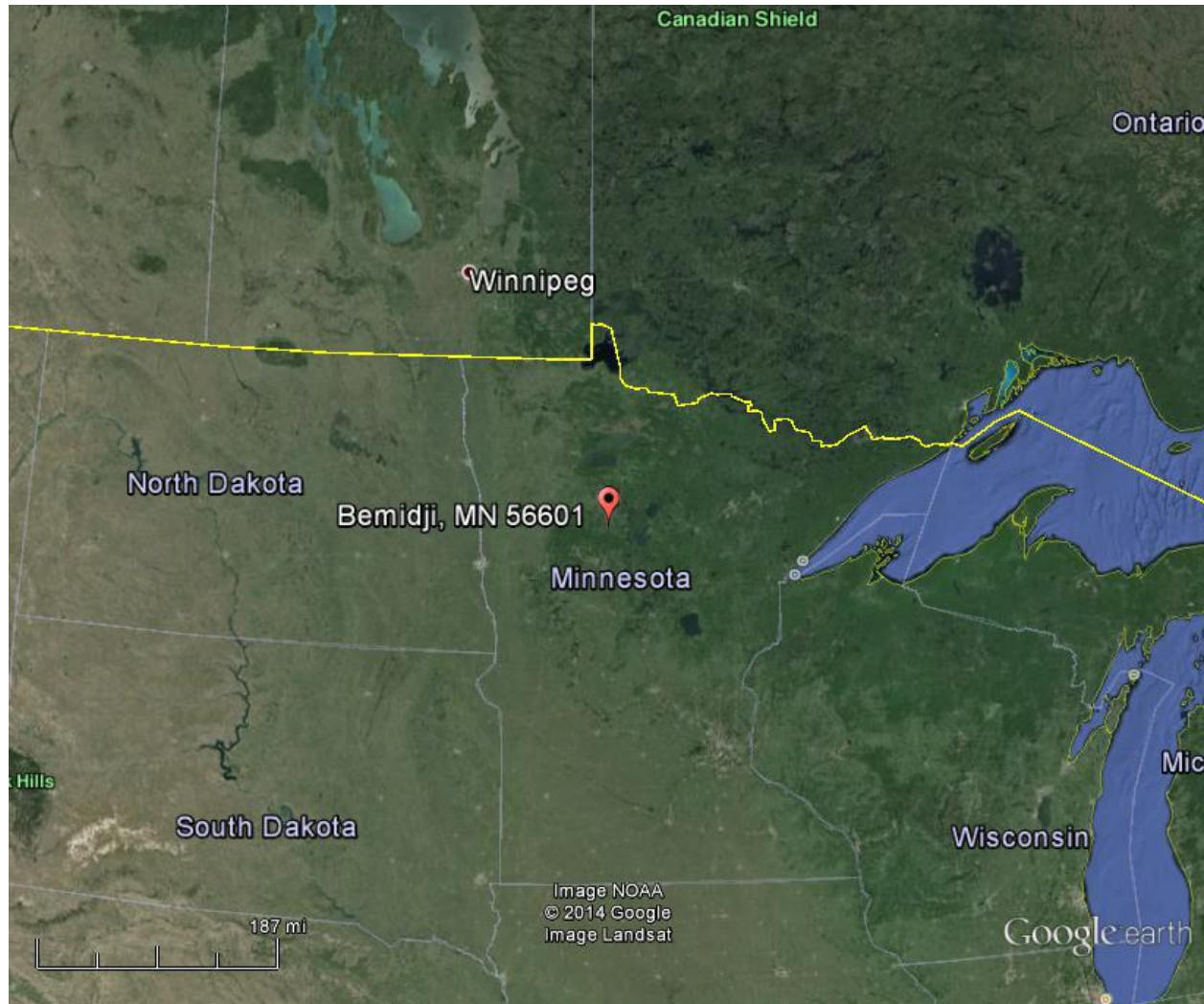


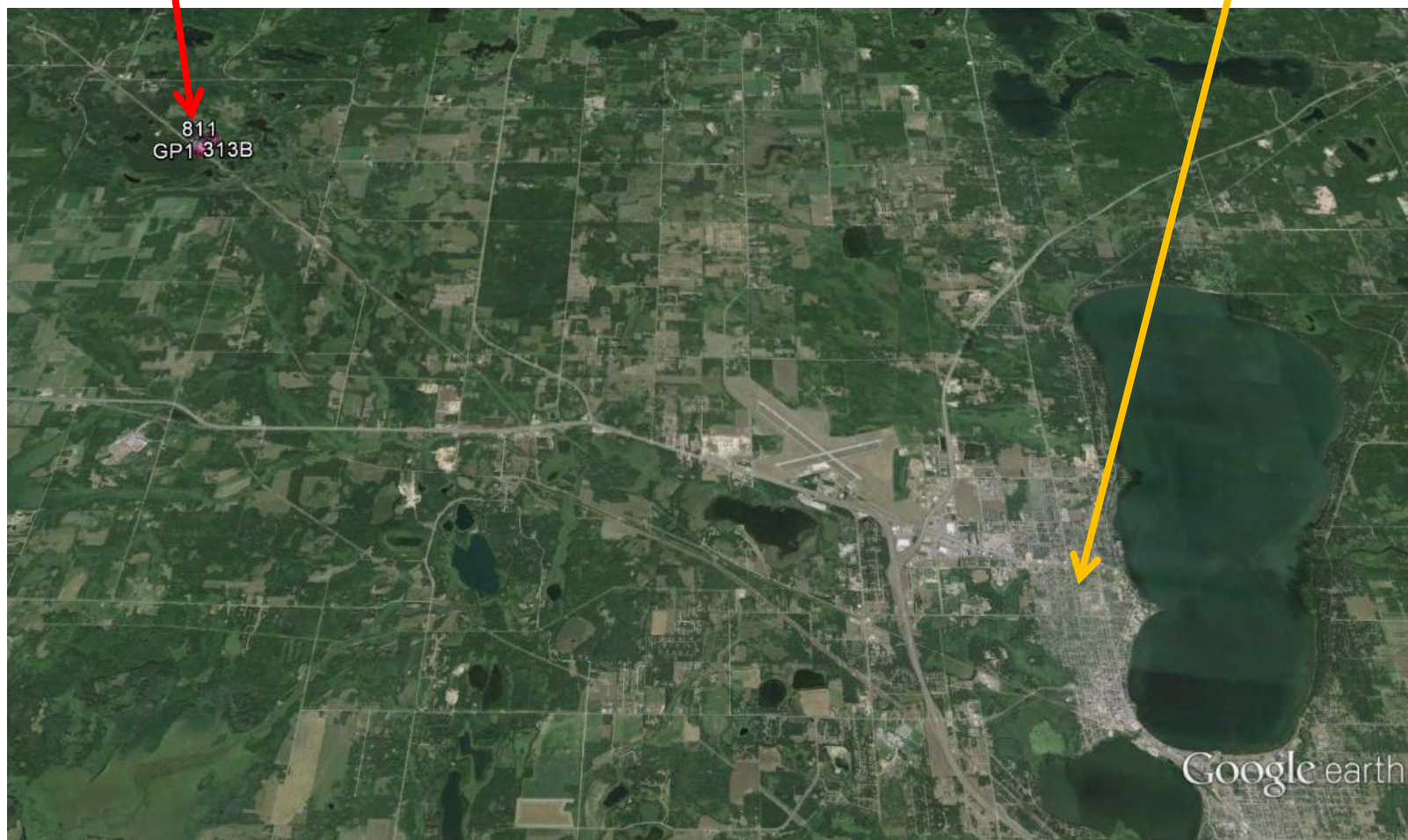
Διαρροή αργού πετρελαίου κοντά στην πόλη Bemidji της Μινεσότα

Πού θα πάει ο ρύπος, πώς θα συμπεριφερθεί;
(Πόσο θα εξαπλωθεί η μη υδατική φάση;
Πόσος ρύπος θα εξατμιστεί; Πόσος θα διαλυθεί;
Πόσο θα εξαπλωθεί ο διαλυμένος ρύπος;)

