

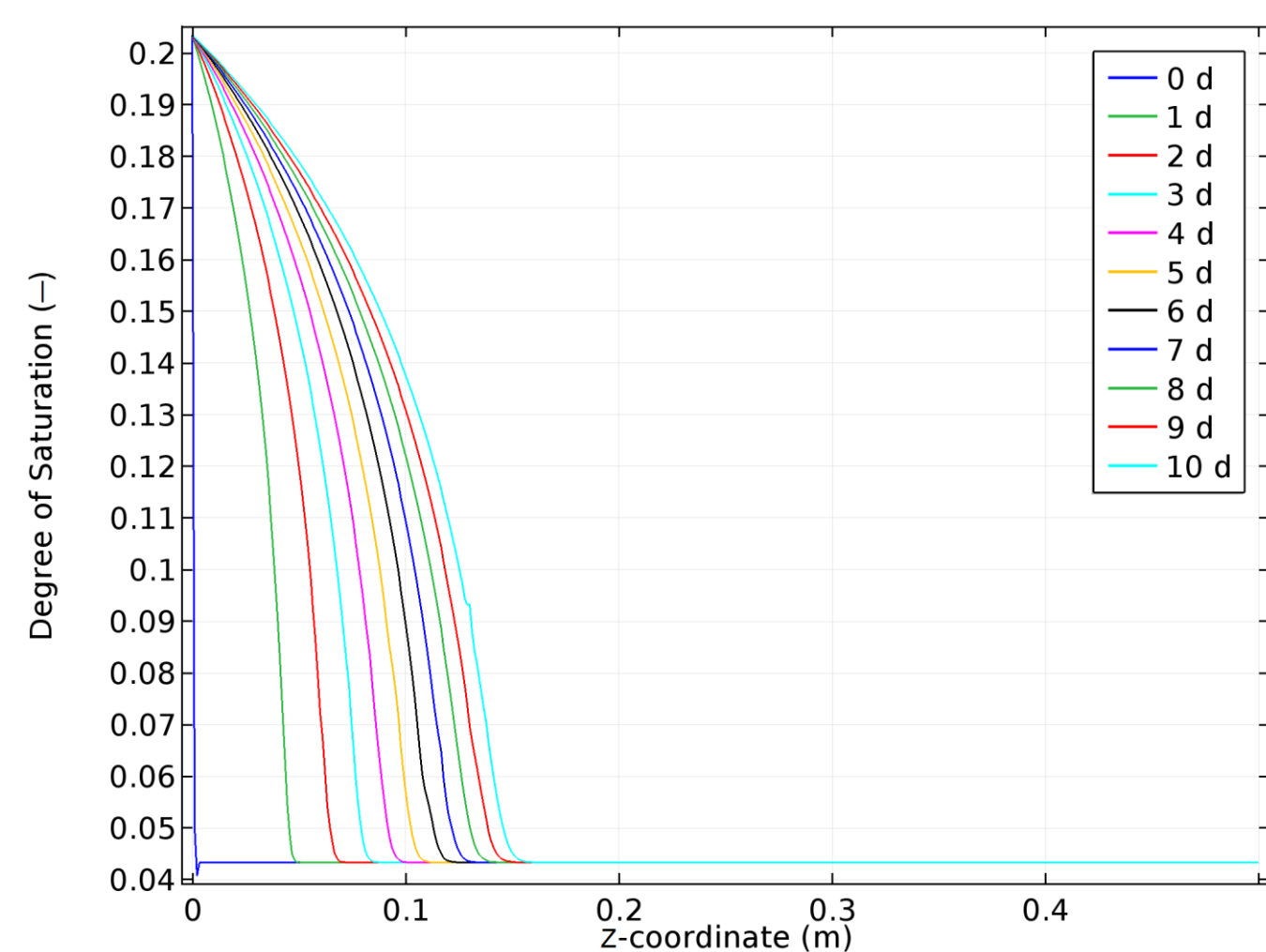
מודל חד-ממדי לתיאור זרימת המים,

תנועת המומסים ותכולת הרכיב המזהם בתת הקרקע של שמורת עברונה

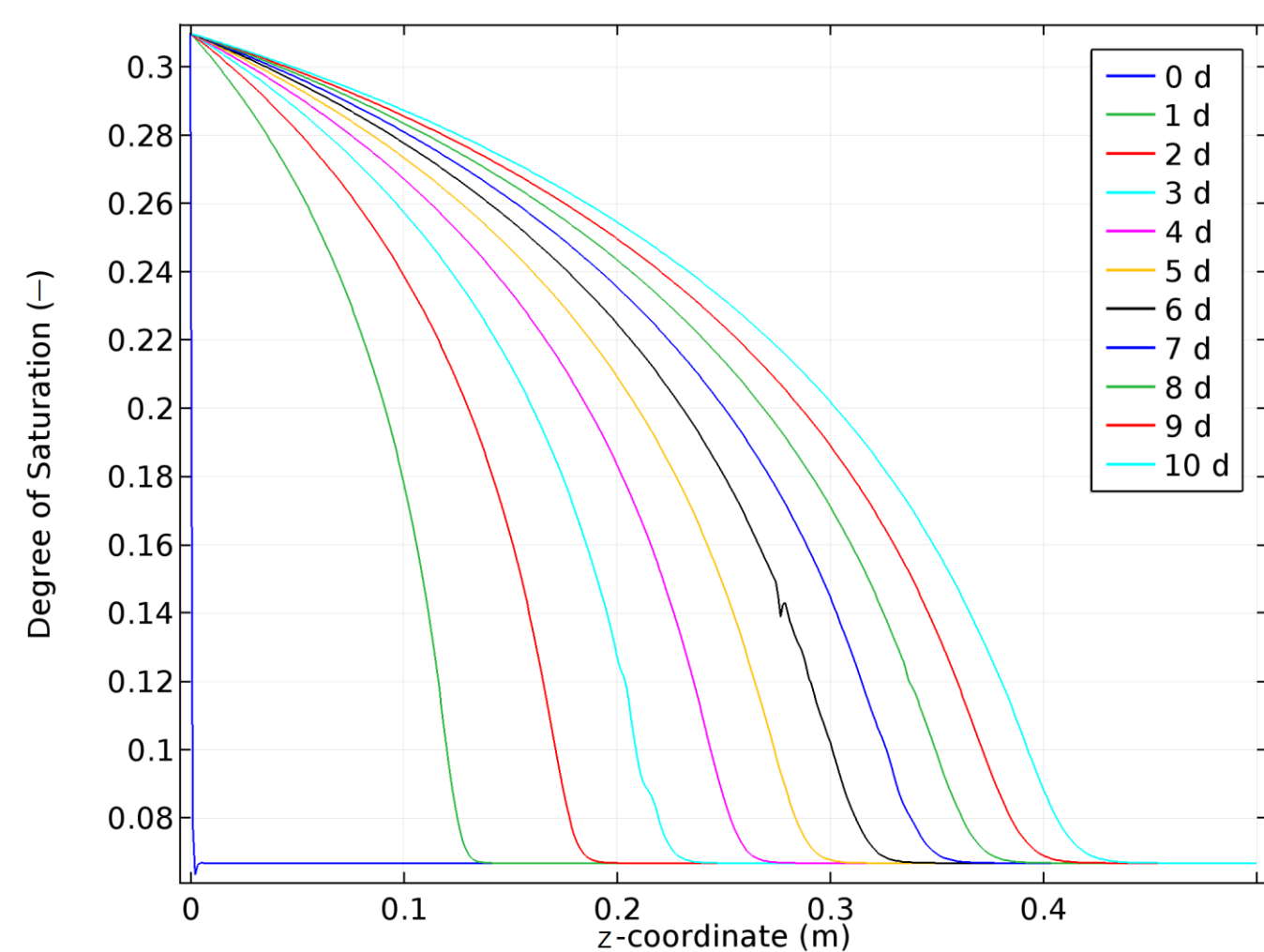
