

**Nia L. Blackwell, William. T. Perkins,
ac Arwyn Edwards**

**Etifeddiaeth cloddio am
lo ym maes glo de Cymru:
llygredd dŵr ac opsiynau
i'w leihau**

Gwerddon

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

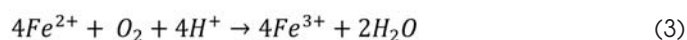
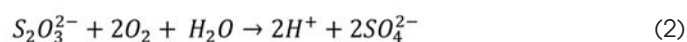
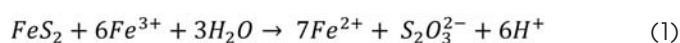
Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

Etifeddiaeth cloddio am lo ym maes glo de Cymru: llygredd dŵr ac opsiynau i'w leihau

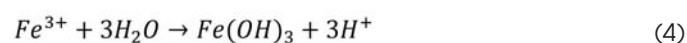
Nia L. Blackwell, William. T. Perkins, ac Arwyn Edwards

1.1 Rhagarweiniad

Cafodd cloddio am lo a'r prosesau cysylltiedig effaith ddinistriol ar amgylcheddau naturiol ledled y byd, yn enwedig ar ôl i'r glofeydd gau. Digwydd hyn o ganlyniad i brosesau tanddaearol sy'n arwain at ffurfiant dŵr llygredig, a gaiff yna ei ryddhau i'r system hydrolegol leol (Johnson, 2003). Y prif reswm dros ffurfiant dŵr llygredig mewn pyllau glo yw daduniad cyflymedig pyrit (FeS_2) – mwyn haearn sylffid a elwir yn "aur ffyliaid" – o'i gymharu â phrosesau naturiol (Nordstrom et al., 1979). Mae pyrit yn bresennol mewn sawl amgylchedd ac mae'n gyffredin mewn Cystradau Glo a ffurfiwyd dan amodau morol fel y rhai hynny a welir ym maes glo de Cymru (Shen a Buick, 2004; Wardle, 2011). Yn syml, mae pyrit yn adweithio gydag ocsigen a dŵr gan ryddhau protonau (H^+) sy'n creu asidedd (Hafaliad 1), sylffad (SO_4^{2-} ; Hafaliad 2), a haearn (Fe) fel un ai Fe^{2+} neu Fe^{3+} (Hafaliadau 1 a 3). Gall microbau sy'n adennill egni drwy ocsideiddio Fe^{2+} fel rhan o'u metabolaeth gynyddu daduniad pyrit (Johnson a Hallberg, 2003; Falkowski, 2008; Hedrich, 2011). Amcangyfrifwyd y gall prosesau microbaidd gynyddu'r gyfradd ocsideiddio Fe^{2+} i Fe^{3+} hyd at bum gwaith trefn maint (*five orders of magnitude*) (Singer a Stumm, 1970; Nordstrom ac Alpers, 1999).



Unwaith i Fe^{3+} ffurfio, mae'n hydrolysu ym mhresenoldeb dŵr gan achosi ffurfiant mwynau haearn anhydawdd (Hafaliad 4; Ffigwr 1), er enghraifft, *goethit* neu *hematit*. Mae'r mwynau haearn sy'n ffurfio yn ddibynnol ar pH y dŵr (Cornell a Schwertmann, 2000; Hedrich a Johnson, 2012); dan amodau pH niwtral, *goethit* yw'r mwyn haearn mwyaf cyffredin (Rose a Cravotta, 1998).





Ffigwr 1: Esiaml o ddyddodion mwynau haearn wrth fewnbwn gwelyau cyrs Ynysarwed, de Cymru (Llun N. Blackwell).

1.2 Y Gyfarwyddeb Fframwaith Dŵr

Oherwydd diffyg deddfwriaethau amgylcheddol yn ystod yr adeg pan ddeuai gweithgareddau cloddio llawer o'r pyllau glo i ben ynghyd ag absenoldeb strategaethau atal ffurfiant a rheoli dŵr llygredig, mae effeithiau cloddio am lo yn fwy (Johnson a Hallberg, 2003). Erbyn y 1970au, roedd sgil effeithiau cloddio am lo, ynghyd â mwynloddio, wedi dechrau achosi pryder, ac oherwydd hyn dechreuodd yr Undeb Ewropeaidd (UE) ddylunio a gweithredu cyfres o gyfarwyddebau er mwyn rheoli ansawdd dŵr Ewrop. Daeth yn amlwg fod dilyn a gweithredu nifer o gyfarwyddebau ar yr un pryd yn ddryslyd, felly, yn 2000 ffurfiwyd y Gyfarwyddeb Fframwaith Dŵr (CFD) (2000/60/EC) er mwyn integreiddio a gwella'r ffyrdd y rheolid amgylcheddau dyfrol. Prif ddiben y CFD yw lleihau llygredd dŵr afonydd, llynnoedd, dŵr daearol a dŵr arfordirol (Borja et al., 2004; 2007). Daeth yn rhan o gyfraith y Deyrnas Unedig (DU) yn 2003 (Wilby, 2006) a disgwylir i bob un aelod-wladwriaeth reoli a gwella ansawdd dŵr neu wynebu dirwyon.

Caiff safonau ansawdd dŵr o'r gyfarwyddebau blaenorol eu hymgorffori yn y CFD bob yn dipyn. Ceir y rhestr safonau ansawdd dŵr ehangaf yn y Gyfarwyddeb Sylweddau Peryglus (76/464/EEC) sy'n cynnwys rhestr o werthoedd canllaw a gorchmynnol ar gyfer sawl metel ac anfetel sy'n gysylltiedig â chloddio am lo, ynghyd â mwynloddio. Yn ôl y rhestr hon, disgwylir i grynodiadau Fe hydawdd (prif lygrydd dyfroedd maes glo de Cymru) fod yn is na 1 mg L^{-1} .

1.3 Opsiynau glanhau dŵr

Golyga cyflwyniad y CFD i'r DU fod glanhau draeniad a effeithiwyd ac a lygrwyd o ganlyniad i brosesau cloddio am lo yn hollbwysig. Hefyd, rhoddir pwyslais ar reoli llif y dŵr o'r hen lofeydd er mwyn sicrhau nad ydynt yn effeithio ar systemau hydrolegol lleol. Y dull gorau o reoli dŵr llygredig yw drwy arbed ei ffurfiant yn y lle cyntaf gan ddefnyddio'r dull 'rheolaeth ffynhonnell'. Mae'r dull hwn yn cynnwys cadw un ai ddŵr neu ocsigen – y ddau brif gatalydd mewn daduniad pyrit y soniwyd amdanynt uchod – rhag mynd i mewn i'r lofa. Fodd bynnag, mae hyn yn anodd iawn i'w gyflawni ac yn dueddol o fod yn anymarferol (Johnson a Hallberg, 2005). Pan nad yw'n bosib atal ffurfiant dŵr llygredig, mae'n bosib lleihau ei effaith ar yr amgylchedd drwy ailgyfeirio llif y dŵr oddi wrth yr afonydd lleol drwy 'reolaeth mudiad' (ibid). Ceir dau brif ddull 'rheolaeth mudiad', y gellid eu disgrifio fel naill ai systemau trin dŵr 'actif' neu 'oddefol'.

Mae systemau actif yn cyfeirio at y rhai hynny sydd angen cyflenwad parhaol o ynni a/ neu gemegau (Younger et al., 2002). Fel arfer, ceir dau gam i systemau o'r math hyn. Yn gyntaf, cynyddir pH y dŵr drwy ddefnyddio cemegau, megis calch, a chaiff aer ei bwmpio i'r dŵr er mwyn cynyddu crynodiad ocsigen; mae hyn yn hyrwyddo ffurfiant mwynau Fe ac felly'n lleihau crynodiad hydawdd Fe yn y dŵr. Mae'n bosib cael gwared ar sawl elfen yn ystod y cam hwn gyda chyd-ddyddodiad y mwynau Fe (Coulton et al., 2003a). Yn ail, gwahenir y dyddodion oddi wrth y dŵr – sydd bellach yn lanach – gan ddefnyddio naill ai beiriant allgyrchu neu beiriant gwasgu trydyddol (gweler Coulton et al., 2003b). Mae'r systemau hyn yn effeithiol wrth leihau crynodiadau elfennau niweidiol, ond mae'r costau cychwynol a pharhaol yn uchel o'u cymharu â chostau systemau trin dŵr goddefol.

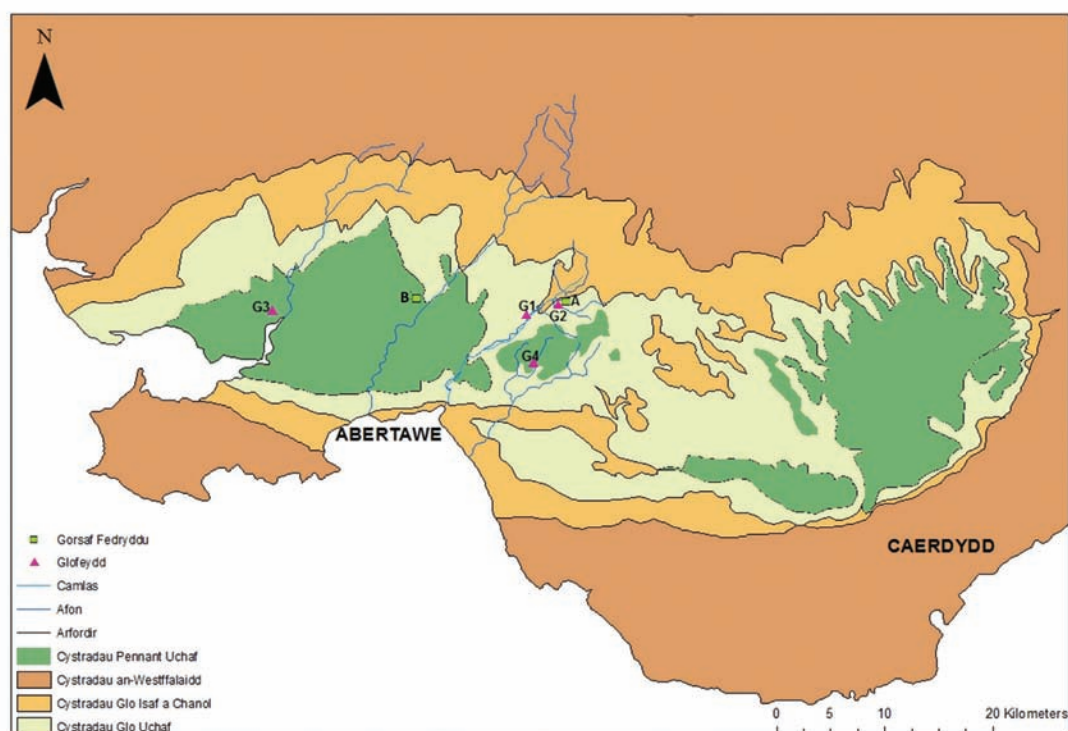
Ceir sawl gwahanol fath o systemau goddefol; e.e., draeniau calchfaen anocsig sy'n cynyddu pH y dŵr ac felly'n hybu ffurfiant mwynau Fe (Johnson a Hallberg, 2005), bio-adweithyddion compost er mwyn rhydwytho – felly lleihau crynodiad – sylffad (Banks et al., 1997; Batty a Younger, 2002), systemau cynhyrchu rhydwythiad ac alcalinedd sy'n gyfuniad o fio-adweithydd compost a draen calchfaen anocsig (sef draen wedi ei lenwi â chalfaeu sy'n annog cynnydd yn pH y dŵr ond yn annog gostyngiad yn ei grynodiad ocsigen) (Younger et al., 2003), ynghyd â lagynau a gwlyptiroedd aerobig sy'n cynyddu crynodiad ocsigen yn y dŵr (Johnson a Hallberg, 2005). Mae pob un o'r systemau goddefol hyn yn effeithiol wrth ostwng crynodiad elfennau niweidiol – yn enwedig Fe – ond ceir sawl anfantais. Ceir prinder tir ar gyfer adeiladu'r systemau ac mae'r Awdurdod Glo yn ystyried diffyg tir fel y rhwystr mwyaf rhag defnyddio systemau trin dŵr goddefol (Younger, 2000). Yn y gorffennol, ni cheid llawer o wybodaeth na chyfarwyddiadau ynglŷn â phenderfynu ar faint arwynebol system, ac o ganlyniad i hynny, adeiladwyd rhai systemau'n rhy fawr a rhai yn rhy fach (Johnson a Hallberg, 2002; Parker, 2003). At hynny, mae'r cyfnod lle gweithia'r system yn effeithlon yn ddibynnol ar lwythiad Fe i'r system (Whitehead et al., 2005). Gall y mwynau Fe sy'n ymgasglu yn y system arafu neu atal llif y dŵr, ac o ganlyniad gall leihau ei heffeithlonrwydd.

