

Kaedah keberintangan geoelektrik profil dalam untuk kajian air tanah di lembangan Kuala Langat, Banting Selangor

RAHMAN YACCUP¹, MOHD SHAHID AYUB¹, ABDUL RAHIM SAMSUDIN²,
MOHD TADZA ABDUL RAHMAN¹, LAKAM MEJUS¹ DAN MOHD RIFAIE MOHD MURTADZA¹

¹Institut Penyelidikan Teknologi Nuklear Malaysia (MINT)
43000 Bangi, Selangor

²Program Geologi, Fakulti Sains dan Teknologi,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor

Abstrak: Survei Pengimejan Keberintangan Geoelektrik telah dilakukan untuk memperolehi profil keberintangan bahan untuk kedalaman sehingga 130 m dari permukaan. Dalam kajian ini sebanyak 5 garisan survei telah dibina menghala ke arah laut. Keputusan kajian menunjukkan terdapat lapisan keberintangan geoelektrik rendah (< 10 Wm) yang tebal yang terletak di bahagian atas profil. Ini mungkin berlaku akibat penerobosan air masin dari laut dan terdapatnya sistem akuifer bersifat separuh terkekang sehingga menyebabkan air masin dari permukaan menyusup lebih dalam ke bawah permukaan. Ketebalan lapisan berkeberintangan rendah didapati semakin bertambah menghala ke arah laut. Pengukuran keberkonduksian elektrik untuk sampel air dari lubang gerudi, air sungai dan air laut dilakukan bagi membantu kajian. Disamping itu nilai keberkonduksian elektrik dari survei pengimejan keberintangan geoelektrik turut digunakan untuk pengukuran secara rantau. Hasil daripada penggunaan kaedah ini turut menyokong keputusan daripada kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik.

Abstract: Geoelectrical Resistivity Imaging Survey was conducted in order to profile the resistivity of materials down to a depth 130 m from the surface. In this study five transect lines, perpendicular to the shoreline were constructed. The result indicates the existence of a thick geoelectrical layer with low resistivity (< 10 Wm) at the upper portion of the profile. This may be due to saltwater intrusion from the sea, and the aquifer system behaves as semi confined layer(s) that causes the salty water from surface to penetrate downward. The thickness of the low resistivity layer is increasing toward the sea. Electrical conductivity measurement of water samples from boreholes, river and sea is undertaken to support this study. Furthermore, the regional conductivity values of the study area were derived from the geoelectrical imaging profile. Result from utilizing this technique also supports the result of geoelectrical resistivity imaging.

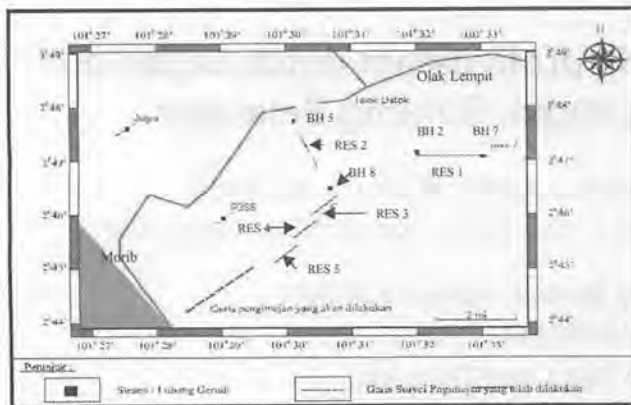
PENDAHULUAN

Lebih kurang 97.5% sumber air dunia merupakan air masin dan selebihnya (2.5%) merupakan air tawar yang mana hampir 68.9 % terdiri daripada glasier dan ais yang terdapat di kutub bumi (UNESCO, 2000). 29.9% terdiri daripada air bawah tanah, 0.9 % membentuk kelembapan udara dan selebihnya 0.3% merupakan air sungai dan tasik yang mana merupakan punca air untuk kegunaan harian kita. Memandangkan simpanan air tawar yang besar dalam air tanah, maka seharusnya kita memastikan ia sentiasa berada dalam keadaan yang baik tanpa berlaku pencemaran yang diakibatkan oleh sisa-sisa buangan, toksid dan sebagainya. Selain daripada itu, penjelajahan air tanah di kawasan-kawasan yang berpotensi seharusnya dilakukan bagi memastikan simpanan air tanah boleh digunakan untuk keperluan masa hadapan. Untuk itu, kajian yang dijalankan ini, bertujuan untuk mengeksplorasi air tanah dan melihat sejauh mana kesan penerobosan air laut yang mungkin berlaku terhadap sistem akuifer di kawasan kajian. Kawasan kajian yang dipilih ialah di lembangan Kuala Langat iaitu dari Olak Lempit hingga ke Morib, Banting Selangor (Rajah 1).