שגב דגן בהנחיית פרופ' אורי שביט

פתרונות למשוואת הזרימה

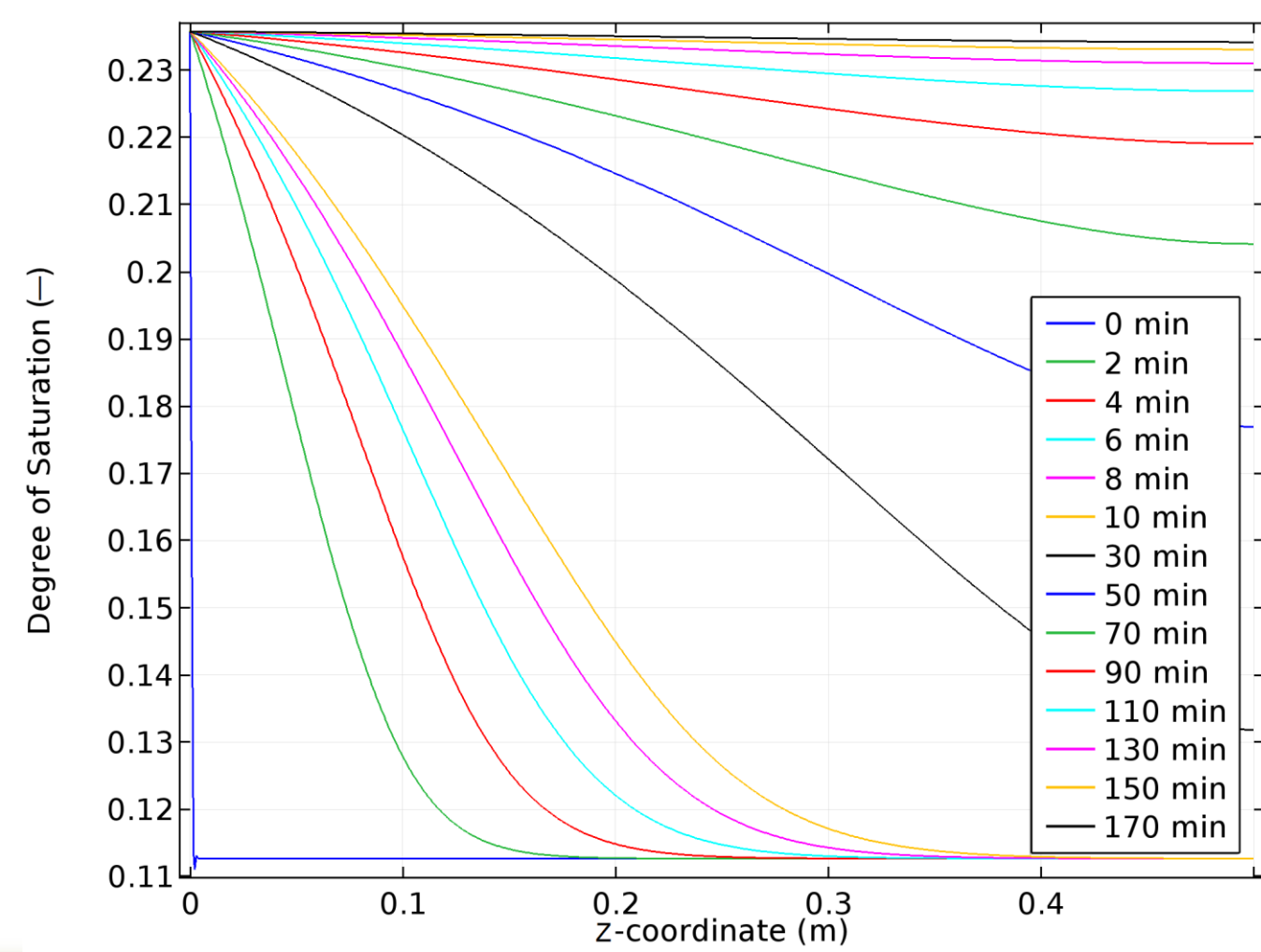
CA = 60°



CA = 0°



CA = 120°



זווית מגע קטנה מ-90°

תכולת הרטיבות קטנה עם העלייה בזווית המגע.

זווית מגע גדולה מ-90°

יש להפעיל לחץ כדי להכניס מים לקרקע. המוליכות ההידרולית הגבוהה מביאה לכך שמים שנכנסו לקרקע זורמים מהר מאד מטה.