Heddiw, mae cyrff llywodraethol megis Cyfoeth Naturiol Cymru a'r Awdurdod Glo yn gyfrifol am reoli arllwysiad dŵr o hen lofeydd ac am leihau crynodiad elfennau niweidiol yn ôl y CFD. Yn ystod y blynyddoedd diwethaf mae'r Awdurdod Glo wedi dylunio a sefydlu nifer o systemau trin dŵr llygredig hen lofeydd ar draws y DU ac mae sawl enghraifft i'w gweld ym maes glo de Cymru.

1.4 Maes Glo De Cymru

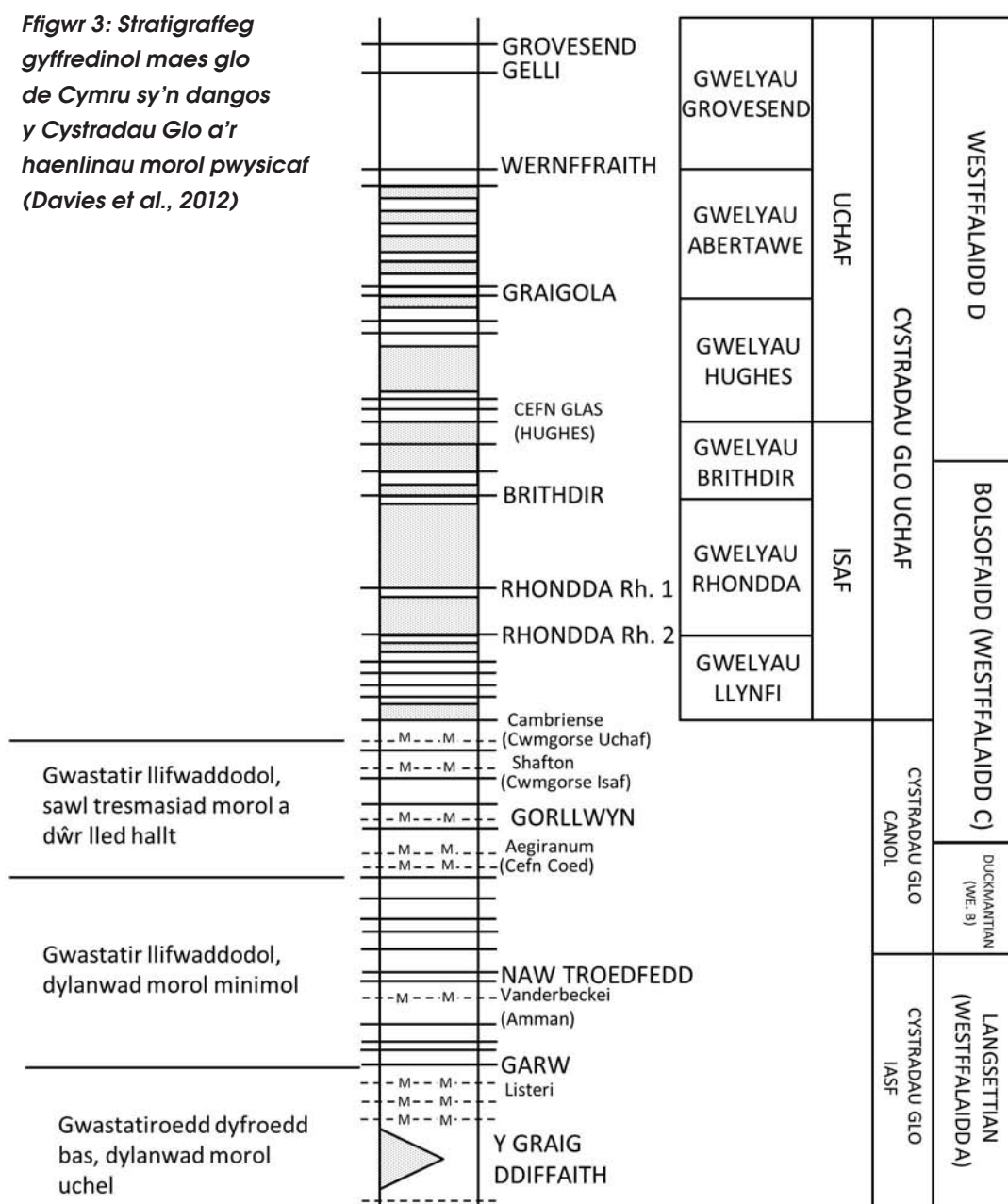
Maes glo de Cymru yw maes glo mwyaf di-dor y DU gydag arwynebedd o oddeutu 1600 km². Mae'n cynnwys gwelyau estynedig glo carbonifferaidd sy'n ymestyn am ~80 km o'r dwyrain i'r gorllewin a 25 km o'r gogledd i'r de (Bearcock et al., 2006; Ffigwr 2). Dyddodwyd y Cystradau Glo (isaf, canol ac uchaf) yn ystod yr is-gyfnod Westffalaidd ac mae daeareg yr ardal yn cynnwys haenau ffawrtiedig o dywodfaen, cerrig llaid a cherrig silt (Evans et al., 2006). O dan y Cystradau Glo ceir y Grut Melinfaen (tywodfeini carbonifferaidd), ac o dan hwnnw ceir y gwelyau calchfaen carbonifferaidd (Fowler a Gayer, 1999). Mae'r gwelyau calchfaen i'w gweld ar ymylon y maes fel brigiadau ac maent yn amlinellu siâp y basn maes glo (Hornung et al., 1990). Mae dylanwad amgylcheddau morol blaenorol yn amlwg yn y Grut Melinfaen a'r Cystradau Glo isaf oherwydd y ceir cyfres o fandiau dyddodion morol (Ffigwr 3). Yn y Cystradau Glo isaf a chanol, ceir mwy o sylffwr a *phyrit* na'r Cystradau Glo uchaf yn sgil y dylanwad morol (Barclay et al., 1988; Davies et al., 2012).

Daw'r cyfeiriad cyntaf at ddatblygu gweithgareddau cloddio am lo o'r drydedd ganrif ar ddeg pan fu cynnydd araf yn y defnydd o lo yn nhai'r boblogaeth leol. O ganlyniad i gynnydd parhaol drwy gydol y bedwaredd ganrif ar bymtheg, sefydlwyd diwydiant cloddio am lo fel diwydiant ar wahân i fwyngloddio a smeltio. Yn ystod y cyfnod hwn, echdynnid tua 4.5 tunnell o lo yn flynyddol (Lewis, 1971).



Ffigwr 2: Daeareg gyffredinol maes glo de Cymru sy'n dangos y safleoedd samplu (gweler 2.0) a'r gorsafydd medryddu (gweler 2.4) (Cole et al., 1991)

Ffigwr 3: Stratigraffeg gyffredinol maes glo de Cymru sy'n dangos y Cystiradau Glo a'r haenlinau morol pwysicaf (Davies et al., 2012)



1.5 Amcanion

Yn yr erthygl hon, ymdrinnir â phedair o'r hen lofeydd yn rhan orllewinol maes glo de Cymru gan edrych ar y gwahanol systemau trin dŵr a ddefnyddir yno. Prif amcan yr astudiaeth hon oedd mesur crynodiad y llygryddion a oedd yn bresennol yn nraeniad yr hen lofeydd (yn enwedig Fe) er mwyn darganfod a ddigwyddai unrhyw newidiadau tymhorol dros gyfnod o 14 mis. Hefyd, trafodir effeithlonrwydd y systemau trin dŵr llygredig ym mhob un safle. Mae deall y newidiadau tymhorol yn hynod o bwysig er mwyn (i) gallu adeiladu systemau trin dŵr effeithiol a chynaliadwy, a (ii) amcangyfrif potensial y ffurfiant dŵr llygredig tymor hir.

2.0 Methodoleg

Er mwyn ymchwilio i unrhyw newidiadau tymhorol yng nghyfansoddiad cemegol a pH y draeniad, casglwyd samplau dŵr o bedair hen lofa ym maes glo de Cymru (Ffigur 2) dros gyfnod o 14 mis. Hefyd, casglwyd data er mwyn mesur potensial y dŵr i ocsideiddio neu rydwytho elfennau (felly mesuriad o faint o ocsigen oedd yn y dŵr) a mesurwyd hyn fel Eh (mV), gyda gwerthoedd positif yn cynrychioli amgylchedd ocsigenedig a gwerthoedd negatif yn cynrychioli amgylchedd anocsig. Nid oedd modd casglu samplau o G2 (Glyncastell) yn ystod Ebrill 2011 oherwydd diffyg mynediad i'r safle.

2.1 Disgrifiad a hanes y glofeydd

Caewyd pwll glo Ynysarwed (OSGB 36 SS 808 017; G1) ym 1938. Yn ystod yr adeg pan oedd yn weithredol, cloddiwyd gwythïen Rhondda Rhif 2 yn bennaf sy'n cynnwys canran uchel o *byrit* (2-4% S pyritig; Evans et al., 2006). Ar ôl i'r pwll gau, defnyddiwyd mynedfa Glofa Ynysarwed Isaf fel siafft ddianc ar gyfer Pwll Glo Blaenant a leolwyd ar ochr arall y bryn. Ar ôl i Lofa Blaenant gau ym 1993, diffoddwyd y pypiau dŵr gan achosi i lefel y dŵr yn y pwll godi. O ganlyniad i hyn, bu arllwysiad o ddŵr llygredig (gyda chrynodiad Fe 200-400 mg L⁻¹) ac asidig (pH 3.2) o fynedfa Ynysarwed Isaf i mewn i gamlas Castell-nedd gan achosi dyddodiad ocradd oren llachar dros 12 km (Younger, 1997).