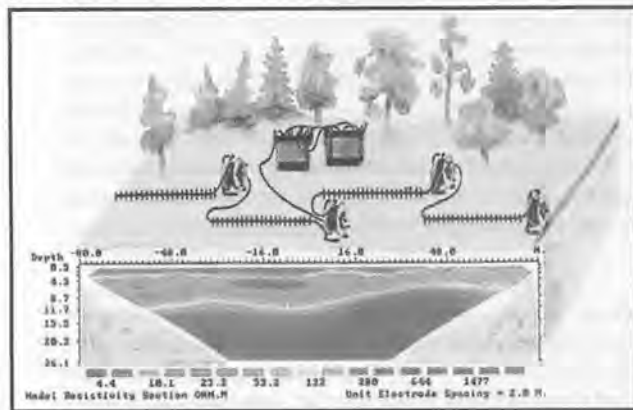
BAHAN DAN METODOLOGI

Kaedah keberintangan geoelektrik merupakan satu kaedah geofizik yang telah diperkenalkan sejak awal kurun ke 20 untuk mengkaji struktur bawah permukaan, penjelajahan mineral ekonomi dan air tanah. Kaedah ini hanya giat digunakan bermula pada tahun 1970an di mana penggunaannya semakin meluas kepada bidang kejuruteraan terutamanya dalam kajian pendasaran atau penyiasatan tapak pembinaan yang melibatkan pemetaan kedudukan batu dasar, kehadiran bongkah batuan, rongga (cavity) dan sebagainya. Kaedah ini telah berkembang penggunaannya dalam bidang carigali arkeologi terutamanya dalam mencari tapak binaan purba yang tertimbus di bawah permukaan (Reynolds, 1997).

Kaedah ini tidak memusnahkan bahan atau struktur yang dikaji. Ia boleh dilakukan berulang kali dengan menggunakan kos yang amat rendah dan mampu menentukan kedudukan struktur-struktur geologi di bawah permukaan (Griffith & Barker, 1993). Kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik merupakan pendekatan terbaru dalam kaedah keberintangan yang menggunakan elektrod yang banyak. Data diperolehi secara automatik dengan



Rajah 1. Kedudukan survei pengimejan keberintangan geoelektrik.



Rajah 2. Illustrasi susunatur Wenner di lapangan menggunakan sistem Lund.

bantuan peralatan yang canggih. Dalam kajian ini, konfigurasi elektrod Wenner telah digunakan dengan menyambung alat sistem pemilih elektrod LUND (LUND Electrode Selector System) dengan 4 kabel *multicore* (Multicore cable) yang digunakan untuk menyambung 61 batang elektrod. Sistem pemilih elektrod LUND pula akan di sambung dengan Terrameter SAS 4000 untuk mengukur nilai keberintangan bahan yang berada di kawasan kajian. Susun atur lapangan bagi peralatan ditunjukkan dalam Rajah 2. Data ini kemudiannya diproses dengan menggunakan Perisian RES2Dinv bagi memperoleh imej keberintangan bahan dalam bentuk 2-D (Loke & Baker, 1996). Dalam kajian ini sebanyak 5 garisan survei telah dibina dengan masing-masingnya RES 1 (3,000 m), RES 2 (1,200 m), RES 3 (1,400 m), RES 4 (1,000 m) dan RES 5 (1,200 m) seperti mana yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Nilai keberintangan beberapa batuan dan tanah ditunjukkan dalam Jadual 1 (Keller & Frischknecht, 1966).