מוטיבציה

פיתוח מודל מתמטי לתיאור תופעות המעבר בשמורת עברונה לשם לימוד ובחינה של המנגנונים העיקריים ששולטים בזרימת המים, בתנועת הדשן ובתהליך העיכול של זיהומי הנפט שבשמורה. המודל ישמש לתיאור התהליכים שמתרחשים בטיפול הביולוגי בתלות בדישון ובהשקיה תוך בחינת תרחישים שונים וניתוחי רגישות

תיאור, הנחות והפשטות

מודל חד-ממדי אנכי, תלוי זמן בחתך קרקע המורכב משכוב דומה לזה שנמצא בשמורה. השינויים שהתרחשו בתכונות הקרקע (עקום התאחיזה ומשוואת מקדם המוליכות) מתוארים על ידי המודל הקפילרי. ההנחה היא שאירוע הזיהום לא שינה את התפלגות הגודל וסידור הנקבובים ושהשינוי היחיד שיש לקחת בחשבון הוא העלייה בזווית המגע.



זרימת המים

משוואת ריצ'רדס החד-ממדית האנכית (ציר z בכיוון מטה)

השינוי בתכולת הרטיבות θ עם הזמן, שווה לשינוי השטפים במרחב.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \left(\frac{\partial h}{\partial z} - 1 \right) \right]$$