Lleolwyd Pwll Glo Glyncastell (SS 834 028; G2) oddeutu 3 km i'r gogledd-ddwyrain o Ynysarwed yn rhan isaf dyffryn Castell-nedd (Geroni et al., 2009). Yn wahanol i G1, cloddiwyd am wythïen Rhondda Rhif 1 yn y lofa hon – er gwaethaf lleoliad agos y ddwy lofa i'w gilydd – sy'n cynnwys llai o *byrit*. Ar ôl i'r lofa gau yn y 1800au hwyr, bu dŵr llygredig yn arllwys o fynedfa Tyn-y-cwm. Yn y 1980au, rhwystrwyd llif y dŵr y tu mewn i'r pwll – mwy na thebyg o ganlyniad i ddymchwel twnnel tanddaearol – gan achosi gorlif o hen siafft aer 400 m i ffwrdd (Watson, 2007). Yn y 1990au, adeiladwyd system rheolaeth mudiad gan Asiantaeth yr Amgylchedd a'r Awdurdod Glo lle cawsai'r dŵr ei bwmpio o ddyfrdwl i system trin dŵr goddefol.

Ar ôl i Byllau Glo Morlais a Brynlliw gau ym 1983, achosai'r dŵr a ryddheid o'r siafft ym Morlais (SS 572 022; G3) broblemau llygredd yn yr afonydd cyfagos, ac mae'n parhau i wneud hynny heddiw (Geroni, 2011). Mae'r dŵr sy'n arllwys o'r safle hwn yn gyflenwad i Foryd Lluchwr, a briodolwyd iddo'r teitl 'Safle o Ddiddordeb Gwyddonol Arbennig'. Amcangyfrifwyd i dros 400 tunnell o ocr gael ei ddyddodi ers i'r dŵr ddechrau llifo o'r pwll (ibid). Mae'r dŵr, sydd â chyfradd llifiant hyd at 298 L e⁻¹, yn alcaliaidd (pH ~6) ac er mor agos yw'r safle i'r foryd, nid ystyrir bod y dŵr yn halwynog.

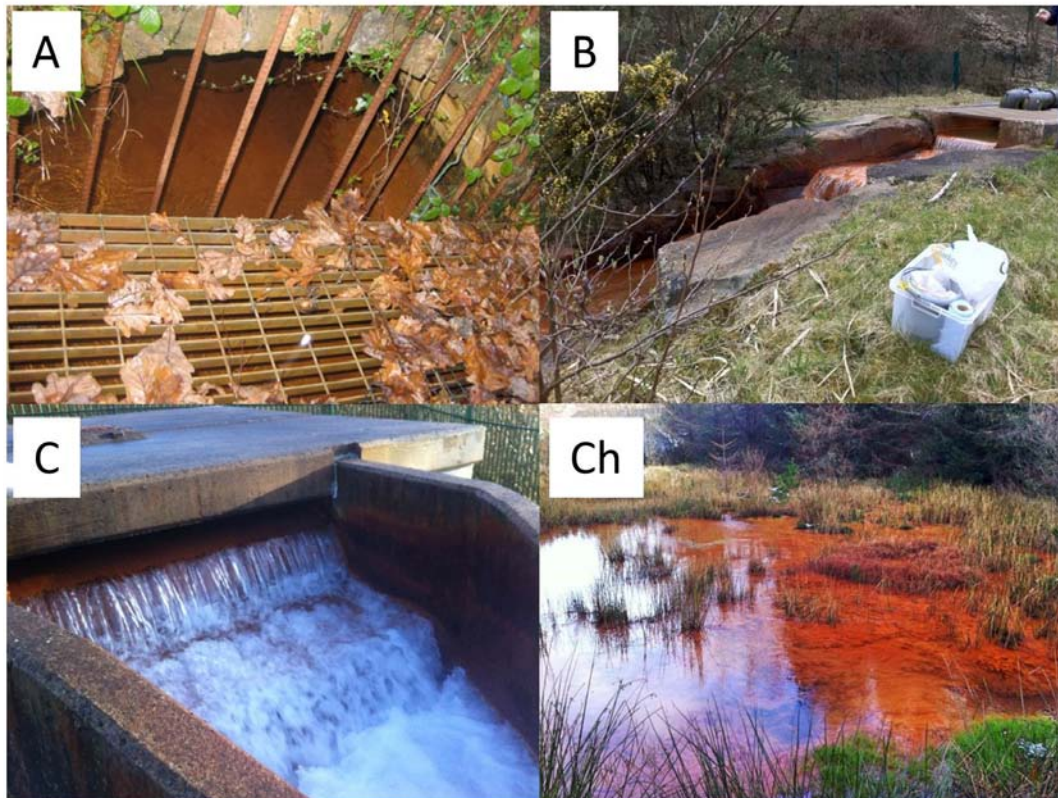
Adeiladwyd system trin dŵr goddefol Garth Tonmawr (SS 816 972; G4) fel rhan o'r prosiect glanhau Dŵr Mwyngloddio Afon Pelenna ym 1994. Ar ôl i'r lofa gau yn ystod y 1960au bu achosion llygredd yn yr afon gyfagos, a ffurfiwyd dyddodion Fe oren llachar (Bearcock, 2007). Yn wahanol i'r safleoedd eraill a astudiwyd yn y gwaith hwn, nid yw'r dŵr llygredd a ffurfiwyd yng Nglofa Garth Tonmawr yn draenio o hen fynedfa neu siafft glofa. Yn hytrach, achosai'r dŵr drafferthion i'r amgylchedd lleol drwy ffurfio ffynnon sy'n amrywiol ei maint drwy gydol y flwyddyn ac felly'n anodd ei thrin gan nad oes ganddi darddle penodol. Ailgyfeirir y dŵr o'r afon drwy sianel cyn cyrraedd y system trin dŵr.

2.2 Dulliau samplu

Casglwyd samplau dŵr o darddiad y dŵr llygredig ym mhob un o'r pedwar safle (Ffigur 4) bob tri mis rhwng Ebrill 2011 a Mai 2012. Hidlwyd y dŵr drwy bapur hidlo cellwlos nitrad *Whatman* <0.22 µm cyn cael ei storio mewn cynhwysydd *polyethylen* dwysedd uchel a lanhawyd ag asid nitrig (crynodiad o 10%) a'i rinsio mewn dŵr distyll (18.2 MΩ cm¹). Llygrwyd y poteli samplu o flaen llaw gyda sampl dŵr wedi ei hidlo o'r safle cyn eu llenwi hyd at yr ymyl er mwyn cael gwared ar unrhyw lygredd a lleihau'r cyfaint aer yn y botel. Paratowyd dau sampl ar gyfer bob safle; un ar gyfer dadansoddiad cemegol catïonau yn cynnwys asid nitrig (crynodiad o 50%) i ostwng y pH <2 (*n* = 1), ac un ar gyfer dadansoddiad cemegol anionau heb asid nitrig (*n* = 1). Ar gyfer pob trip gwaith maes, casglwyd sampl dyblyg o un o'r lleoliadau er mwyn asesu'r dull samplu. Cyfrifwyd y cyfeirnod amrywiant (CA) ar gyfer y samplau dyblyg gan ddefnyddio Hafaliad 5, ac ar gyfer Fe, calsiwm (Ca), magnesiwm (Mg) a sodiwm (Na), roedd y CA <1 %.

$$\text{Cyfeirnod amrywiant (\%)} = \frac{\text{gwyriad safonol}}{\text{cymedr}} \times 100 \quad (5)$$

Mesurwyd pH ac Eh yn y maes gan ddefnyddio dyfais pH HANNA HI 9025 *microcomputer*. Ar gyfer mesur pH, defnyddiwyd stiliwr (*probe*) cwmni VWR a oedd wedi ei galibradu â hydoddiannau byffer. Er mwyn mesur Eh, defnyddiwyd stiliwr hydrogen wedi ei safoni. Trosglwyddwyd y samplau i'r labordy o fewn 10 awr a'u cadw'n oer (~4°C) nes iddynt gael eu dadansoddi. Mesurwyd crynodiad yr anionau o fewn 24 awr a chrynodiad y catïonau o fewn mis.



Ffigur 4: Safleoedd samplu maes glo de Cymru – (A) Ynysarwed, (B) Glyncastell, (C) Morlais ac (Ch) Garth Tonmawr

2.3 Technegau dadansoddol

Defnyddiwyd spectrosgopeg amsugniad atomeg (SAA; Perkin Elmer AAnalyst 400) wedi ei galibradu â hylifau safonol er mwyn mesur cyfanswm Fe (hynny yw Fe^{2+} ac Fe^{3+}). Mesurwyd cywirdeb yr offeryn gan ddefnyddio hylif sy'n cynnwys crynodiad penodol o elfennau hybrin (NIST 1643e - elfennau hybrin mewn dŵr) a gwelwyd bod y canlyniadau o fewn 12% i'r gwir grynodiad ar gyfer Ca, potasiwm (K), Mg, a Na. Mae crynodiad Fe NIST 1643e yn rhy isel i'w fesur drwy ddefnyddio'r dull hwn. Mesurwyd union gywirdeb yr offeryn drwy fesur sampl dethol sawl gwaith. Cyfrifwyd y CA (Hafaliad 5) ar gyfer crynodiad Fe mewn sawl sampl dethol a ail-fesurwyd a gwelwyd bod crynodiad pob sampl yn debyg i grynodiad y sampl blaenorol (CA <1% ar gyfer pob sampl dethol). Defnyddiwyd dull cromatograffaeth ionau er mwyn mesur crynodiad SO_4^{2-} yn y dŵr gan ddefnyddio offer DIONEX DX100 gyda cholofn cyfnewid catïonau IonPac AS4A-SC a sampler awtomatig AS-40. Defnyddiwyd hylifau safonol i galibradu'r offer. Gan ddefnyddio'r CA, amcangyfrifwyd bod union gywirdeb yr offeryn yn <10% (Fuge et al., 1991). Defnyddiwyd dull titradu asid-bas clasurol yn erbyn asid hydroclorig wedi ei safoni (0.01M L^{-1}) er mwyn mesur crynodiad bicarbonad yn y dŵr (HCO_3^-).

