die kanteling van 'n eier na links of na regs gekorrigeer. Eiers kon ook ietwat vooroor, met die boonste pool na die kamera, of agteroor geleun het vir fotografie. Die program het nie vir sulke oorleuning gekorrigeer nie. Hoe meer 'n

eier vooroor of agteroor geleun het, hoe minder slank en hoe meer sirkulêr sou die eierbeeld voorkom, en dit kon die berekende volume beïnvloed. Dit is onwaarskynlik dat die vooroorleun of agteroorleun van eiers op foto's die berekende volume die verplasingvolume sou laat oorskry, omdat oorleuning nie die eier se buikdeursnit sou verander nie, maar die oënskynlike lengte van die poolas sou verklein, wat 'n vals lae berekende volume sou meebring.

Elke bestek-met-polariteitkombinasie het 'n unieke model vereis om eivolume so presies moontlik te skat. In hierdie studie is geen poging aangewend om te besluit watter pool van 'n eier bo en watter onder moes wees vir fotografie nie. So 'n poging om die eierpole te oriënteer kon die eier se polariteit beïnvloed. Aangesien dit onbekend is of uitbroeiing by 'n spesifieke pool relatief tot die asimmetrie van 'n eier geskied was enige poging tot oriëntering van die pole in hierdie studie teenaangedui.

Hierdie studie mag nuttig wees vir studies in die natuurbewaringsopset indien die doppe van Nylkrokodileiers heel genoeg uit nese in die natuur versamel kan word nadat hulle uitgebroei het.

## Slotsom

Hierdie studie maak dit moontlik om die volume van Nylkrokodileiers met 95% vertroue binne 7.7% van hul werklike volume te skat met geskatte volumes van 60 ml, wat afneem tot 3.4% vir eiers met geskatte volumes van 135 ml. Die studie maak dit moontlik om die verband tussen eivolume en broeiingmassa op die vlak van individuele eiers met hul broeiing te bestudeer.

## Outeursbydrae

JGM en JON het die eiers gefotografeer. JAN het die rekenaarprogram geskryf en JON touwys gemaak in die gebruik daarvan. JAN en JON het die foto's voorberei vir meting met die rekenaarprogram en die berekende volumes bepaal. JON het die volumes van die eiers deur waterverplasing gemeet, die mates van eiers op foto's op papier geneem en die data-analise gedoen. JON het die manuskrip in Afrikaans geskryf en daarna in Engels vertaal.

## Bedankings

Die outeurs bedank die personeel van Le Croc Landgoed vir die geleentheid om materiaal en data te versamel. Ons dank ook aan die Navorsingstigting (National Research Foundation), omdat die aansporingsfonds vir gegradeerde

navorsers wat hulle aan JON toegeken het, die studie deels befonds het. Dank ook aan verskeie assistente wat op verskillende tye gehelp het met data-insameling. Ons bedank die beoordelaars van hierdie artikel.

## Verwysings

- Bland JM, Altman DG, 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307-310.
- Brien ML, Webb GJ, McGuinness K, Christian KA, 2014. The relationship between early growth and survival of hatchling saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*) in captivity. *Plos One* 9 (6):e100276.
- Deitz DC, Hines TC, 1980. Alligator nesting in North-Central Florida. *Copeia* 2, 249-258.
- Ferguson, MWJ, 1982. The structure and composition of the eggshell and embryonic membranes of *Alligator mississippiensis*. *Transactions of the Zoological Society of London* 36, 99-152.
- Garneti ST, Murray, RM, 1986. Parameters affecting the growth of the estuarine crocodile, *Crocodylus porosus*, in captivity. *Australian Journal of Zoology* 34, 211-223.
- Grigg, GC, 1986. *Water relations of crocodilian eggs: Management considerations in:* Webb, G., Manolis, S., Whitehead, P. (Ed.), *Wildlife management crocodiles and alligators*. Surrey Beatty & Sons Pty Ltd, Chipping Norton, NSW, Australia, pp. 499-502.
- Huchzermeyer FW, 2003. *Crocodiles biology, husbandry and diseases*. CABI Publishing, Cambridge, MA, USA.
- Hutton, JM, 1987. Incubation temperatures, sex ratios and sex determination in a population of Nile crocodiles (*Crocodylus niloticus*). *Journal of Zoology* 211, 143-155.
- Gómez-González JJ, Narváez-Barandica JC, Báez L, Patiño-Flórez E. 2017. Nesting ecology of *Crocodylus acutus* (Reptilia: Crocodylidae) in Bahía Portete, La Guajira, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 65, 211-228.
- Isberg SR, Thomson PC, Nicholas FW, Barker SG, Moran C. 2005. Quantitative analysis of production traits in saltwater crocodiles (*Crocodylus porosus*): II. Age at slaughter. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 122, 370-377.
- Lin LI, 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45, 255-268.
- Manolis SC, Webb GJW, Dempsey KE, 1986. *Crocodile egg chemistry in:* Webb G, Manolis S, Whitehead P. (Ed.), *Wildlife management crocodiles and alligators*. Surrey Beatty & Sons Pty Ltd, Chipping Norton, NSW, Australia, pp. 445-472.
- Marzola M, Russo J, Mateos O, 2015. Identification and comparison of modern and fossil crocodilian eggs and eggshell structures. *Historical Biology* 27, 115-133.
- Steyn AGW, Smit CF, Strasheim C. 1998. *Moderne statistiek vir die praktyk*, Sesde Uitgawe. JL van Schaick Uitgewers, Pretoria.
- Stoker C, Zayas MA, Ferreira MA, Durando M, Galoppo GH, Rodríguez HA, Repeti MR, Beldoménico HR, Caldini EG, Luque EH, Muñoz-de-Toro M. 2013. The eggshell features and clutch viability of the broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) are associated with the egg burden of organochlorine compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 98, 191-195.
- Webb GJW, Cooper-Preston H. 1989. Effects of incubation temperature on crocodiles and the evolution of reptilian oviparity. *American Zoologist* 29, 953-971.
- Whitehead PJ, 1987. *Respiration of Crocodylus johnstoni embryos in:* Webb G, Manolis S, Whitehead P. (Ed.) *Wildlife management crocodiles and alligators*. Surrey Beatty & Sons Pty Ltd, Chipping Norton, NSW, Australia, pp.473-498.
- Xia BS, Wu XB, Zhu JL, Zhu HX, Zhou YK2008. Estimation on volume and weight of the eggs of Chinese alligators (*Alligator sinensis*) and the effect on their hatching success. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica* 28, 3042-3048. (Abstract only).