K - מוליכות הידרולית $[L^2 t^{-1}]$, h - עומד מטריצי $[L]$

הנחה: התעלמות מהאפשרות של זרימה בנתיבי זרימה מועדפים.

המודל הקפילרי - ייצוג המצע הנקבובי

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R} \cos(CA)$$

σ - מתח הפנים של המים $[Mt^{-2}]$, ρ - צפיפות המים $[ML^{-3}]$, g - תאוצת הכובד $[L^2 t^{-2}]$, R - רדיוס הקפילרה $[L]$, CA - זווית המגע $[deg]$

הנחה: זווית המגע מייצגת את השפעת המזהם בקרקע כך שעלייה בריכוז המזהם מביאה לעלייה (לא בהכרח ליניארית) בזווית המגע.

מוליכות הידרולית

במצב הידרופובי ($CA > 90^\circ$) סדר מילוי הקפילות מתהפך (הגדולות מתמלאות ראשונות) וצפויה עלייה מהירה במוליכות ההידרולית כבר בדרגת רוויה נמוכה מאד.

במצב הידרופילי ($CA < 90^\circ$)

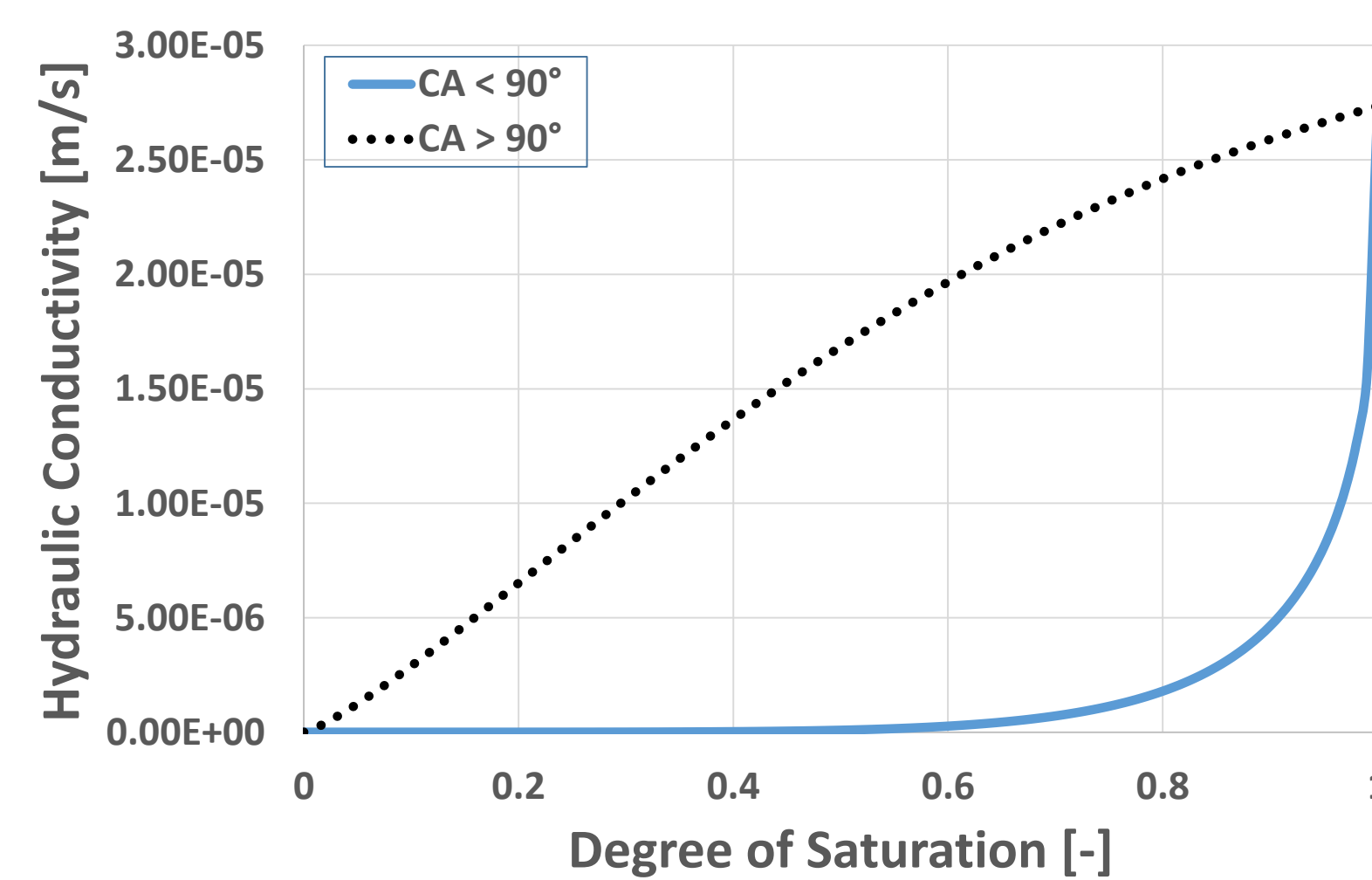
$$K = K_S(S)^{0.5} \left[1 - \left(1 - S \right)^{\frac{1}{m}} \right]^{2m}$$