2.4 Data ychwanegol

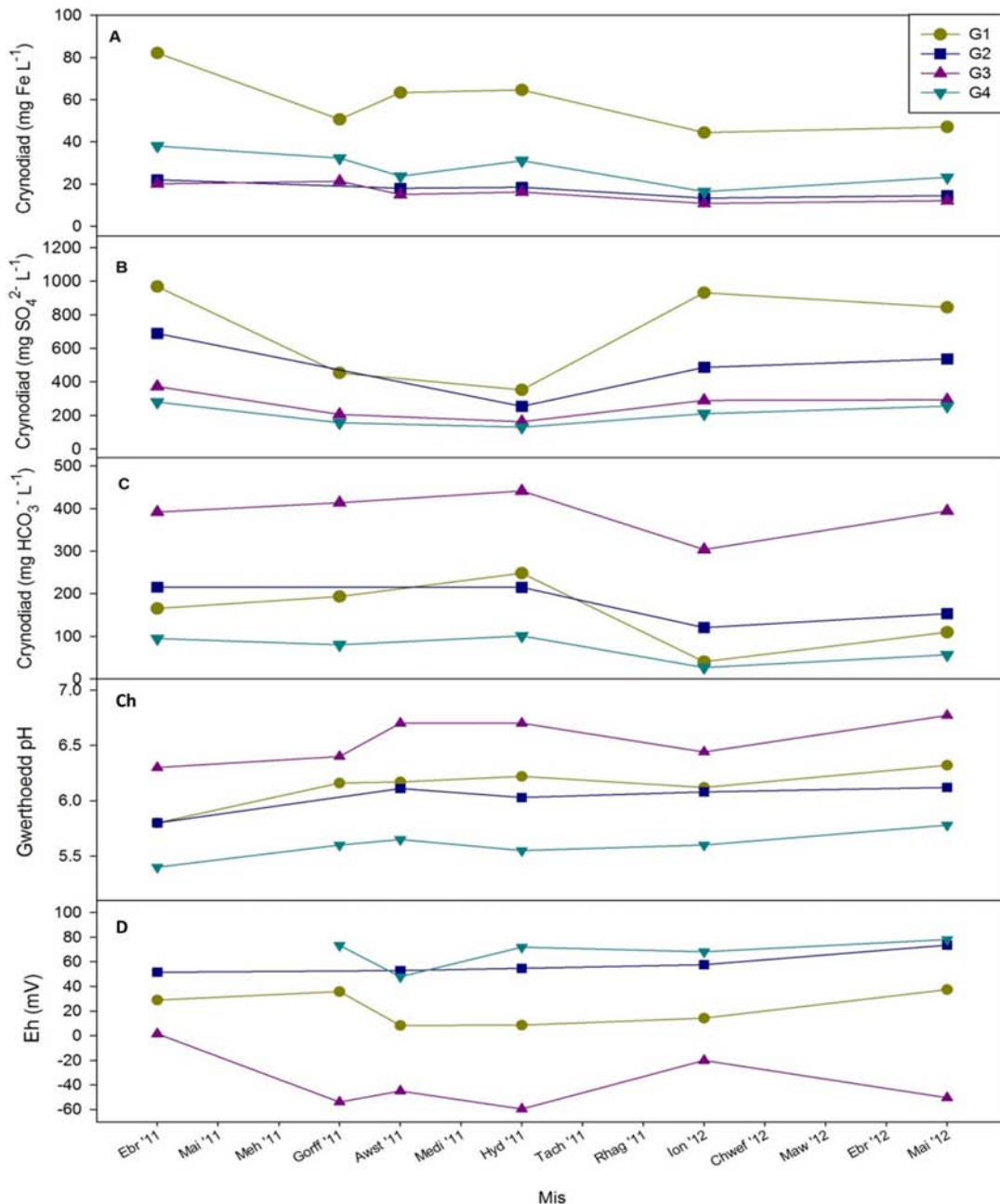
Er mwyn deall data cemegol y samplau dŵr a sut mae newidiadau tymhorol yn effeithio ar grynodiadau elfennau (Fe yn bennaf), pH ac Eh, casglwyd data ar gyfer glawiad yn yr ardal. Cysylltwyd â'r 'National River Flow Archive' (NRFA, dim dyddiad) er mwyn cael gafael ar ddata cyfartaledd glawiad misol (mm) tair gorsaf fedryddu o gwmpas yr ardal lle casglwyd y samplau dŵr. Defnyddiwyd data o orsafoedd Resolfen (A) a Threbanos (B) (Ffigwr 2) i gyfrifo cyfartaledd glawiad misol (mm) yr ardal dros y cyfnod samplu.

3.0 Canlyniadau a thrafodaeth

3.1 Canlyniadau

Mae'r canlyniadau ar gyfer Fe yn dangos mai'r dŵr sy'n llifo o lofa G1 sydd â'r crynodiad uchaf o'i gymharu â'r tair glofa arall. Mesurwyd y crynodiad uchaf o Fe yn G1 yn ystod Ebrill 2011 (82 mg L^{-1} ; Ffigwr 5A), ond erbyn Mai 2012 gostyngodd y crynodiad i 48 mg L^{-1} , sy'n parhau i fod ddwywaith yn fwy na chrynodiad uchaf y tri sampl arall o'r un mis. Y crynodiad lleiaf a fesurwyd oedd yn G3 yn ystod Ionawr 2012 (10 mg Fe L^{-1} ; Ffigwr 5A). Dros y cyfnod samplu, roedd gan G2 a G3 grynodiadau cymharol sefydlog; e.e., amrywiodd grynodiad Fe yn G2 rhwng 13 a 22 mg L^{-1} . Yn wahanol i hynny, roedd crynodiadau Fe yn G1 a G4 yn amrywio'n dymhorol, yn enwedig yn G1, gyda'r crynodiadau'n lleihau yn ystod Gorffennaf 2011 ac yn cynyddu rhwng Awst a Thachwedd 2011 (Ffigwr 5A). Erbyn Ionawr 2012, roedd crynodiadau Fe yn G1 a G4 wedi gostwng unwaith eto (44 ac 16 mg L^{-1} , yn ôl eu trefn).

Gwelwyd amrywiad tymhorol yng nghrynodiad SO_4^{2-} yn G1 hefyd, ond, yn wahanol i Fe, lleihaodd y crynodiad yn ystod Hydref 2011 (352 mg L^{-1} ; Ffigwr 5B) cyn cynyddu erbyn Ionawr 2012 (844 mg L^{-1}). Roedd newidiadau tymhorol yn effeithio'n fwy ar grynodiad SO_4^{2-} yn G1 a G2 nag yn G3 a G4; e.e., roedd y crynodiad yn amrywio rhwng 352 a 986 mg L^{-1} yn G1, a rhwng 130 a 280 mg L^{-1} yn G4 (Ffigwr 5B). Mae'r berthynas rhwng Fe a SO_4^{2-} yn gymhleth (Ffigwr 6A), ac wrth ystyried yr holl samplau,



Ffigwr 5: Newidiadau yng nghryodiadau (A) haearn (Fe), (B) sylffad (SO₄²⁻) a (C) bicarbonad (HCO₃⁻), a newidiadau yng ngwerthoedd pH (Ch) ac Eh (D) rhwng Ebrill 2011 a Mai 2012 ym mhob un safle (G1 = Ynysarwed, G2 = Glyncastell, G3 = Morlais, G4 = Garth Tonmawr)

mae'r berthynas yn un bositif (cyfeirnod cydberthynol rhestrol Spearman (rs) = 0.28) ond nid yw'n un arwyddocaol (P > 0.05).

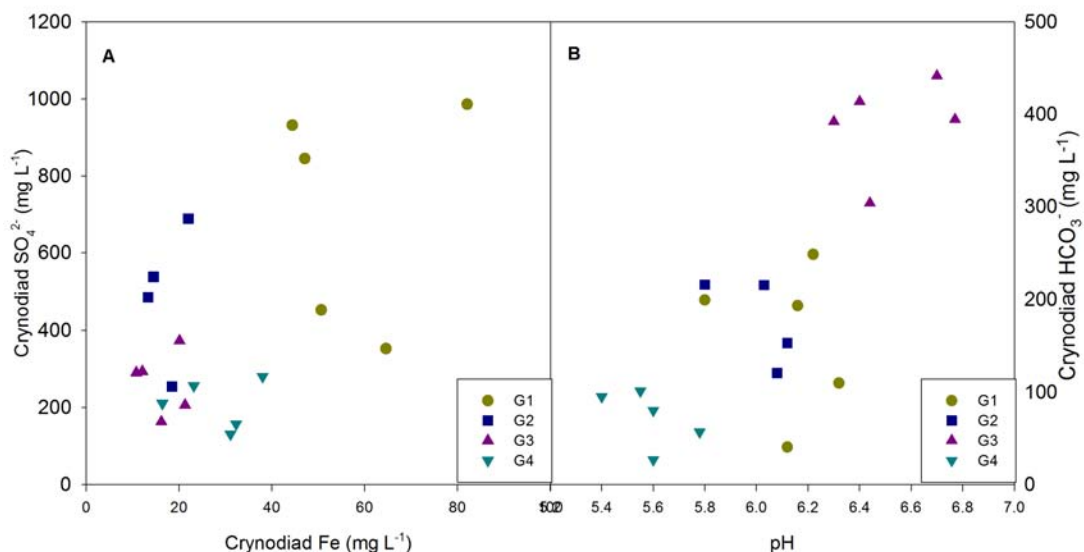
Yn ôl y samplau, roedd crynodiadau HCO₃⁻ yn gymharol sefydlog ym mhob safle dros y cyfnod samplu (Ffigwr 5C) ond roedd gostyngiad yn y crynodiad yn G1 a G3 yn ystod Ionawr 2012. Er enghraifft, gostyngodd y crynodiad yn G1 rhwng Hydref 2011 a

lonawr 2012 o 248 mg L⁻¹ i 40 mg L⁻¹, yn ôl eu trefn. Roedd y crynodiadau yn safle G3 bron ddwywaith yn fwy na'r safleoedd eraill drwy gydol y flwyddyn (Ffigwr 5C). Mesurwyd y crynodiadau isaf HCO₃⁻ yn G4 yn ystod mis Ionawr 2012 (27 mg L⁻¹).

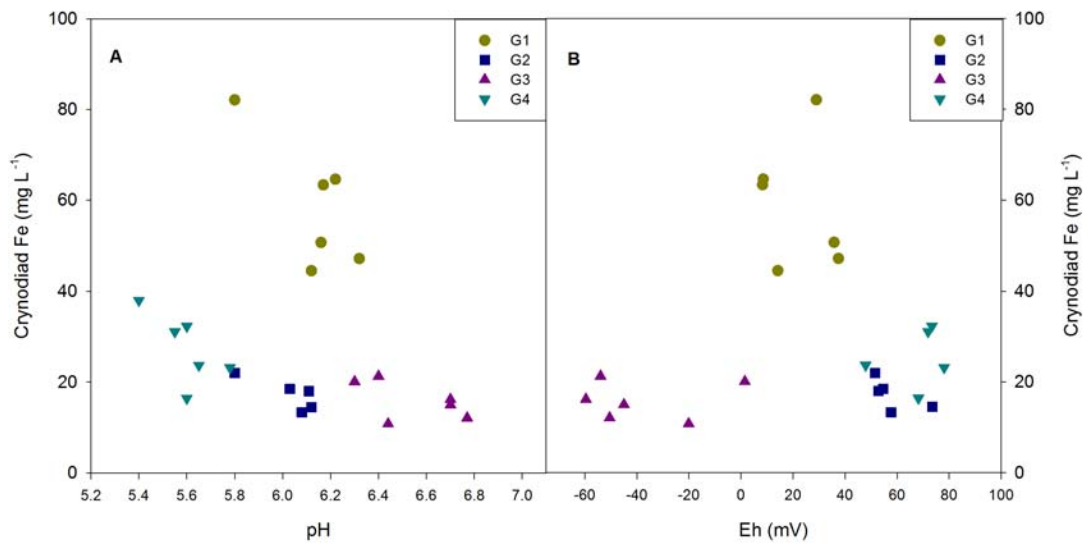
Mae'r newidiadau pH ac Eh yn dangos newid tymhorol dros y cyfnod samplu (Ffigwr 5CH a D). Yn gyffredinol, cynyddodd y pH rhwng Ebrill ac Awst 2011 cyn gostwng. Yna, cafwyd cynnydd unwaith eto yn ystod Mai 2012. Er enghraifft, cynyddodd y pH yn safle G3, y safle â'r pH mwyaf alcaliaidd, o 6.3 i 6.7 rhwng Ebrill ac Awst 2011, yn ôl eu trefn. Mesurwyd y pH mwyaf isel yn G4 gyda'r pH uchaf a recordiwyd o'r safle oddeutu 5.6. Wrth ystyried yr holl samplau, mae'r gydberthynas rhwng pH a chrynodiad HCO₃⁻ yn un bositif gref ($r_s = 0.76$; $n = 19$) ac yn arwyddocaol ($P < 0.005$). Felly, wrth i'r crynodiad HCO₃⁻ gynyddu, mae'r pH hefyd yn cynyddu (Ffigwr 6B). Yn wahanol i hynny, mae'r gydberthynas rhwng pH a chrynodiad Fe ($n = 23$; Ffigwr 7A) yn negatiff ($r_s = -0.31$) ac yn arwyddocaol o isel ($P > 0.005$).

