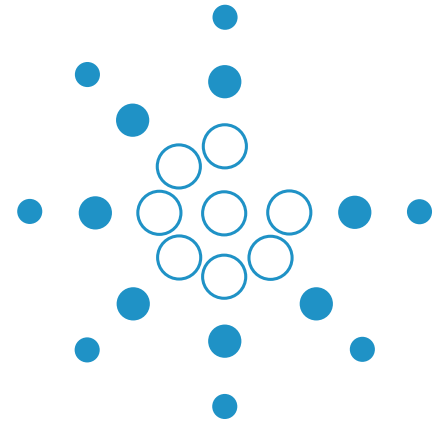


# Gwerddon



*Cyfnodolyn Academaidd Cymraeg*  
*Golygydd: Yr Athro Ioan M. Williams*

Rhif **18** (Rhifyn arbennig: Y Gwyddorau) • Medi 2014 • ISSN 1741-4261

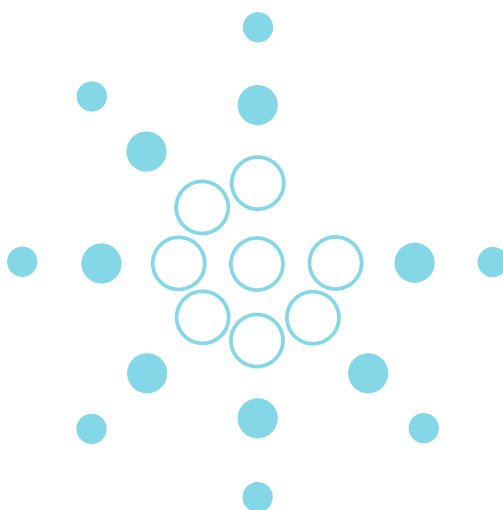
---

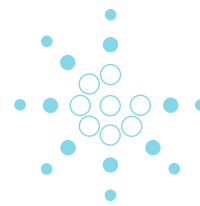
# Gwerddon

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

---





## Bwrdd Golygyddol

Golygydd:	Yr Athro Ioan M. Williams
Is-Olygydd:	Dr Hywel Griffiths, Prifysgol Aberystwyth
Cynorthwyyr Golygyddol:	Dr Gwenllian Lansdown Davies a Dr Angharad Watkins
Cadeirydd y Bwrdd Golygyddol:	Dr Eleri Pryse, Prifysgol Aberystwyth
Aelodau'r Bwrdd Golygyddol:	Dr John S. Davies Dr Noel A. Davies Dr Myfanwy Davies, Prifysgol Bangor Dr Arwyn Jones, Prifysgol Caerdydd Dr Carwyn Jones, Prifysgol Fetropolitan Caerdydd Yr Athro Rhys Jones, Prifysgol Aberystwyth Yr Athro Diarmait Mac Giolla Chríost, Prifysgol Caerdydd Dr Hefin Jones, Prifysgol Caerdydd Yr Athro Jane Aaron, Prifysgol De Cymru Dr Enlli Thomas, Prifysgol Bangor Mr Wyn Thomas, Prifysgol Bangor Dr Daniel G. Williams, Prifysgol Abertawe Dr Prysor Williams, Prifysgol Bangor

E-gyfnodolyn academiaidd cyfrwng Cymraeg yw *Gwerddon*, sy'n cyhoeddi ymchwil ysgolheigaidd yn y Gwyddorau, y Celfyddydau a'r Dyniaethau. Cyhoeddir *Gwerddon* ar y we o leiaf ddwywaith y flwyddyn. Arferir cyfraniadau gan arbenigwyr yn y meysydd perthnasol yn y modd arferol. Ceir gwybodaeth lawn am amcanion, polisiau golygyddol, canllawiau i awduron a chanllawiau i arfarnwyr ar y wefan: [www.gwerddon.org](http://www.gwerddon.org)

Cyllidir *Gwerddon* gan y Coleg Cymraeg Cenedlaethol.