Parker, 1989

במצב הידרופובי ($CA > 90^\circ$)

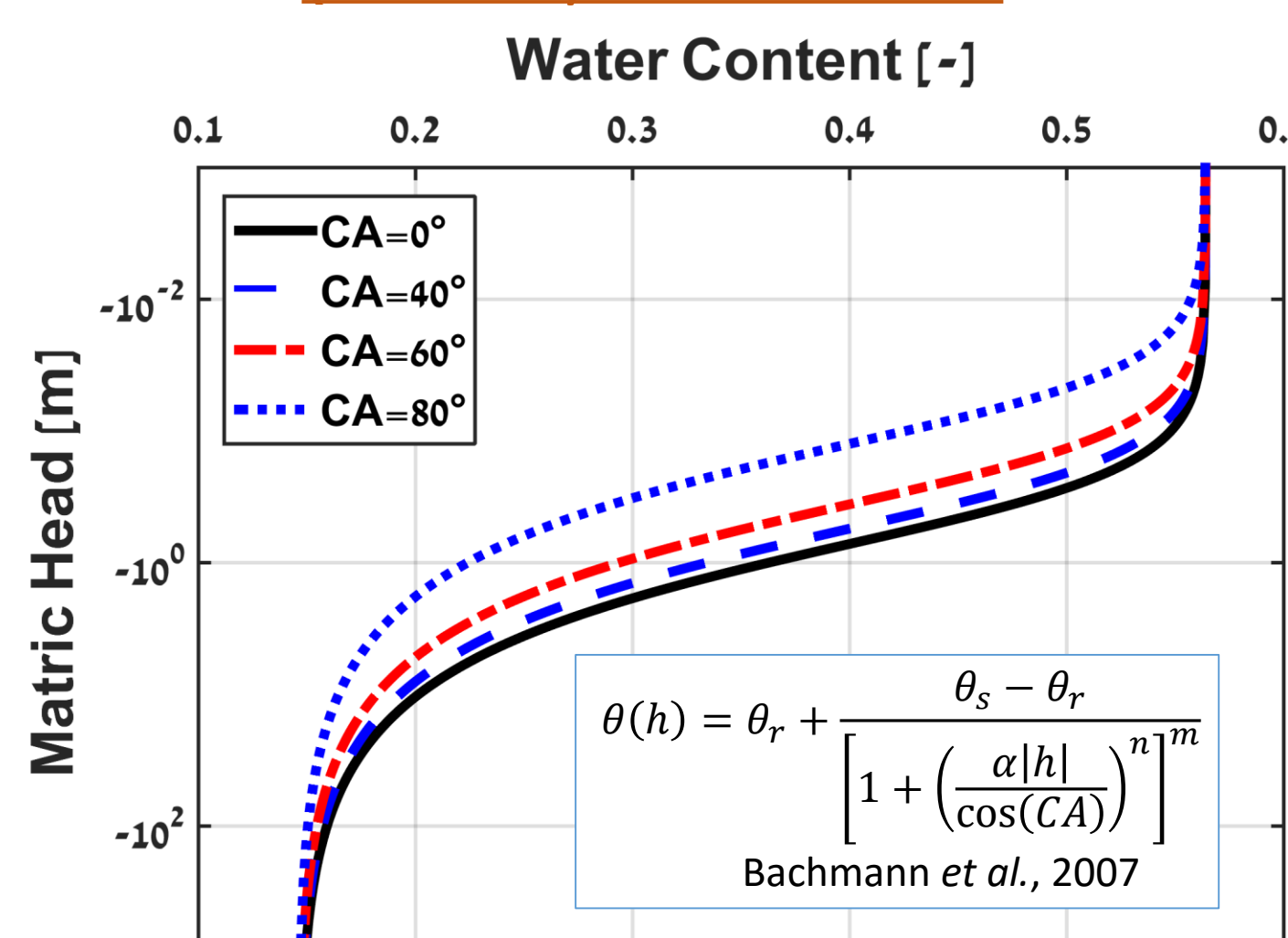
$$K = K_S(S)^{0.5} \left[1 - \left(1 - S \right)^{\frac{1}{m}} \right]^2$$