Dangosodd y mesuriadau ar gyfer Eh batrwm gwahanol i'r pH, a gwelwyd gostyngiad yn yr Eh rhwng Ebrill ac Awst 2011, yn enwedig yn safle G3 (Ffigwr 5D). Safle G3 oedd y safle â'r Eh isaf (-38 mV ar gyfartaledd) ac felly mae'r dŵr yn fwy anocsig na'r safleoedd eraill. Dros y cyfnod samplu, ni welwyd newid sylweddol yn Eh dŵr safle G4, sydd â'r gwerthoedd Eh mwyaf positif (amrediad o 47.9 i 67.9 mV). Rhwng Gorffennaf ac Awst 2011, lleihaodd yr Eh yn safle G1 yn sylweddol o 35.8 i 8.3 mV a gwelwyd yr un peth yn safle G4 (gostyngiad o 73.4 i 47.9 mV). Yn ôl y data a gasglwyd yn yr astudiaeth, mae'r berthynas rhwng Fe a Eh yn un bositif wan ($r_s = 0.09$) ac yn arwyddocaol o isel ($P > 0.05$) ar gyfer y pedwar safle (Ffigwr 7B).

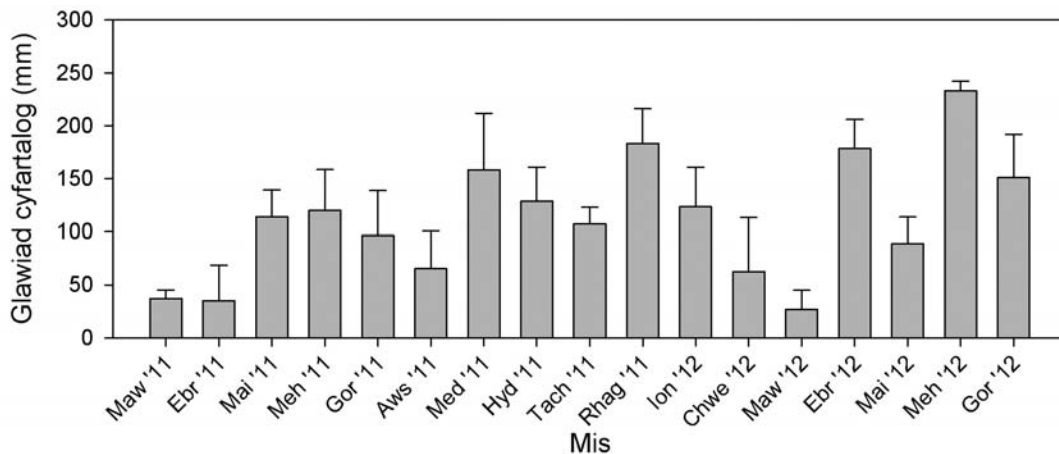
Wrth ystyried y safleoedd bob yn un, mae'r berthynas yn newid rhywfaint. Ceir cydberthynas bositif heb fod yn arwyddocaol ($r_s = 0.2$; $P > 0.05$) wrth gymharu



Ffigwr 6: Y gydberthynas rhwng (A) haearn (Fe) a sylffad (SO₄²⁻), a rhwng (B) pH a'r crynodiad carbonad (HCO₃⁻) yn mhob safle rhwng Ebrill 2011 a Mai 2012 (G1 = Ynysarwed, G2 = Glyncastell, G3 = Morlais, G4 = Garth Tonmawr)



Ffigwr 7: Y gydbertynas rhwng (A) pH a'r crynodiad haearn (Fe), a rhwng (B) Eh a'r crynodiad Fe ym mhob un safle rhwng Ebrill 2011 a Mai 2012 (G1 = Ynysarwed, G2 = Glyncastell, G3 = Morlais, G4 = Garth Tonmawr)



Ffigwr 8: Data cyfartaledd glawiad y mis (mm) a gasglwyd gan ddwy orsaf fedryddu ym maes glo de Cymru (Resolfen (A) a Threbanos (B), Ffigwr 2) rhwng Mawrth 2011 a Gorffennaf 2012. Mae'r bariau gwall (error bars) yn cynrychioli'r cyfeirnod amrywiant ar gyfer pob mis (cyfeirnod amrywiant = (gwyrriad safonol/cymedr) x 100) (Data NRFA)

gwerthoedd Eh â'r crynodiad Fe yn safle G4 ($n = 5$) tra bod y gydbertynas yn samplau G2 ($n = 6$) yn un negyddol wan ($r_s = -0.03$), ac yn arwyddocaol o isel ($P > 0.05$). Gwelwyd cydbertynas negyddol gryfach yn safleoedd G1 a G3 ($n = 6$; $r_s = -0.31$ a -0.26 , yn ôl eu trefn), felly wrth i'r Eh gynyddu, mae crynodiadau Fe hydawdd yn gostwng. Nid yw'r cydbertynasau hyn, serch hynny, yn arwyddocaol ar gyfer y ddau safle ($P > 0.05$ ar gyfer G1 a G3).

Dangosir data'r glawiad misol a gasglwyd yn y gorsafoedd medryddu yn Ffigwr 8. Mae'r ffigwr yn dangos cyfartaledd glawiad (mm) y tair gorsaf ar gyfer pob mis rhwng Mawrth

2011 a Gorffennaf 2012. Roedd y glawiad lleiaf ym mis Mawrth 2011 a 2012 (37 a 29 mm y mis, yn ôl eu trefn). Cafwyd y glawiad mwyaf yn ystod Mehefin 2012 gyda glawiad o 241 mm ar gyfartaledd. Roedd y glawiad ym mis Ebrill 2012 yn fwy na'r glawiad y misoedd blaenorol a chanlynol; e.e., cafwyd glawiad o 188 mm ym mis Ebrill tra bod glawiad mis Mawrth a Mai 2011 yn 29 a 100 mm, yn ôl eu trefn. Roedd hyn hefyd yn wir ar gyfer mis Medi 2011 a Rhagfyr 2011 (Ffigwr 8).

3.2 Trafodaeth

Mae crynodiadau uchel o Fe hydawdd a SO_4^{2-} yn y dŵr yn nodweddiadol o ddaduniad *pyrit* (FeS_2), gyda'r crynodiadau Fe a fesurwyd yn yr astudiaeth hon yn fwy (sawl gwaith yn fwy) na'r crynodiad a osodwyd gan y CFD ($<1 \text{ mg L}^{-1}$). Gall crynodiad SO_4^{2-} ar gyfartaledd mewn dŵr naturiol ledled y byd amrywio o <0.3 i 1400 mg L^{-1} , a gall dŵr morol gynnwys cymaint â $2700 \text{ mg SO}_4^{2-} \text{ L}^{-1}$ (Salimnen et al., 2005; De Vos et al., 2006). Cyfartaledd crynodiadau afonydd a nentydd maes glo de Cymru nad effeithiwyd gan brosesau mwyngloddio yw $10\text{-}100 \text{ mg L}^{-1}$, sy'n is na'r mwyngloddio (Blackwell, data nas cyhoeddwyd).

Mesurwyd y crynodiadau uchaf o Fe hydawdd a SO_4^{2-} yn safle G1 lle cloddiwyd am wythien lo Rhondda Rhif 2, gwythien a oedd yn cynnwys canran gymharol uchel o S pyritig. Roedd gan lofa Morlais y crynodiad Fe lleiaf ond mae arllwysiad y dŵr o'r lofa honno'n uchel (hyd at 298 L e^{-1}) sy'n golygu bod llwythiad dyddiol Fe hefyd yn uchel. Ceir y pH mwyaf alcalïaidd yn y safle hwn, ac felly mae'n bosib i ddyddodiad ddigwydd wrth i'r dŵr gael ei bwmpio o'r lofa cyn casglu samplau'r astudiaeth hon.

Roedd gan fwyngloddiau G2 a G3 crynodiadau cymharol sefydlog o ran Fe tra bod newid tymhorol i'w weld ym mwyngloddiau G1 a G4. Gall y newidiadau hyn fod o ganlyniad i newidiadau cyfanswm glawiad yr ardal. Yn gyffredinol, wrth ystyried G1 yn unig, roedd cynnydd yng nglawiad yr ardal yn achosi lleihad yng nghrynodiad Fe, tra bod glawiad isel yn digwydd oddeutu'r un adeg â chynnyddiau yng nghrynodiadau Fe (e.e. Ebrill 2011 a Ionawr 2012; Ffigurau 5A ac 8). Er hynny, nid yw'r berthynas yn eglur oherwydd diffyg gwybodaeth am gyfnod preswylid y dŵr yn y glafeydd. Hynny yw, mae'n bosib i oedi ddigwydd yn y system ac felly nid yw cyfnod o lawiad uchel yn golygu arllwysiad mawr di-baid o'r glafeydd, ac oherwydd hynny gellir cael oedi o fisoedd neu hyd yn oed flynyddoedd.

Un dechneg a ellir ei defnyddio er mwyn ymchwilio effaith glawiad ar arllwysiad y glafeydd a ffynhonnell y dŵr yw isotopau sefydlog megis ocsigen, hydrogen a charbon. Mae'n bosib cymharu dadansoddiad isotopig y dŵr â dadansoddiad isotopig y glawiad er mwyn amcangyfrif hyd preswylid y dŵr a'r ffynhonnell (Meredith a Kuzara, 2012).

Mae'r crynodiadau cymharol uchel o HCO_3^- , a pH niwtral, mwy na thebyg o ganlyniad i brosesau niwtraleiddio creigiau carbonad (Waybrant et al., 2002) a gwelir hyn mewn sawl hen lofa a mwyngloddio (Nordstrom, 2011). Mae'r adwaith niwtraleiddio yn cynhyrchu HCO_3^- ac mae'r crynodiadau a fesurwyd yng nglofeydd de Cymru yn fwy na chrynodiadau'r afonydd lleol sydd rhwng 40 a 100 mg L^{-1} (Blackwell, data nas cyhoeddwyd).