Selain daripada profil keberintangan geoelektrik batuan, profil keberkonduksian bahan turut dibuat bagi melihat keberkonduksian bahan dengan kehadiran air bawah permukaan. Dengan menggunakan nilai keberlonduksian ini, sifat air tanah dapat diperolehi sama ada ia masin, payau atau tawar. Namun demikian mungkin akan berlaku ralat dalam penafsiran kerana nilai keberkonduksian yang diperolehi daripada survei pengimejan keberintangan

geoelektrik bukan hanya dipengaruhi oleh air yang terdapat dalam lapisan batuan tetapi dari batuan itu sendiri. Ini bermakna, kemungkinan nilai yang diperolehi lebih tinggi daripada nilai sebenar. Oleh itu beberapa sampel air dari lubang gerudi, sungai dan laut diukur keberkonduksiannya dengan menggunakan meter keberkonduksian. Nilai ini kemudiannya dibandingkan dengan nilai dari profil keberkonduksian yang diperolehi dari survei pengimejan keberintangan geoelektrik.

Selain daripada kaedah pengimejan keberintangan geoelektrik, pengukuran nilai keberkonduksian dan jumlah pepejal terlarut (TDS — Total Dissolve Solid) dalam air juga dilakukan. Nilai yang diperolehi daripada pengukuran ini penting untuk menentukan sifat air yang berada dalam kawasan kajian sama ada ia masin, payau atau tawar. Sekiranya nilai keberkonduksian dan jumlah pepejal terlarut tinggi, besar kemungkinan air bersifat masin atau payau. Untuk air masin nilai keberkonduksiannya ialah melebihi 10,000 mS/cm. Sementara air tawar kurang dari 1,000 mS/cm. Nilai keberkonduksian di antaranya merupakan zon air payau (Jadual 2, Freeze & Cherry, 1979).

Sampel air diambil dari beberapa kawasan termasuk air dalam lubang gerudi (cetek dan dalam), air laut, air sungai dan air tasik (wetlands). Pengukuran keberkonduksian elektrik dan jumlah pepejal terlarut dibuat dengan menggunakan alat meter keberkonduksian. Alat ini juga boleh digunakan untuk mengukur pH dan suhu selain daripada parameter yang dinyatakan di atas.

HASIL DAN PERBINCANGAN

Sebanyak 5 garisan survei keberintangan dibuat dan hampir kesemuanya memberi nilai keberintangan kurang dari 100 Wm kecuali di bahagian bawah profil RES 1 dan RES 2 (Rajah 3 dan 4). Perbincangan hasil yang diperolehi dibuat dengan menggunakan nilai kurang dari 1 Wm sebagai lapisan mengandungi air masin, kurang dari 10 Wm air payau dan dari 10Wm – 100Wm air tawar. Ini bermakna nilai keberintangan yang diwakili oleh warna biru merupakan lapisan yang mengandungi air masin atau payau.

Lapisan mengandungi air payau dalam profil RES 1 berketebalan purata lebih kurang 60 m, lapisan hampir mendatar tetapi nilai keberintangan yang kurang dari 5 Wm semakin menebal ke arah BH 2. Ini bermakna lapisan ini semakin tebal menghala ke arah laut. Nilai keberkonduksian elektrik sampel air tanah dari lubang gerudi BH 7 dan BH 2 untuk telaga dalam masing-masingnya 1,198 mS/cm dan 1,195 mS/cm yang menandakan air dalam akuifer di kawasan terbabit bersifat payau. Kemungkinan lapisan air payau ini semakin menipis menghala ke arah timur BH 7 dan kajian lanjutan sedang dilakukan. Sementara itu nilai keberkonduksian elektrik yang diperolehi dari survei keberintangan geoelektrik pula sekitar $(100 \text{ S/m}) \times 0.001$ atau 1,000 mS/cm pada kedalaman 70 m dari permukaan BH 7 dan BH 2 (Rajah 3). Ini bermakna lapisan air payau bersifat seragam di sepanjang profil RES 1.

Jadual 1. Keberintangan dan kekonduksian beberapa batuan, tanah dan air. Ubahsuai daripada Keller & Frishcknecht (1966) dan Daniels & Alberty (1966).