Mualem, 1976

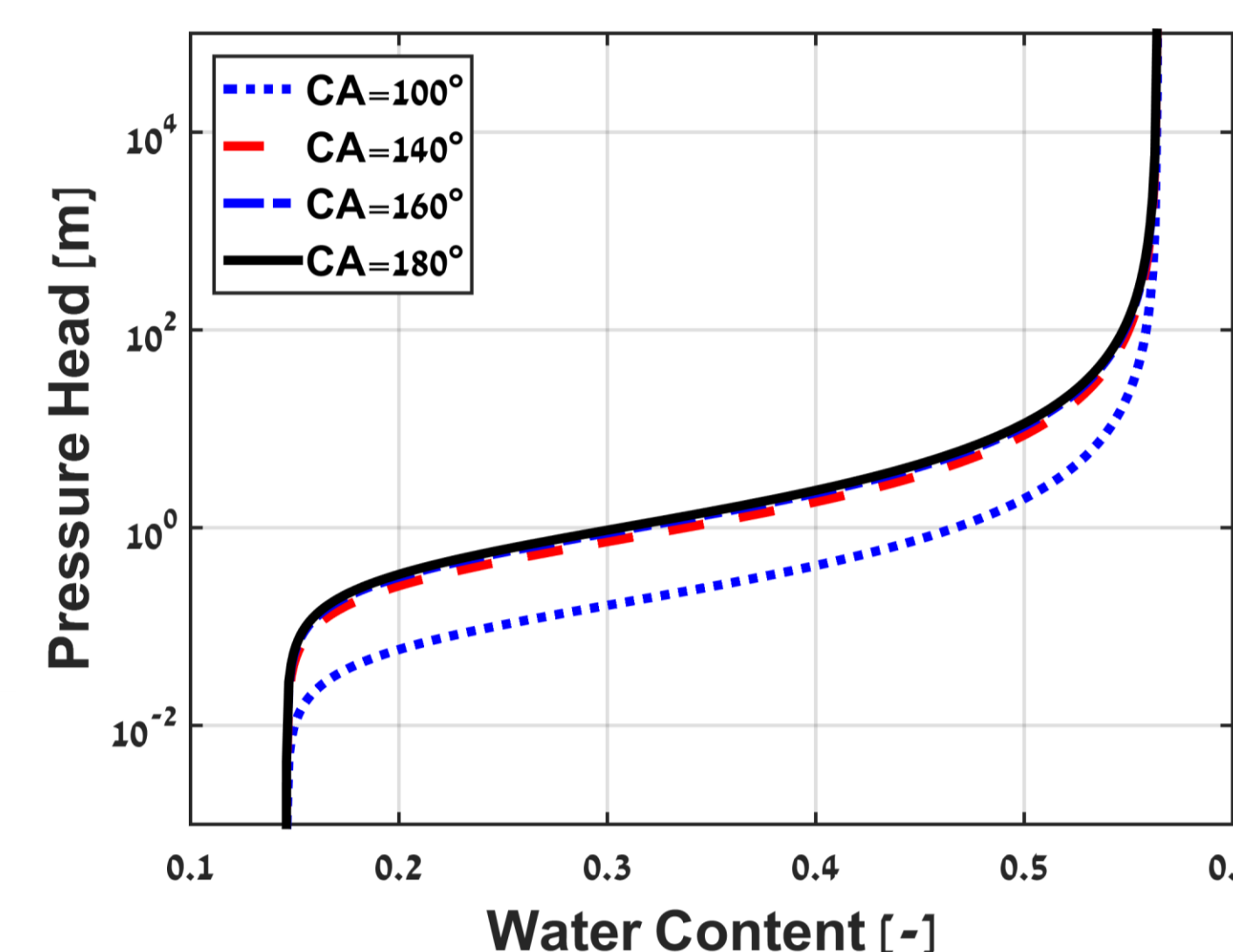


עקומי תאחיזה כתלות בזווית המגע

במצב הידרופילי ($CA < 90^\circ$)



במצב הידרופובי ($CA > 90^\circ$)



תנועת הדשן

משוואת הסעה-דיספרסיה (Advection-Dispersion Equation)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\theta C_N) = - \frac{\partial}{\partial z} \left(C_N q_z - D_{Dis} \frac{\partial C_N}{\partial z} \right) - r_N$$

C_N - ריכוז הנוטריינטים (דשן) בקרקע $[M]$, q_z - שטף ההסעה בכיוון z $[L^2 t^{-1}]$, D_{Dis} - מקדם הדיספרסיה $[L^2 t^{-1}]$, r_N - איבר בור $[M/t]$

הנחה: השטפים העיקריים הם שטף ההסעה ושטף הדיספרסיה ללא התחשבות בדיפוזיה מולקולרית.