Mae'r pH yn amrywio'n dymhorol yn y glofeydd; mae hyn yn gysylltiedig â'r newidiadau mewn crynodiad HCO_3^- , a all effeithio ar grynodiad elfennau niweidiol. Yn G1, e.e., mesurwyd y crynodiad mwyaf o Fe (82 mg L^{-1}) a'r pH isaf ar gyfer y safle (pH 5.8) yn ystod Ebrill 2011. Pan fo'r pH yn gostwng, mae cyfraddau ocsidio digymell Fe^{2+} hefyd yn gostwng, sy'n golygu bod mwy o Fe hydawdd yn bresennol. Mae'r berthynas rhwng HCO_3^- a pH i'w gweld yng nglofa G4 sydd â'r crynodiad HCO_3^- mwyaf isel a'r pH lleiaf. Mae crynodiad Fe yn y safle hwn yn fwy na chrynodiad Fe yng nglofeydd G2 a G3; mae hyn yn annisgwyl gan fod yr Eh yn gymharol uchel, a hynny oherwydd bod y draeniad yn creu pwll lle gall y dŵr adweithio yn erbyn yr ocsigen yn yr atmosffer. Disgwylir i'r Fe ddyddodi dan yr amodau hyn, ond gan fod y pH yn isel, mae'r cyfraddau ocsidio digymell yn lleihau, sy'n golygu bod mwy o Fe hydawdd yn bresennol yn y dŵr (Stumm a Morgan, 1996; Drever, 1997).

Mae'r gwerthoedd Eh yn gallu rheoli dyddodiad mwynau Fe a gall fod yn un rheswm dros y berthynas negyddol rhwng Fe hydawdd a SO_4^{2-} . Mae daduniad *pyrit* yn achosi crynodiadau uchel o Fe hydawdd a SO_4^{2-} yn y dŵr a disgwylir perthynas bositif rhwng y ddau. Mae'r berthynas yn bositif ($r_s = 0.28$) ond gall Eh fod yn un rheswm pam nad yw'n arwyddocaol ($P > 0.05$), a hynny gan fod Fe yn fwy sefydlog mewn dŵr dan amodau anocsig. Mae'n bosib fod gweithgareddau microbaidd hefyd yn gyfrifol am y berthynas gymhleth wrth i'r crynodiad Fe hydawdd gael ei ddyddodi gan ficrobau sy'n medru ocsideiddio Fe^{2+} mewn amgylcheddau pH niwtral (e.e. *Gallionella ferruginea*) (Neubauer, 2002; Webber et al., 2006).

Rhwng Gorffennaf ac Awst 2011, bu gostyngiad yn yr Eh yn G1 tra gwelwyd cynnydd yng nghrynodiad Fe; mae hyn oherwydd bod Fe yn fwy sefydlog yn y dŵr dan amodau Eh isel ac felly ceir lleihad yn nyddodiad mwynau Fe. Gwelwyd gostyngiad yn yr Eh rhwng Gorffennaf ac Awst 2011 yng nglofeydd G1 a G4. Roedd arllwysiad y glofeydd hyn wedi ei effeithio'n dymhorol ac mae'n bosib fod newid yng nghyflwr ocsigenedig (sef Eh) y dŵr yn gysylltiedig â newid hinsoddol yr ardal, a hynny am y gwelwyd cynnydd yn y glawiad rhwng Mai a Gorffennaf 2011 tra gwelwyd gostyngiad ym mis Awst. Mae'n bosib y dengys hyn i oedi ddigwydd yn y system ynghyd â phreswylad dŵr o ddau i dri mis. Serch hynny, fel y soniwyd uchod, mae angen rhagor o wybodaeth – e.e. cyfansoddiad isotopau sefydlog y dŵr – er mwyn ymchwilio i hyn ymhellach.

4.0 Dulliau adfer dŵr ym maes glo de Cymru

Dros y blynyddoedd diwethaf mae'r Awdurdod Glo wedi adeiladau 14 system trin dŵr ym maes glo de Cymru. Mae'r systemau hyn yn amrywio o ran eu dull adferiad dŵr llygredig oherwydd gwahaniaethau rhwng cyfansoddiad cemegol a pharamedrau pH ac Eh y dŵr, ynghyd â'r gallu i gael gafael ar dir a chymorth ariannol. Oherwydd hyn, ceir systemau dŵr actif a goddefol sydd hefyd yn amrywio o ran eu maint. Disgrifir y systemau sy'n bresennol yn safleoedd G1-4 mewn mwy o fanylder isod.

4.1 Ynysarwed (G1)

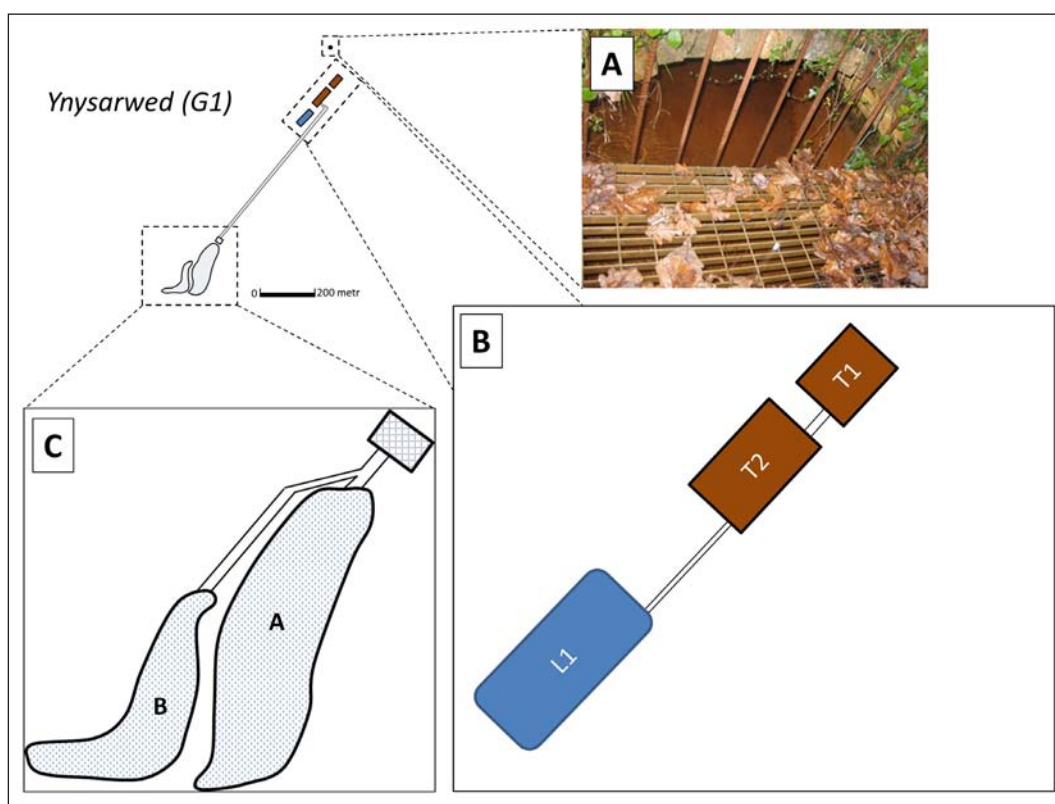
Yn dilyn y llif cyntaf ym 1993, adeiladwyd system trin dŵr actif wedi ei gyfuno â system trin dŵr goddefol er mwyn cwblhau cam glanhau terfynol wrth ymyl mynedfa'r lofa (Ffigwr 9). Caiff y dŵr ei bwmpio o'r fynedfa i danciau awyru lle ychwanegir defnydd

alcali er mwyn cynyddu'r pH a hybu dydoddiad mwynau haearn. Cam olaf y system actif yw paratoi'r dyddodion ar gyfer cael eu hanfon i safle tirlenwi trwy echdynnu unrhyw ddŵr ychwanegol. Cyflawnir hyn drwy ddefnyddio peiriant allgyrchu ond, gan fod y deunydd yn glynu wrth ochr fewnol yr allgyrchydd, mae'n broses anodd ac arweinir yn aml at fethiannau. Rhagfynegwyd i'r crynodiad Fe yn y dŵr leihau dros y blynyddoedd, a hynny o 400 mg L^{-1} i oddeutu 30 mg L^{-1} , ac adeiladwyd y system yn ôl y rhagfynegiad hwn. Heddiw, er gwaethaf gostyngiad sylweddol, mae'r crynodiad Fe bron ddwywaith y crynodiad disgwyliedig ugain mlynedd ar ôl adeiladu'r system. Pan ysgrifennwyd yr erthygl hon, nid oedd y cam ychwanegu alcali yn y system actif yn weithredol ac roedd y peiriant allgyrchu wedi torri, felly disgwyliid i'r system oddefol yn unig ostwng crynodiad Fe yn y dŵr.

Mae'r system oddefol yn cynnwys dau wely corsen (*reed beds*) aerobig a rhennir y dŵr o'r system actif rhwng y ddau. Yn sgil prinder tir wrth ymyl y system actif, lleolwyd y gwelyau corsen 0.5 km i'r de-orllewin (Ffigwr 9).

4.2 Glynacastell (G2)

Mae'r system trin dŵr yn y safle hwn yn ddibynnol ar ddulliau goddefol yn unig ac mae'r dŵr yn cael ei bwmpio o'r dyfrdwl i ddau lagŵn trionglog. Dilyniir hyn gan gyfres o dri gwely corsen sy'n gostwng y crynodiadau Fe cyn y rhyddheir y dŵr i'r system hydrolegol (Ffigwr 10).



Ffigwr 9: System actif a goddefol Ynysarwed (G1) lle mae (A) yn dangos mynedfa'r lofa a'r safle samplu, (B) yn dangos yr adeiladau system actif lle mae awyriad y dŵr yn digwydd yn nhanciau T1 a T2 a lle ychwanegir defnydd alcalïaidd, a (C) diagram sgematig o'r gwelyau cyrs.

4.3 Morlais (G3)

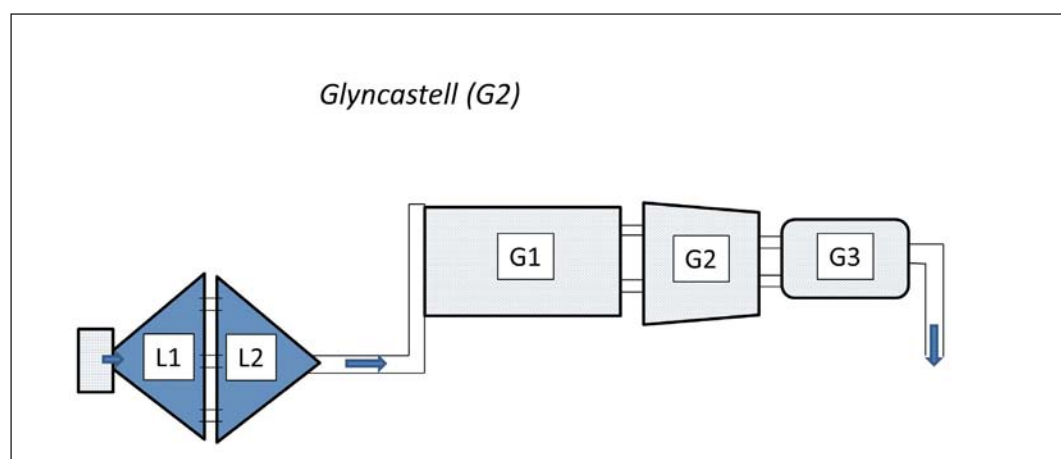
Yn 2002, adeiladwyd system trin dŵr goddefol yn cynnwys dau lagŵn a rhaeadr fach gychwynnol, gyda'r prif ddiben o gynyddu crynodiad ocsigen yn y dŵr (Ffigwr 11). Oherwydd cyfaint cymharol fawr y dŵr sy'n draenio'r lofa, mae arwynebedd y system hon hefyd yn fawr – un o'r mwyaf ym maes glo de Cymru (30, 718 m²; Geroni et al., 2009).