Cysylltwch â *Gwerddon* drwy e-bostio [gwybodaeth@gwerddon.org](mailto:gwybodaeth@gwerddon.org) neu drwy'r post: *Gwerddon*, Canolfan Gwasanaethau'r Gymraeg, Prifysgol Aberystwyth, Llawr B, Adeilad Hugh Owen, Aberystwyth, Ceredigion, SY23 2AX.

ISSN 1741-4261

Hawlfraint *Gwerddon*

[www.gwerddon.org](http://www.gwerddon.org)



# Cynnwys

Golygyddol	5
Crynodebau	6
Summaries	8
Erthygl 1: Dr Huw Morgan, 'Ehangiad ardaloedd bywiog o'r Haul i'r gofod'	10
Erthygl 2: Jeff Smith, 'Model amldonfedd i ddelweddu a dadansoddi meysydd magnetig yng nghorona'r Haul'	23
Erthygl 3: Dr Manon Jones, 'Selliau seicolegol darllen yn rhugl: adolygiad'	41
Erthygl 4: Nia Blackwell, William T. Perkins ac Arwyn Edwards, 'Etifeddiaeth cloddio am lo ym maes glo de Cymru: llygredd dŵr ac opsiynau i'w leihau'	55
Cyfranwyr	77

# Golygyddol

Dyma ail rifyn *Gwerddon* sy'n canolbwyntio ar y Gwyddorau. Rhifyn 13 oedd y cyntaf, a'i gynnwys yn deillio o gynhadledd wyddonol gyntaf y Coleg Cymraeg Cenedlaethol a gynhaliwyd yn Aberystwyth ym Mehefin 2012. Daw pedair erthygl y rhifyn hwn o'r ail gynhadledd a gynhaliwyd ym Mehefin 2013. Gobeithiwn y daw cyfle i gyhoeddi sawl erthygl arall a fydd yn deillio o'r gynhadledd arbennig hon yn y dyfodol, ac edrychwn ymlaen hefyd at weld cynnyrch cynhadledd eleni maes o law.

Gyda'r rhifyn hwn, 'rwyf yn rhoi gorau i olygyddiaeth *Gwerddon*. Daeth yr amser felly i ddiolch i bawb a'm cynorthwyodd ar hyd y daith. Tarddodd y cyfnodolyn o sgwrs mewn cyfarfod o Fwrdd Dysgu Drwy'r Gymraeg, Prifysgol Cymru, dan gadeiryddiaeth Gwilym Humphreys. Rwy'n amau na chredai rhyw lawer o aelodau'r Bwrdd yn y dyddiau hynny y byddai'n bosibl i'r fath brosiect lwyddo. Mae'r ffaith iddo lwyddo yn ddyledus i raddau helaeth i nifer o bobl ac ambell sefydliad a ddangosodd gefnogaeth hael a chyson. Y cyntaf o ran sefydliadau yw Prifysgol Aberystwyth, a ganiataodd i mi fentro yn y lle cyntaf ac a fu o hyd yn gefnogol. Yr ail yw'r Coleg Cymraeg Cenedlaethol a sicrhodd – o ganlyniad i'w nawdd a'i gefnogaeth – bod y fenter yn llwyddo a ffynnu. Mae fy nyled yn fawr i Dr Mari Elin Jones o Aberystwyth a Dr Ioan Matthews o'r Coleg, y mae'n rhaid dweud am y ddau ohonynt eu bod yn bobl sy'n gwneud pethau anodd yn hawdd. Ar eu hôl hwy, daw aelodau cynnar y Bwrdd a gydsyniodd â'm cais am gymorth i greu rhywbeth cwbl newydd, ynghyd ag aelodau diweddarach sy'n rhoi cyngor gwerthfawr, a hynny o'u hamser prin. Mae cydnabyddiaeth neilltuol yn ddyledus i gadeirydd cyntaf y Bwrdd, Dr Hefin Jones, a'r cadeirydd presennol, Dr Eleri Pryse. Rhaid sôn hefyd am is-olygydd y cyfnodolyn, Dr Hywel Griffiths, a'r nifer o bobl sydd wedi gweithredu fel cynorthwywyr golygyddol y byddai'r golygydd ei hun wedi bod yn ddiymadferth hebddynt.