Bahan	Keberintangan (Ωm)	Kekonduksian (Ωm) ⁻¹
Batuan Igneus dan metamorfik		
Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2.0 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Syis	50-10000	$2 \times 10^{-2} - 10^{-4}$
Marmar	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4.0 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Kuarzit	$10^2 - 2.0 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Hornfel	$8 \times 10^3 - 6.0 \times 10^7$	$1.7 \times 10^{-8} - 1.3 \times 10^{-4}$
Batuan Sedimen		
Batu pasir	$8 - 4.0 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Syal	$20 - 2.0 \times 10^3$	$5.0 \times 10^{-4} - 0.05$
Batu kapur	$50 - 4.0 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
Tanah dan Air		
Lumpur	1-100	1-0.01
Aluvium	10-800	$1.25 \times 10^{-3} - 1.7 \times 10^{-3}$
Air	10-100	0.01-0.1
Air Laut	0.15	6.7

Garis RES 2 dibina berdekatan dengan lubang gerudi BH 5 yang mempunyai telaga dalam dan telaga cetek. Kedalaman lubang gerudi dalam sekiranya 70 m dan lubang gerudi cetek 30 m dari permukaan. Hasil daripada kajian keberintangan geoelektrik menunjukkan lapisan berkerintangan rendah (<10 Wm) berketebalan antara 60-65 m (Rajah 4). Nilai kekonduksian yang diperolehi dari sampel air lubang gerudi diukur dari BH 5 ialah 1,391 mS/cm untuk telaga cetek dan 4,140 mS/cm bagi telaga dalam. Nilai ini menunjukkan air tanah di kawasan berkenaan bersifat payau dan nilai ini lebih payau berbanding dengan air yang terdapat dalam BH 2 dan BH 7. Perbezaan ini, mungkin berlaku kerana kedudukan garisan survei untuk RES 2 lebih dekat dengan laut dan Sungai Langat yang lebih memberi kesan terhadap penerobosan air masin di kawasan berkenaan.

Bagi garisan survei RES 3 yang terletak berhampiran dengan BH 8, kedudukan lapisan berkerintangan rendah (<10 Wm) tidak seragam seperti mana ditunjuk dalam Rajah 5. Hasil kajian menunjukkan seolah-olah berlaku kebocoran dalam sistem akuifer di bahagian atas sehingga menyebabkan berlakunya penyusupan air masin sehingga ke kedalaman lebih dari 100 m dari permukaan. Bukti dengan pengukuran kekonduksian sampel air dari lubang gerudi menunjukkan telaga cetek memberi kekonduksian elektrik 12,240 mS/cm dan telaga dalam 7,000 mS/cm. Lapisan atas memberi nilai yang lebih tinggi menunjukkan darjah kepayauan air tanah di kawasan berkenaan lebih tinggi berbanding dengan sampel air di dalam telaga dalam. Berdasarkan penyusutan nilai kekonduksian elektrik ini ada kemungkinan berlaku penyusupan air dari lapisan atas ke dalam akuifer bahagian dalam. Ini bermakna sistem akuifer di sini dianggap bersifat separa terkekang kerana telah berlaku kebocoran sistem akuifer di bahagian atas. Keadaan ini tidak berlaku untuk RES 1 dan RES 2 seperti mana yang dibincangkan terdahulu.

Jadual 2. Pengelasan kategori air berdasarkan nilai kekonduksian elektrik air di kawasan kajian untuk dua unit berbeza (Freeze & Cherry, 1979).

Kategori air	Unit dalam (S/m x 0.001)	Unit dalam $\mu S/cm$
Tawar	< 100	< 1,000
Payau	100 - 1,000	1000 - 10,000
Masin	> 1,000	> 10,000

Jadual 3. Nilai kekonduksian elektrik dan kandungan pepejal terlarut (TDS) dalam sample air di kawasan kajian.

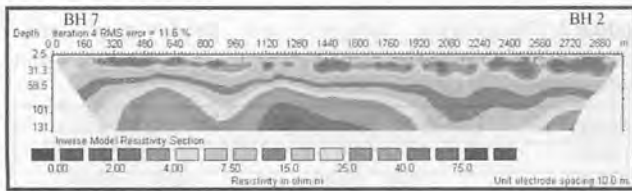
Sampel	Unit dalam (S/m x 0.001)	Unit dalam $\mu S/cm$	TDS gm/liter
BH 2 (Telaga Dalam)	119.8	1,198	0.69
BH 5 (Telaga Dalam)	1,290	4,140	2.35
BH 5 (Telaga Cetek)	162.3	1,391	0.66
BH 7 (Telaga Dalam)	119.5	1,195	0.70
BH 8 (Telaga Dalam)	700	7,000	4.05
BH 8 (Telaga Cetek)	1,224	12,240	7.10
Air Laut (Morib)	4,520	45,200	12.53
Air Sungai Langat *	22.1	221	0.13