4.4 Garth Tonmawr (G4)

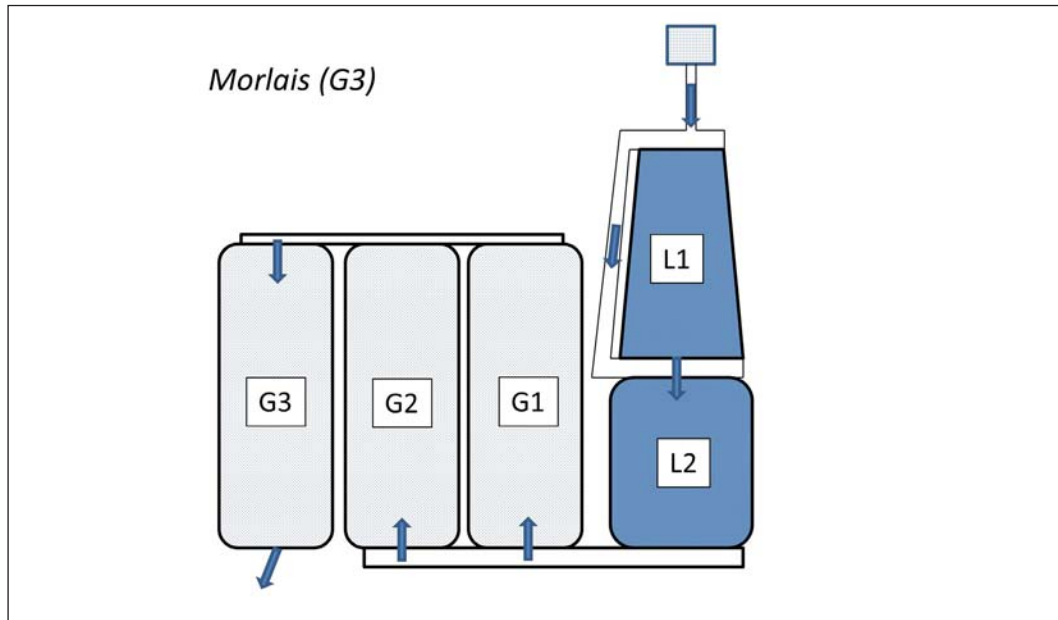
Ceir system trin dŵr goddefol fwy cymhleth yng Ngarth Tonmawr gyda chyfres o danciau i annog llif dan yr wyneb. Adeiladwyd pum tanc yn y safle (Ffigwr 12) a'r prif ddiben yn nhanciau 1, 3 a 5 – sy'n cynnwys lagynau aerobig – yw ocsigenu'r dŵr er mwyn annog dyddodiad mwynau Fe. Yn sgil crynodiad cymharol uchel o ocsigen yn y dŵr, nid oedd modd defnyddio draenau calchfaen anocsig ar eu pennau eu hunain er mwyn cynyddu'r pH. Felly, mae systemau cynhyrchu rhydwythiad ac alcalinedd yn bresennol yn nhanciau 2 a 4 lle mae dŵr yn trylifo drwy haenen o swbstrad compost cyn adweithio yn erbyn yr agregau calchfaen oddi tano (Rees a Connelly, 2003). Mae dyfnder dŵr y system wedi cynyddu'n sylweddol ers adeiladu'r system ym 1999, ac o ganlyniad, nid yw'r system yn gweithio fel y dyluniwyd. Mae'r dŵr yn nhanciau 2 a 4 yn dueddol o beidio â thrylifo drwy'r haenau compost a chalcfaen ond yn hytrach yn llifo dros y wal sy'n gwahanu'r tanciau (ibid).

4.5 Effeithlonrwydd systemau'r presennol

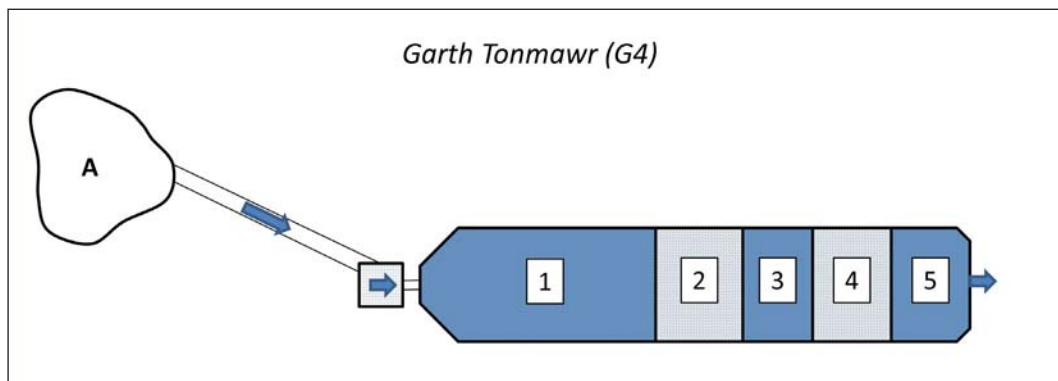
Trafodwyd effeithlonrwydd y systemau hyn mewn mwy o fanylder mewn astudiaethau eraill (Rees a Connelly, 2003; Wiseman ac Edwards, 2004; Geroni et al., 2009) ond ceir disgrifiad talfyredig yma. Rhwng 1999 a 2002, roedd cyfradd gwaredu Fe gan y system yn G4 oddeutu 96% gyda'r crynodiad Fe yn gostwng i 1 mg L⁻¹ cyn i'r dŵr gyrraedd Afon Blaenpelenna (Wiseman ac Edwards, 2004). Fodd bynnag, disgwylir i'r gyfradd ostwng wrth i'r system orlenwi â dyddodion ocradd ac wrth i'r dŵr osgoi tanciau 2 a 4 (Rees a Connelly, 2002). Yn ôl Geroni et al. (2009) dim ond 57% o'r crynodiad Fe²⁺ o lofa G2 oedd



Ffigwr 10: System trin dŵr goddefol Glyncastell (G2) lle mae L1 ac L2 yn cynrychioli lagynau a G1-3 yn cynrychioli gwelyau corsen (addaswyd gan yr awdur o waith Geroni et al., 2009)



Ffigwr 11: System trin dŵr goddefol Morlais (G3) lle mae L1 ac L2 yn cynrychioli lagynau a G1-3 yn cynrychioli gwelyau corsen (addaswyd gan yr awdur o waith Geroni et al., 2009)



Ffigwr 12: System trin dŵr goddefol Garth Tonmawr lle mae A yn cynrychioli'r pwll lle mae'r dŵr yn cyrraedd yr wyneb. Yn nhanciau 1, 3 a 5, ceir lagynau aerobig. Yn nhanciau 2 a 4 ceir systemau cynhyrchu alcalinedd a systemau achosi rhydwytho gyda haenen o agregau calchfaen o dan swbstrad organig (compost).

yn cael ei ocsideiddio erbyn i'r dŵr adael y lagynau, sy'n golygu fod Fe yn cyrraedd yr afonydd cyfagos. Er i'r crynodiad Fe terfynol yr adroddwyd amdano yn yr astudiaeth honno fod yn llai na'r crynodiad a osodwyd gan y CFD (0.8 mg L^{-1}), mae'r awduron yn nodi i samplau blaenorol groesi'r trothwy o 1 mg L^{-1} yn aml. Yn wahanol i'r G2, roedd cyfraddau ocsideiddio – ac felly gyfraddau gostwng crynodiad – Fe^{2+} yn G3 oddeutu 94% gyda'r crynodiad Fe $<1 \text{ mg L}^{-1}$ erbyn i'r dŵr adael y system (ibid). Mae'r system oddefol yn safle G1 yn awr yn gyfan gwbl gyfrifol am ostwng crynodiadau Fe yn y dŵr. Ar hyn o bryd, mae'r system yn llwyddo ond mae'r crynodiad Fe wrth i'r dŵr adael gwelyau A a B fymryn yn uwch nag 1 mg L^{-1} (3.1 a 1.5 mg L^{-1} , yn ôl eu trefn; Blackwell, N. L. data nas cyhoeddwyd).

Sylffad yw un o'r anionau lleiaf gwenwynig ac oherwydd i'r lefelau presennol fod yn is na'r trothwy niweidiol i rai rhywogaethau dyfrol ($>1000 \text{ mg L}^{-1}$), nid oes angen gostwng y crynodiad. Dengys samplau dŵr a gasglwyd o arllwysfa G1 na cheir newid yng nghrynodiad y SO_4^{2-} wrth i'r dŵr lifo drwy'r system (Blackwell, data nas cyhoeddwyd). Mae hyn hefyd yn wir am G4 (Rees a Connelly, 2003), sy'n dystiolaeth nad yw'r dŵr yn treiddio drwy danciau 2 a 4; petai hynny'n digwydd, disgwylir rhydwythiad SO_4^{2-} o ganlyniad i brosesau microbaidd.

5.0 Casgliadau

Mae'r canlyniadau'n dangos i grynodiadau uchel o Fe a SO_4^{2-} mewn dŵr sy'n arllwys o bedair hen lofa yn rhan orllewinol maes glo de Cymru gael eu mesur yn ystod y cyfnod samplu. Mae'r crynodiadau hyn yn nodweddiadol o ddaduniad *pyrit*, sydd, yn yr achos hwn, yn bresennol yn y glo. Mesurwyd y crynodiadau uchaf o Fe yng nglofa G1 o ganlyniad i'r wythien y cloddiwyd amdani yno (Rhondda Rhif 2). Roedd y berthynas rhwng crynodiadau Fe a SO_4^{2-} yn gymhleth, ac ni olygai cynnydd mewn Fe gynydd mewn SO_4^{2-} . Mae'n bosib bod gweithgareddau microbaidd yn ogystal â pharamedrau pH ac Eh yn effeithio ar y berthynas hon. Yn wahanol i hynny, roedd y berthynas rhwng HCO_3^- a pH yn fwy eglur ac yn ystadegol arwyddocaol, sy'n awgrymu bod creigiau carbonad yn y system danddaearol yn achosi i'r dŵr llygredig gael ei niwtraleiddio. Awgrymwyd gan y data glawiad a chanlyniadau cemegol y dŵr y ceir oedi yn y system, h.y. bod cyfnod preswylid dŵr yn y glofeydd oddeutu dau i dri mis. Mae angen gwneud rhagor o waith ar hyn gan ddefnyddio technegau mwy addas er mwyn ymchwilio i'r oedi hwnnw, e.e., trwy fesur isotopau sefydlog yn y dŵr.

Mae'r gwaith yn dangos bod problemau llygredd dŵr yn yr ardal hon yn parhau drwy gydol y flwyddyn, ac er i grynodiadau elfennau niweidiol – Fe yn bennaf – newid yn dymhorol, mae'r gwerthoedd yn parhau'n fwy na'r lefel drothwy a osodwyd gan y CFD ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$). Ar hyn o bryd, mae'r systemau trin dŵr a ddefnyddir yn y pedair glofa yn llwyddo i gael gwared ar yr Fe o'r dŵr fel bod y canlyniadau terfynol yn is na'r lefelau a bennwyd gan y CFD. Mae rhychwant oes y systemau trin dŵr goddefol, fodd bynnag, yn broblem y bydd angen ei datrys yn fuan, a phwysleisia'r erthygl bod angen datblygu systemau mwy effeithiol a chynaliadwy.