Bu byw gyda *Gwerddon* hyd at y deunawfed rhifyn yn antur fawr. Sawl tro daeth â chwys i'm talcen, ond yn ddiweddar bu'r dyfroedd yn syndod o dawel. 'Rwyf yn hyderus mai felly y bydd o hyn ymlaen ac edrychwn ymlaen at weld sut y bydd yn datblygu yn nwylo medrus y golygydd newydd. Serch hynny, teimlaf fod sialens go ddifrifol yn ei wynebu. Ni all neb wadu i *Gwerddon* osod llwyfan defnyddiol ar gyfer yr academyddion ifainc a astudiodd ar gynllun ysgoloriaethau'r Coleg Cymraeg Cenedlaethol. Serch hynny, tra i ni lwyddo i greu llwyfan pwysig ar gyfer academyddion sefydledig mewn rhai meysydd academiaidd, nid yw hynny eto'n wir ym mhob maes. Mae gennym gyfeillion da ymhlith ein hacademyddion hyn, ond siomedig yw gorfod cyfaddef bod llawer gormod o Gymry Cymraeg sy'n gweithio ym mhrifysgolion Cymru a thu hwnt yn parhau i greu mai rhywbeth i'w gyhoeddi yn y Saesneg yn unig yw ymchwil academiaidd. Er mwyn gweithio'n groes i'r rhagfarn honno, manteisiwn ar y cyfle i gyflwyno *Gwerddon* i aelodau Cymdeithas Ddysgedig Cymru yn yr hydref. Un cam ymlaen fydd hynny; y cyntaf o sawl un arall y dylid eu cymryd cyn medru bwrw'r maen hwn i'r wal.

Ioan M. Williams

# Crynodebau

## Dr Huw Morgan, 'Ehangiad ardaloedd bywiog o'r Haul i'r gofod'

Mae gan yr Haul faes magnetig cymhleth sy'n ymdreiddio drwy'r ffotosffer (arwyneb yr Haul) i'r corona (atmosffer yr Haul). Ymddengys fod fflwcs magnetig newydd yn codi drwy arwyneb yr Haul ar ffurf dolenni caeëdig gydag un rhan o'r ddolen yn treiddio i'r ffotosffer, gan ehangu i'r corona. Mae'r broses yn nodweddiadol o ardaloedd bywiog yn y corona. Trwy gydol y broses, caiff y maes magnetig yn y corona ei greu a'i adnewyddu'n gyson. Mae hefyd yn bosibl i'r maes magnetig a phlasma (nwy trydanol egnïol) gael eu cludo allan o'r corona drwy lifo gyda gwynt yr Haul i'r heliosffer (y gofod yng nghynefin yr Haul sy'n cynnwys cysawd yr Haul). Ceir cludiant o'r fath yn ystod digwyddiadau ffrwydrol ar yr Haul. Yn ôl y llenyddiaeth gyfredol, ni cheir cludiant oni cheir digwyddiad ffrwydrol, ac felly pan na cheir ffrwydrad, disgwylir y caiff meysydd magnetig caeëdig ardaloedd bywiog y corona eu hynysu rhag yr heliosffer. Mae'r erthygl hon yn cyflwyno tystiolaeth wahanol i'r llenyddiaeth gyfredol. Mae'r arsylwadau a gyflwynir yn dangos y dystiolaeth gyntaf y gall y maes magnetig caeëdig ehangu'n uniongyrchol o'r corona heb ddigwyddiad ffrwydrol gan ffurfio rhan bwysig o wynt yr Haul. Cesglir y dystiolaeth drwy gymhwyso technegau delweddu newydd i arsylwadau o'r corona. Cyflwynir yr arsylwadau a thrafodir eu goblygiadau i'r darlun cyfredol a geir o'r prosesau sy'n cysylltu'r Haul â'r heliosffer.