Κοντά στα σύνορα Αμερικής-Καναδά στην Πολιτεία Μινεσότα



16 km βορειοδυτικά της πόλης Bemidji



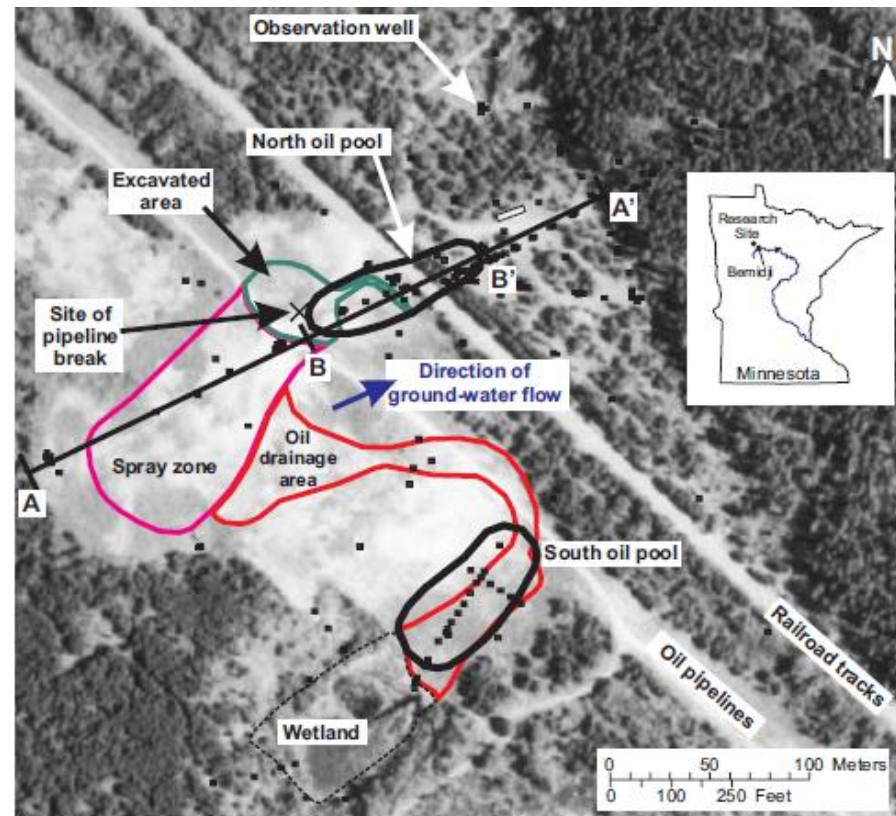
Σε μια δασική έκταση



Αγωγός μεταφοράς αργού πετρελαίου σπάει σε ραφή συγκόλλησης

1979: δημιουργείται πίδακας που εκτοξεύει $1.7 \times 10^3 \text{ m}^3$ πετρελαίου σε μια έκταση 6500 m^2 . Στη συνέχεια το πετρέλαιο ρέει στην επιφάνεια του εδάφους...

<http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/>



...διηθείται διαμέσου της ακόρεστης ζώνης και σχηματίζει τρεις κηλίδες στην επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα (USGS 1998)

Έδαφος & Υδρογεωλογία



Αμμοχάλικο με λεπτά στρώματα
ιλύος (ποσοστό οργανικού άνθρακα
0.09%, μέσο πορώδες 0.38)

- **Υδροφόρος ορίζοντας:** 0 (κοντά στον υγρότοπο) - 11m. Στη βόρεια κηλίδα, ο ΥΟ είναι στα 8.9 m.
- **Κατεύθυνση υπόγειου νερού:** προς λίμνη στα ΒΑ
- **Μέση υδραυλική κλίση** 0.0035
- **Υδραυλική αγωγιμότητα** (βόρεια κηλίδα): 5.6×10^{-6} m/s - 7×10^{-5} m/s
- **Ταχύτητα μεταγωγής:** ~ **20 m/year**