6.0 Cydnabyddiaeth

Hoffai Nia Blackwell gydnabod cefnogaeth gan Brifysgol Aberystwyth a'r Arolwg Daearegol Prydeinig (BGS) am gyllido ei doethuriaeth ym Mhrifysgol Aberystwyth o dan y cynllun BUFI ('BGS University Funding Initiative'). Sefydlwyd sawl cydweithrediad yn ystod y gwaith hwn a hoffai Nia Blackwell ddiolch yn benodol i'r Athro Barrie Johnson a Dr Kevin Hallberg ym Mhrifysgol Bangor, ynghyd â Dr Jenny Bearcock a Dr Barbara Palumbo-Roe yn y BGS. Diolch arbennig i Dr Gareth Griffith ac Andy Brown o Brifysgol Aberystwyth am drafodaethau adeiladol a chymorth yn y labordy. Daw'r data sy'n dangos cyfartaledd glawiad misol y tair gorsaf fedryddu o'r Archif Llif Afonol Cenedlaethol (NRFA).

Llyfryddiaeth

Awdurdod Glo (dim dyddiad), <http://coal.decc.gov.uk/> (Cyrchwyd: 29 Medi 2013).

Banks, D., Younger, P. L., Arnesen, R. T., et al. (1997), 'Mine-water chemistry: the good, the bad and the ugly', *Environmental Geology*, 32 (3), 157-74.

Barclay, W. J., Taylor, K., Thomas, L. P., et al. (1988), *Geology of the South Wales Coalfield. Part V. The Country around Merthyr Tydfil* (Keyworth, British Geological Survey).

Batty, L. C., a Younger, P. L. (2002), 'Critical role of macrophytes in achieving low iron concentrations in mine water treatment systems', *Environmental Science and Technology*, 36, 3997-4002.

Bearcock, J. M. (2007), 'Remediation of mine drainage using naturally-occurring iron oxyhydroxides', traethawd PhD., Prifysgol Aberystwyth, Aberystwyth.

Bearcock, J. M., Perkins, W. T., Dinelli, E., et al. (2006), 'Fe(II)/Fe(III) 'green rust' developed within ochreous coal-mine drainage sediment in South Wales, UK', *Mineralogical Magazine*, 70, 731-41.

Borja, A., Franco, J., Valencia, V., et al. (2004), 'Implementation of the European water framework directive from the Basque country (northern Spain): a methodological approach', *Marine Pollution Bulletin*, 48 (3-4), 209-18.

Borja, A., Josefson, A. B., Miles, A., et al. (2007), 'An approach to the intercalibration of benthic ecological status assessment in the North Atlantic ecoregion, according to the European Water Framework Directive', *Marine Pollution Bulletin*, 55 (1-6), 42-52.

Cole, J. E., Miliorizos, M., Frodsham, K., et al. (1991), 'Variscan structures in the opencast coal sites of the South Wales Coalfield', *Proceedings of the Ussher Society*, 7, 375-9.

Cornell, R. M., a Schwertmann, U. (2000), *The iron oxides structure, properties, reactions, occurrence and uses* (New York: VCH Publishers).

Coulton, R., Bullen, C., a Hallet, C. (2003a), 'The design and optimisation of active mine water treatment plants', *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 273-9.

Coulton, R., Bullen, C., Dolan, J., et al. (2003b), 'Wheal Jane mine water active treatment plant – design, construction and operation', *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 245-52.

Davies, S. J., Guion, P. D., a Gutteridge, P. (2012), 'Carboniferous sedimentation and volcanism on the Larussian margin', yn Woodcock, N., a Strachan, R. (goln), *Geological History of Britain and Ireland* (2ail argraffiad, Oxford: Blackwell Science), tt. 227-70.

De Vos, W., Tarvainen, T., a Salminen, R. M., et al. (2006), *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 – Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps and Related Publications* (Espoo: Geological Survey of Finland).

Drever, J. I. (1997), *The Geochemistry of Natural Waters: surface and groundwater environments* (3ydd argraffiad, New Jersey: Prentice Hall).

- Evans, K. A., Watkins, D. C., a Banwart, S. A. (2006), 'Rate controls on the chemical weathering of natural polymineralic material II. Rate controlling mechanisms and mineral sources and sinks for element release from four UK mine-sites, and implications for comparison of laboratory and field scale weathering studies', *Applied Geochemistry*, 21, 377-403.
- Falkowski, P. G., Fenchel, T., a Delong, E. F. (2008), 'The microbial engines that drive earth's biogeochemical cycles', *Science*, 320, 1034-9.
- Fowler, P., a Gayer, R. A. (1999), 'The association between tectonic deformation, inorganic composition and coal rank in the bituminous coals from the South Wales coalfield, United Kingdom', *International Journal of Coal Geology*, 42, 1-31.
- Fuge, R., Laidlaw, I. M. S., Perkins, W. T., et al. (1991), 'The influence of acid mine and spoil drainage on water quality in the mid-Wales area', *Environmental Geochemistry and Health*, 13 (2), 70-5.
- Geroni, J. N. (2011), 'Rates and mechanisms of chemical processes affecting the treatment of ferruginous mine water', traethawd PhD, Prifysgol Caerdydd, Caerdydd.
- Geroni, J. N., Sapsford, D. J., Barnes, A., et al. (2009), 'Current performance of passive treatment systems in South Wales, UK', *Abstracts of the International Mine Water Conference*, 19-23 Hydref (Pretoria: Internation Mine Water Association), 486-94.
- Hedrich, S., Schlomann, M., a Johnson, D. B. (2011), 'The iron-oxidizing proteobacteria', *Microbiology*, 157 (6), 1551-64.
- Hedrich, S., a Johnson, D. B. (2012), 'A modular continuous flow reactor system for the selective bio-oxidation of iron and precipitation of shwertmannite from mine-impacted waters', *Bioresource Technology*, 106, 44-9.
- Hornung, M., Le-Grice, S., Brown, N., et al. (1990), 'The role of geology and soils in controlling water acidity in Wales', yn Edwards, R. W., Gee, A. S., a Stoner, J. H. (goln), *Acid Waters in Wales* (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), 55-66.
- Johnson, D. B. (2003), 'Chemical and microbiological characteristics of mineral spoils and drainage waters at abandoned coal and metal mines', *Water, Air and Soil Pollution*, 3, 47-66.
- Johnson, D. B., a Hallberg, K. B. (2002), 'Pitfalls of passive mine water treatment', *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 1 (4), 335-43.
- Johnson, D. B., a Hallberg, K. B. (2003), 'The microbiology of acid mine drainage', *Research in Microbiology*, 154, 466-73.
- Johnson, D. B., a Hallberg, K. B. (2005), 'Acid mine drainage remediation options: a review', *Science of the Total Environment*, 338, 3-14.
- Lewis, B. (1971), *Coal mining in the eighteenth and nineteenth centuries* (London: Longman).
- Meredith, E. L., a Kuzara, S. L. (2012), 'Identification and quantification of base flow using carbon isotopes', *Ground Water*, 50 (6), 959-65.

- Neubauer, S. C., Emerson, D., a Megonigal, J. P. (2002), 'Life at the energetic edge: kinetics of circumneutral iron oxidation by lithotrophic iron-oxidizing bacteria isolated from the wetland-plant rhizosphere', *Applied Environmental Microbiology*, 68, 3988-95.
- Nordstrom, D. K. (2011), 'Mine waters: acidic to circumneutral', *Elements*, 7, 393-8.
- Nordstrom, D. K., Jenne, E. A., a Ball, J. W. (1979), 'Redox equilibria of iron in acid mine waters. Chemical Modeling in Aqueous Systems', yn Jenne, E. A. (gol.), *Chemical Modeling in Aqueous Systems* (California: American Chemical Society), tt. 51-79.
- Nordstrom, D. K., ac Alpers, C. N. (1999), 'Geochemistry of acid mine waters', yn Plumlee, G. S., a Logsdon, M. J. (goln), *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits: Part A. Processes, Techniques and Health Issues* (Littleton: Society of Economic Geologists), tt. 133-60.
- NRFA (dim dyddiad), <http://www.ceh.ac.uk/data/nrfa/> (Cyrchwyd: 15 Mehefin 2013).
- Parker, K. (2003), 'Mine water management on a national scale: experiences from the coal authority', *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 181-90.
- Rees, B., a Connelly, R. (2003), 'Review of design and performance of the Pelenna wetland systems', *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 293-300.
- Rose, A. W., a Cravotta, C. A., III (1998), 'Geochemistry of coal mine-drainage', yn Brady, K. B. C., Smith M. W., a Schueck, J. (goln), *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania* (Harrisburg: Department of Environmental Protection), 1.1-1.22.
- Saliminen, R., Batista, M. J., Bidovec, M., et al. (2005), *Geochemical Atlas of Europe, Part 1 – Background Information, Methodology and Maps* (Espoo: Geological Survey of Finland)
- Singer, P. C., a Stumm, W. (1970), 'Acidic mine drainage: the rate-determining step', *Science*, 167, 1121-3.
- Shen, Y., a Buick, R. (2004), 'The antiquity of microbial sulphate reduction', *Earth-Science Reviews*, 64, 243-72.
- Stumm, W., a Morgan, J. J. (1996), *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters* (New York: John Wiley & Sons).
- Wardle, P. (2011), 'The selective heating of pyrite in the coal using microwave energy', traethawd PhD., Prifysgol Nottingham, Nottingham.
- Watson, I. A. (2007), 'Managing minewater in abandoned coalfields using engineered gravity discharges', *Proceedings of the IMWA Symposia* (Cagliari: International Mine Water Association), 355-9.
- Waybrant, K. R., Ptacek, C. J. a Blowes, D. W. (2002), 'Treatment of mine drainage using permeable reactive barriers: column experiments', *Environmental Science and Technology*, 36 (6), 1349-1356.
- Webber, K., Achenbach, L. A., a Coates, J. D. (2006), 'Microorganisms pumping iron: anaerobic microbial oxidation and reduction', *Nature Reviews Microbiology*, 4, 752-64.

Whitehead, P. G., Hall, G., Neal, H., et al. (2005), 'Chemical behaviour of the Wheal Jane bioremediation system', *Science of the Total Environment*, 338 (1-2), 41-51.

Wilby, R. L., Orr, H. G., Hedger, M., et al. (2006), 'Risks posed by climate change to the delivery of the Water Framework Directive in the UK', *Environment International*, 32 (8), 1043-55.

Wiseman, I. M., ac Edwards P. J. (2004), 'Constructed wetlands for minewater treatment: performance and sustainability', *Water and Environment Journal*, 18 (3), 127-32.

Younger, P. L. (1997), 'The longevity of minewater pollution: a basis for decision-making', *The Science of the Total Environment*, 194/195, 457-66.

Younger, P. L. (2000), 'The adoption and adaptation off passive treatment technologies for mine waters in the United Kingdom', *Mine Water and the Environment*, 19, 84-97.

Younger, P. L., a Robins, N. S. (2002), 'Challenges in the characterization of the hydrogeology and geochemistry of mined ground', *Mine Water Hydrology and Geochemistry*, 198, 1-16.

Younger, P. L., Jayaweera, A., Elliot, A., et al. (2003), 'Passive treatment of acidic mine waters in subsurface-flow systems: exploring RAPS and permeable reactive barriers', *Land Contamination and Reclamation*, 11 (2), 127-13.