## Jeff Smith, 'Model aml-donfedd i ddelweddu a dadansoddi meysydd magnetig yng nghorona'r Haul'

Mae'r Haul yn system ddynamig, gymhleth, sy'n llawn nodweddion diddorol a phwysig. Gellir modelu'r fath nodweddion drwy sawl dull, e.e. modelau Meysydd Di-rym Aflinol (NLFFF: *non-linear force-free field*). Yn y papur hwn, adeiladir efelychiadau NLFFF. Y bwriad yw amcangyfrif patrymau gofodol y maes magnetig yng nghromosffer a chorona'r Haul ynghyd â newidiadau yn yr egni rhydd sydd yn y system, fel colledion egni oherwydd ffrwydradau ar yr Haul. Mae gan y rhan fwyaf o fodolau sydd eisoes yn bodoli gydraniad amserol (*temporal cadence*) o 12 munud ar y gorau (h.y. efelychir y sefyllfa bob 12 munud). Mae'r dull a drafodir yn y papur hwn yn gwneud sawl bras amcan ond mae'n anelu at gyrraedd cydraniad amserol o 45 eiliad. Canfyddir bod y dull a ddefnyddir yma yn efelychu data synthetig yn llwyddiannus, ac wrth ymdrin â data go iawn, mae'n cynhyrchu delweddau sy'n aml yn cyfateb yn dda i arsylwadau. Gwelir sawl cwmp yn yr egni rhydd o fewn y system, sy'n cyfateb i ffrwydradau yr arsylwyd arnynt. Gyda hynny, rhoddir golwg newydd ar brosesau cyflym sydd i'w gweld ar yr Haul.

## Dr Manon Jones, 'Seiliau seicolegol darllen yn rhugl: adolygiad'

Mae deugain mlynedd o waith ymchwil wedi nodi sawl un o'r prosesau seicolegol sy'n sail i'r gallu i ddarllen. Serch hynny, tan yn ddiweddar, bu seiliau gwybyddol (*cognitive*) rhuglder darllen yn gymharol anhysbys. Yn yr adolygiad hwn, rhoddir disgrifiad o ruglder darllen fel ffenomen wybyddol a niwroffolegol, gan gynnwys y gwaith ymchwil a wnaed i ddeall y broses hon. Mae fy ngwaith i a'm cyd-weithwyr yn canolbwyntio ar y maes hwn, ac amlinellaf ein prif ganfyddiadau hyd yma. Deuir â'r gwaith i'w derbyn drwy amlinellu goblygiadau'r gwaith mewn perthynas â deall rhuglder darllen yn achos oedolion medrus ynghyd â'r rhai sydd â'r cyflwr dyslecsia.

## **Nia Blackwell, William. T. Perkins ac Arwyn Edwards, 'Etifeddiaeth cloddio am lo ym maes glo de Cymru: llygredd dŵr ac opsiynau i'w leihau'**

Mae cloddio am lo a phrosesau cysylltiedig wedi effeithio ar amgylchedd naturiol rhan orllewinol maes glo de Cymru wrth i ddŵr llygredig sy'n arllwys o hen lofeydd gyrraedd y system hydrolegol leol. Mae gwaddol y gwaith cloddio yn yr ardal hon yn cynnwys ffurfiant dŵr llygredig, a lifa o sawl hen lofa, yn ogystal â ffurfiant mwynau haearn. Yn yr erthygl hon trafodir y prosesau tanddaearol sydd ar waith yn y glofeydd sy'n arwain at ffurfiant dŵr llygredig a mwynau haearn. Ymdrinnir yn benodol â phedair o'r hen lofeydd gan edrych ar y gwahanol systemau trin dŵr a ddefnyddir ar y safleoedd hynny. Mae'r systemau yn trin y dŵr llygredig drwy gael gwared â'r haearn fel bod y crynodiadau terfynol yn is na'r trothwy a bennwyd gan y Gyfarwyddeb Fframwaith Dŵr.