Garis survei RES 4 dan RES 5 merupakan sambungan bagi garisan RES 3 tetapi ianya dibina selisih kurang dari satu kilometer dari RES 3. Kedua-dua garisan ini juga menghala ke arah laut. Hasil yang diperolehi menunjukkan lapisan berkerintangan rendah (<10 Wm) menebal ke arah laut (Rajah 6 dan 7). Julat ketebalan lapisan ini adalah antara 75-80 m di RES 4 dan 85-100 m di RES 5. Didapati berlaku pertambahan ketebalan lapisan berkerintangan rendah menghala ke arah laut. Secara amnya kekonduksian elektrik dari survei keberintangan geoelektrik untuk lapisan ini adalah melebihi 1,000 mS/cm sehingga 10,000 mS/cm iaitu kekonduksian bersifat air payau.

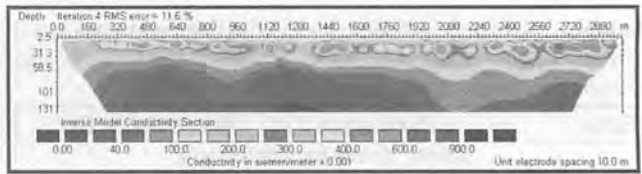
Kandungan pepejal terlarut yang diperolehi daripada sampel air yang digunakan untuk pengukuran kekonduksian. Hasil kajian menunjukkan nilai TDS meningkat dengan pertambahan nilai kekonduksian elektrik air. Profil kekonduksian elektrik yang diperolehi dalam survei keberintangan geoelektrik ditunjukkan dalam Rajah 8, 9, 10, 11 dan Rajah 12.

KESIMPULAN

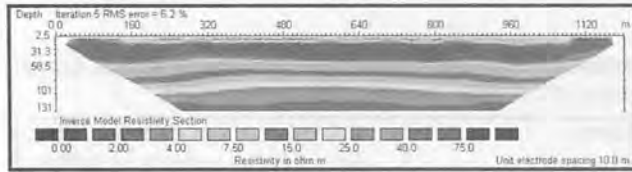
Secara keseluruhannya kajian pengimejan keberintangan geoelektrik yang dilakukan di kawasan ini telah berjaya dalam mengenalpasti kesan penerobosan air masin yang berlaku dalam akuifer air tanah di kawasan berkenaan. Kesan penerobosan air masin semakin bertambah menghala ke arah laut dengan ketebalan lapisan air payau dan masin paling nipis di RES 1 iaitu setebal sekitar 60 m. Ianya meningkat kepada 60-65 m di RES 2, tidak seragam di RES 3 iaitu dari 65 m sehingga 100 m (dominan 65 m) mungkin disebabkan akuifer yang bersifat separa terkekang. Ketebalan lapisan air payau dan masin terus meningkat di RES 4 kepada 75-80 m dan 80-100 m di RES 5. Pengukuran kekonduksian elektrik (> 1,000 mS/cm) dan kandungan pepejal terlarut sampel air tanah



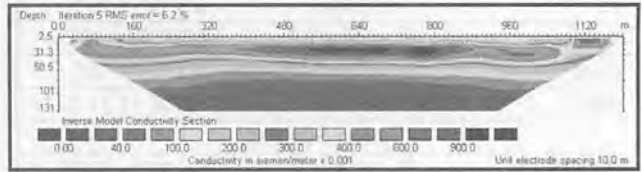
Rajah 3. Profil keberintangan geoelektrik untuk RES 1.



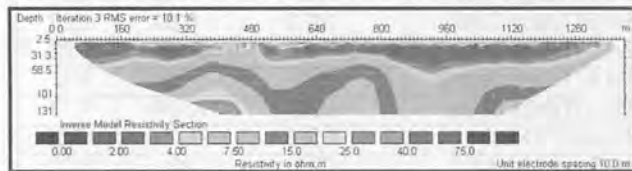
Rajah 8. Profil keberkonduksian elektrik untuk RES 1.