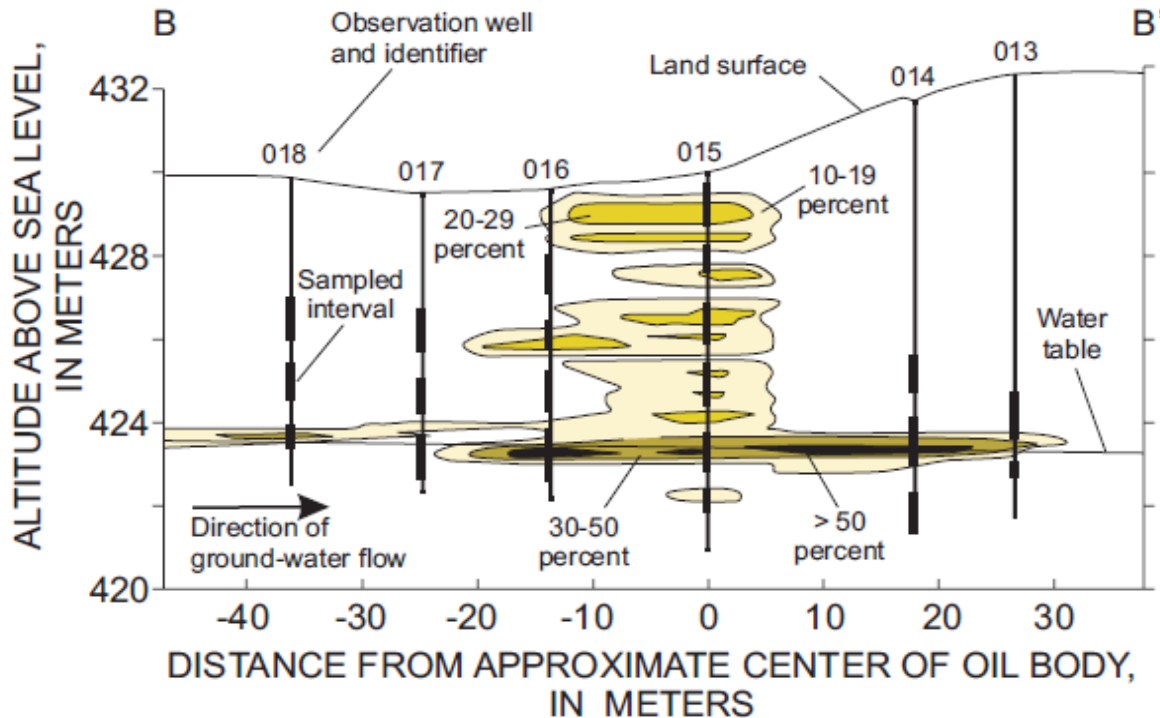
Άμεσα μέτρα (1979-1980)

- Από τα $1.7 \times 10^3 \text{ m}^3$ πετρελαίου που διέρρευσαν συνολικά , απομακρύνονται $1.3 \times 10^3 \text{ m}^3$
 - $1.1 \times 10^3 \text{ m}^3$: με άντληση από κοιλότητες και τάφρους
 - $0.2 \times 10^3 \text{ m}^3$: με εκσκαφή & καύση εδαφών
- Παραμένουν 400 m^3
- Ως το 1999 δεν λαμβάνονται άλλα μέτρα



<http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/>

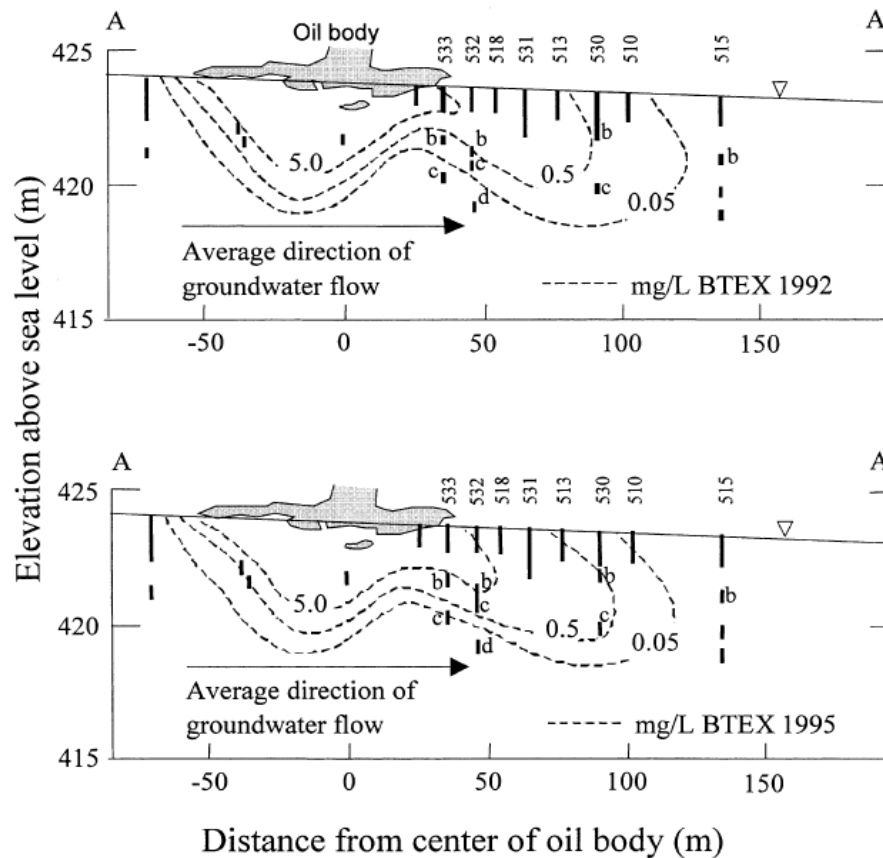
Έκταση ρύπανσης 1989-1990 (μη υδατική φάση)