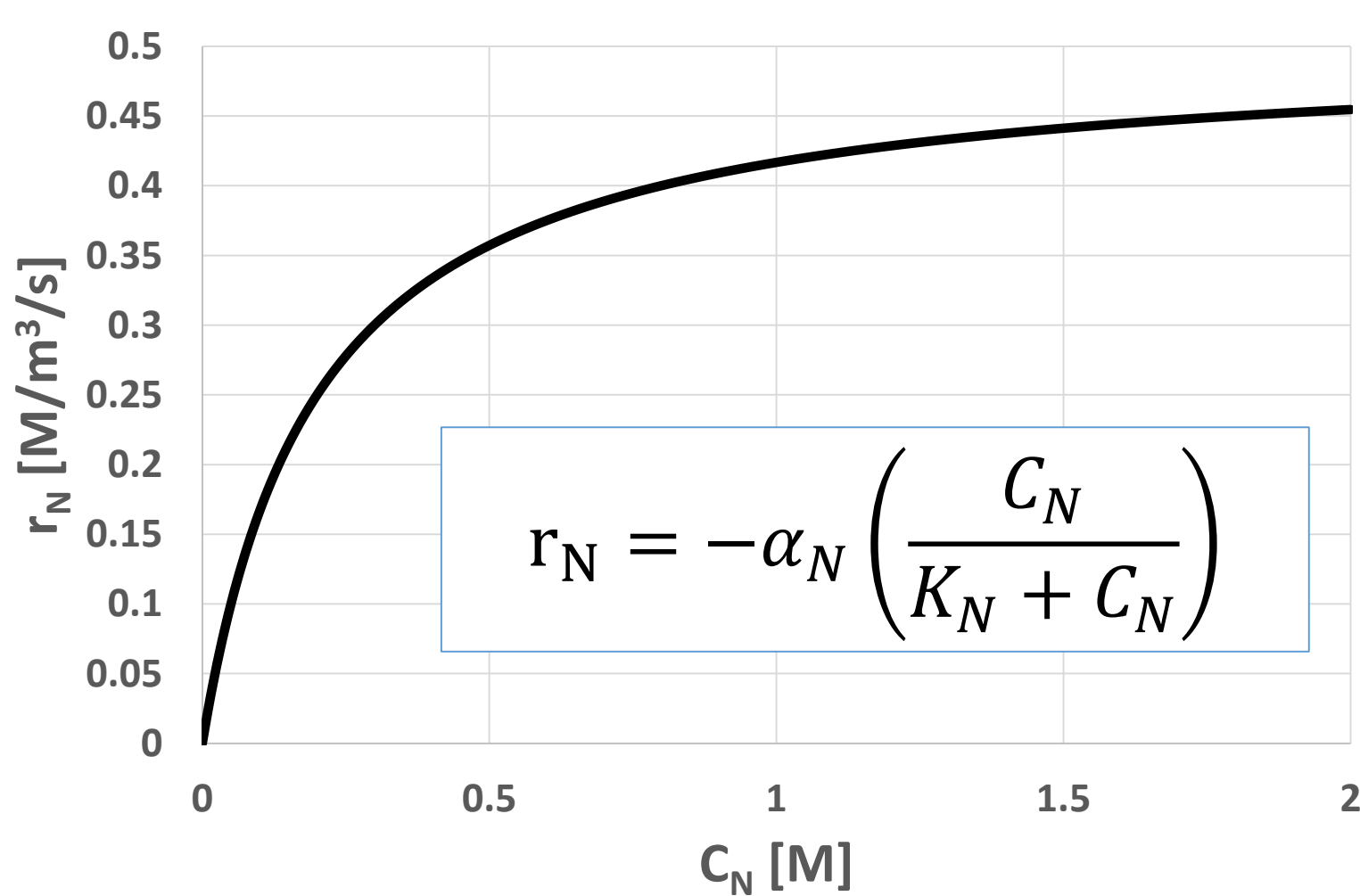
איבר הבור - ריאקציה מיקרוביאלית מסדר מונוד

בריכוז נוטריינטים נמוך -

הריאקציה הינה מסדר ראשון וקצב התגובה עולה ליניארית עם העלייה בריכוז.

בריכוז נוטריינטים גבוה -

הריאקציה הינה מסדר אפס וקצב התגובה קבוע, ללא תלות בריכוז.



$$r_N = -\alpha_N \left(\frac{C_N}{K_N + C_N} \right)$$

ריכוז הנפט בקרקע

מאזן מסה

$$\frac{\partial}{\partial t} (C_P \rho_d) = -r_P$$

C_P - ריכוז המזהם בקרקע $[MM^{-1}]$, ρ_d - צפיפות יבשה $[ML^{-3}]$, r_P - איבר בור המתאר את הריאקציה המיקרוביאלית $[ML^{-3}t^{-1}]$

הנחה: הגורם הישיר היחיד שמשפיע על המזהם הוא ריאקציה מיקרוביאלית.

איבר הבור - צריכת המזהם ע"י חיידקים כתלות בדשן ובהשקיה

$$r_P = -\alpha_P \left(\frac{C_P}{K_P + C_P} \right) \left(\frac{C_N}{K_N + C_N} \right) S_f$$

הנחה: הריאקציה הינה מסדר מונוד הן עבור הנוטריינטים והן עבור המזהם. הריאקציה תלויה ליניארית בתכולת הרטיבות. הפונקציה f מאפשרת להוסיף תלות נוספת - טמפרטורה, מליחות וכד'. במודל זה אין תלות נוספת ועל כן $f = 1$.

הפניות

- Parker, J. C., Multiphase flow and transport in porous media. *Reviews of Geophysics* 27(3), 311-328 (1989).
- Mualem, Y. A., new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research* 12, 513-522 (1976).
- Bachmann, J., Deurer, M. & Arye, G. Modeling Water Movement in Heterogeneous Water-Repellent Soil: 1. Development of a Contact Angle-Dependent Water-Retention Model. *Vadose Zone Journal* 6, 436-445 (2007).