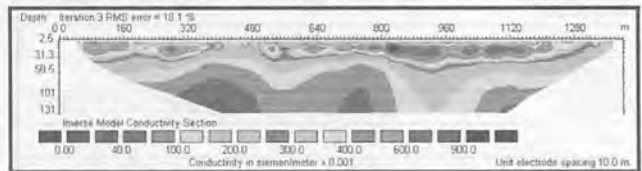
Rajah 4. Profil keberintangan geoelektrik untuk RES 2.



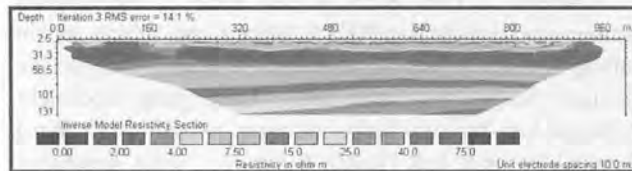
Rajah 9. Profil keberkonduksian elektrik untuk RES 2.



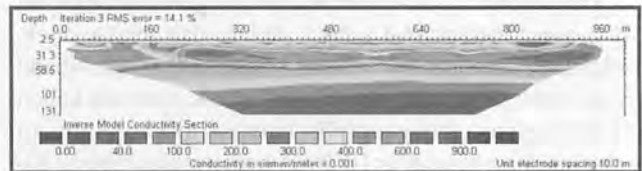
Rajah 5. Profil keberintangan geoelektrik untuk RES 3.



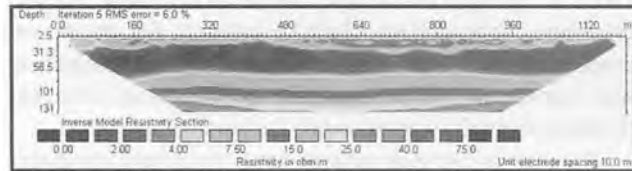
Rajah 10. Profil keberkonduksian elektrik untuk RES 3.



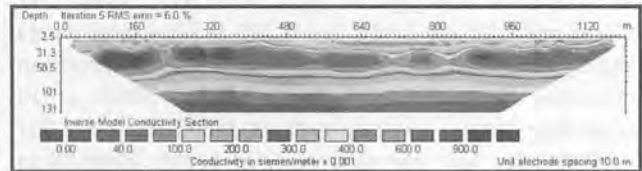
Rajah 6. Profil keberintangan geoelektrik untuk RES 4.



Rajah 11. Profil keberkonduksian elektrik untuk RES 4.



Rajah 7. Profil keberintangan geoelektrik untuk RES 5.



Rajah 12. Profil keberkonduksian elektrik untuk RES 5.

yang diambil dari lubang gerudi berdekatan dengan garisan survei turut menyokong keputusan ini. Umumnya, penerobosan air masin berpunca dari laut kerana profil lapisan air masin yang semakin menipis ke arah daratan. Namun demikian terdapat juga kesan yang disebabkan oleh penerobosan air sungai sepertimana yang dijumpai di BH 5 berdekatan dengan Sg. Langat. Sistem akuifer air tanah di sini bersifat separa terkekang berdasarkan kepada profil keberintangan geoelektrik lapisan keberintangan rendah di RES 3 yang menyusup sehingga ke kedalaman 100 m. Ini bermakna air masin dan payau dari lapisan akuifer atas telah meresap sehingga ke dalam akuifer dalam menyebabkan nilai keberintangan elektrik bahan menurun. Namun demikian sempadan penerobosan air laut tidak dijumpai untuk survei yang dilakukan. Kajian lanjutan akan dilakukan pada bulan Jun 2003 bagi mengesan sempadan kesan penerobosan air masin di kawasan berkenaan.

RUJUKAN

BARKER, R.D., 1980. Application of geophysics in groundwater investigations. *Water Services*, 4, 489-492.
 FREEZE, R.A DAN CHERRY, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
 GRIFFITHS, D.H AND BARKER, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *J. Applied Geophysics*, 29, 211-226.
 JACKSON, P.D., MELDRUM, P. AND WILLIAMS, G.M., 1990. Principles of a computer-controlled multi-electrode resistivity system for automatic data acquisition. *British Geological Survey Technical Report WE/89/21*, Nottingham.
 KELLER, G.V. AND FRISCHKNECHT, F.C., 1966. *Electrical methods in geophysical prospecting*. Pergamon Press Inc., Oxford.
 LOKE, M.H. AND BARKER, R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
 UNESCO, 2000. *The Hydrological Cycle*.