USGS 1998

Βόρεια κηλίδα ~**75m**: σε 25 χρόνια μεγαλώνει κατά 25m

Έκταση ρύπανσης 1992 και 1995 (διαλυμένα συστατικά)



Cozzarelli et al. 2001

Περιοχή βόρειας
κηλίδας ~ **225m**

- Με την ταχύτητα μεταγωγής, θα υπολογίζαμε εξάπλωση ρύπου
= 20 m/έτος x 13 και 16 έτη
= 260 m και 320 m
- Η σταθερότητα της ρυπασμένης έκτασης και η μικρότερη από την αναμενόμενη εξάπλωση οφείλονται στην βιοαποδόμηση

Έργα αποκατάστασης (1999-2004)

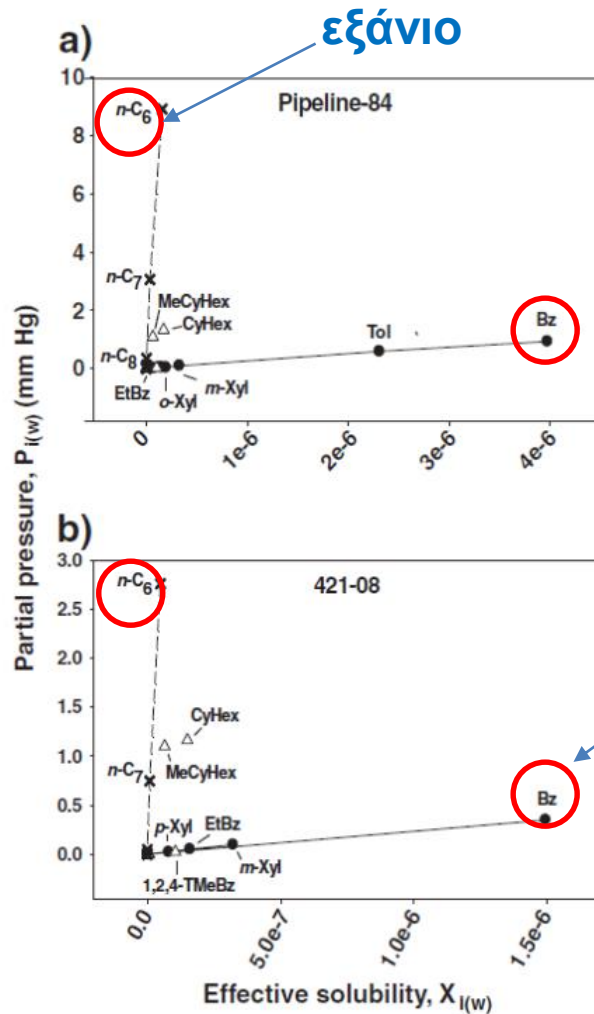
- Καταβίβαση της στάθμης του ΥΟ και απομάκρυνση του πετρελαίου που ρέει στα πηγάδια
- Μέσα στην πενταετία, απομακρύνονται από τις τρεις κηλίδες περίπου 114 m³ πετρελαίου

Διαφορετικά χαρακτηριστικά συστατικών αργού πετρελαίου

Συστατικό	Περιεκτικότητα κατά βάρος %	Μοριακό βάρος	Μοριακό κλάσμα	Διαλυτότητα (mg/L)	Τάση ατμών (kPa)
Εξάνιο	1.5	86.17	0.06	10	20.2
Επτάνιο	2	100.21	0.07	3	6.11
Βενζόλιο	0.2	78.11	0.009	1780	12.7
Χυλόλιο	0.6	106.18	0.019	198	1.3

Σημείωση: Το μοριακό κλάσμα υπολογίστηκε για μέσο μοριακό βάρος του πετρελαίου στο Bemidji ίσο με 341 g/mol (Baedeker et al. 2011).

Διαφορετικοί μηχανισμοί απομάκρυνσης συστατικών αργού πετρελαίου



Υπολογισμοί μερικής
πίεσης και ενεργού
διαλυτότητας για
a) δείγμα από πετρέλαιο
στον αγωγό (1984)
b) δείγμα πετρελαίου
από πηγάδι στη βόρεια
κηλίδα (2008)

Baedecker et al. 2011

Ποιο το μέλλον;

- Η μέση ετήσια απώλεια των αλκανίων με 6-12 άνθρακες (συστατικά με τα μεγαλύτερα ποσοστά στο πετρέλαιο), λόγω διάλυσης, εξάτμισης και βιοαποδόμησης, εκτιμάται σε 0.06 – 0.26% για την περίοδο 1979-2008 (Baedecker et al. 2011)

Ερώτηση κατανόησης

- Με δεδομένο ότι το βενζόλιο είναι το πιο επίφοβο συστατικό του πετρελαίου, μπορούμε να θεωρήσουμε την εξέλιξη της κατανομής του στον χρόνο αντιπροσωπευτική της εξέλιξης της ρυπασμένης έκτασης σε έναν χώρο σαν το Bemidji;

Πηγές σχημάτων

Σημείωση: το μη πρωτογενές υλικό αυτής της παρουσίασης ή έχει αναρτηθεί στο διαδίκτυο με άδεια Creative Commons, ή είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο (πχ πρακτική των ΗΠΑ για μελέτες κλπ δημόσιων οργανισμών) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλη αναφορά (attribution), ή συνοδεύεται από άδεια από τον εκδότη.

Διαφάνειες 2-4,6. Δεδομένα χαρτών: Google ©

Διαφάνειες 5 αριστερά, 7. United States Geological Survey (USGS), 1979, Minnesota Water Science Project, <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/>, Photo Gallery.

Διαφάνειες 5 δεξιά, 8. USGS, 1998, Ground Water Contamination by Crude Oil near Bemidji, Minnesota, USGS Fact Sheet 084-98, <http://mn.water.usgs.gov/projects/bemidji/results/fact-sheet.pdf>, πρόσβαση 14-11-2015.

Διαφάνεια 9. Cozzarelli et al. 2001. Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site—I, Geochemical evolution of the plume. Journal of Contaminant Hydrology 53 (3–4): 369–385, Figure 4: χρησιμοποιείται κατόπιν πληρωμής με άδεια από τον εκδοτικό οίκο Elsevier του περιοδικού J. of Contaminant Hydrology μέσω της εφαρμογής RightsLink του Copyright Clearance Center.

Διαφάνεια 12. Baedecker et al. 2011. Loss of Volatile Hydrocarbons from an LNAPL Oil Source. Journal of Contaminant Hydrology, 126(3-4):140-152, Figure 5: χρησιμοποιείται κατόπιν πληρωμής με άδεια από τον εκδοτικό οίκο Elsevier του περιοδικού J. of Contaminant Hydrology μέσω της εφαρμογής RightsLink του Copyright Clearance Center.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Baedeker M.J., Eganhouse, R.P., Bekins, B.A., Delin, G.N., (2011) Loss of Volatile Hydrocarbons from an LNAPL Oil Source. Journal of Contaminant Hydrology, 126(3-4):140-152.
- Cozzarelli, I.M., B.A. Bekins, M.J. Baedeker, G.R. Aiken, R.P. Eganhouse, and M.E. Tuccillo. 2001. Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site—I, Geochemical evolution of the plume. Journal of Contaminant Hydrology 53 (3–4): 369–385.
- Essaid, H.I., Bekins, B.A., Herkelrath, W.N., Delin, G.N. (2011) Crude Oil at the Bemidji Site: 25 Years of Monitoring, Modeling, and Understanding. Ground Water, 49(5):706-726.