## Summaries

### **Dr Huw Morgan, 'The expansion of solar active regions into space'**

The Sun's complex magnetic field permeates through the photosphere (the Sun's surface) and into the corona (the Sun's atmosphere). New magnetic fluxes arise from the photosphere in the form of closed loops which expand into the corona. This is a typical process of coronal active regions which creates and replenishes the coronal field. Magnetic field and plasma (energetic ionised gas) are transported through the corona and flow with the solar wind into the heliosphere (the region of space influenced by the Sun including the solar system). Transportation of this kind is seen during explosive events from the Sun. According to current thinking, the only transport of material from the closed field of active regions is through eruptive events, so in the absence of eruptions the active region plasma is isolated from the solar wind. This article presents evidence to the contrary. The observations show the first evidence of the direct, quiescent expansion of active region closed field into the extended corona without an eruption, thus forming an important part of the solar wind. The evidence is gained through the application of new image processing techniques to coronagraph observations. The observations are presented, and their implications are discussed in the context of the current model of Sun-heliospheric connections.

### **Jeff Smith, 'A multiwavelength model to visualise and analyse magnetic fields in the solar corona'**

The Sun is a dynamic, complex system, full of interesting and important features. These kinds of features can be modeled in various ways, such as with Non-Linear Force-Free Field (NLFFF) models. In this paper, NLFFF simulations are built. The intention is to estimate spatial patterns of the magnetic field in the solar chromosphere and corona and changes in the free energy in the system, in particular losses of energy as a result of solar eruptions. Most existing models have a temporal cadence of 12 minutes at best (that is, the situation is simulated every 12 minutes). The method discussed in this paper makes various approximations but it aims to achieve a temporal cadence of 45 seconds. The method used is found to successfully simulate synthetic data, and when dealing with real data, it produces images which frequently correspond well to observations. Several reductions in the free energy of the system are seen, corresponding to observed eruptions. By these means, new light is shed on rapid processes which can be seen on the Sun.

### **Dr Manon Jones, 'The psychological foundations of reading fluency: a review'**

Forty years of research into reading has elucidated many of the psychological processes underpinning the reading process, but until recently, the cognitive underpinnings of fluency have been relatively unknown. In this review, a description is provided of reading fluency as a cognitive and neurobiological phenomenon, including the research that has gone into understanding this process. My own and my colleagues' work has focused heavily on this area, and I outline our main findings to date. I end by outlining the implications of this work for our understanding of reading fluency in normally developed and dyslexic adults.



## **Nia Blackwell, William. T. Perkins and Arwyn Edwards, 'The legacy of coal mining in the south Wales coalfield: water contamination and remedial options'**

Historic coal mining and the associated processes have had a detrimental effect on the natural environment in the south Wales coalfield as contaminated mine drainage from abandoned mines discharges into the local hydrological system. The legacy of coal mining includes the discharge of contaminated mine drainage from several abandoned mines and the formation of insoluble iron minerals. This article discusses the underground processes that lead to the formation of contaminated water and iron minerals. Four abandoned coal mines located in the western part of the coal field and the remediation systems operational at these sites were investigated. Contaminated mine waters at these sites are being remediated through the removal of iron so that the final concentrations are in line with those recommended by the Water Framework Directive.

**Dr Huw Morgan**

---

**Ehangedd ardaloedd  
bywiog o'r Haul i'r gofod**

---

**Gwerddon**

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

---

# Ehangiad ardaloedd bywiog o'r Haul i'r gofod

**Dr Huw Morgan**

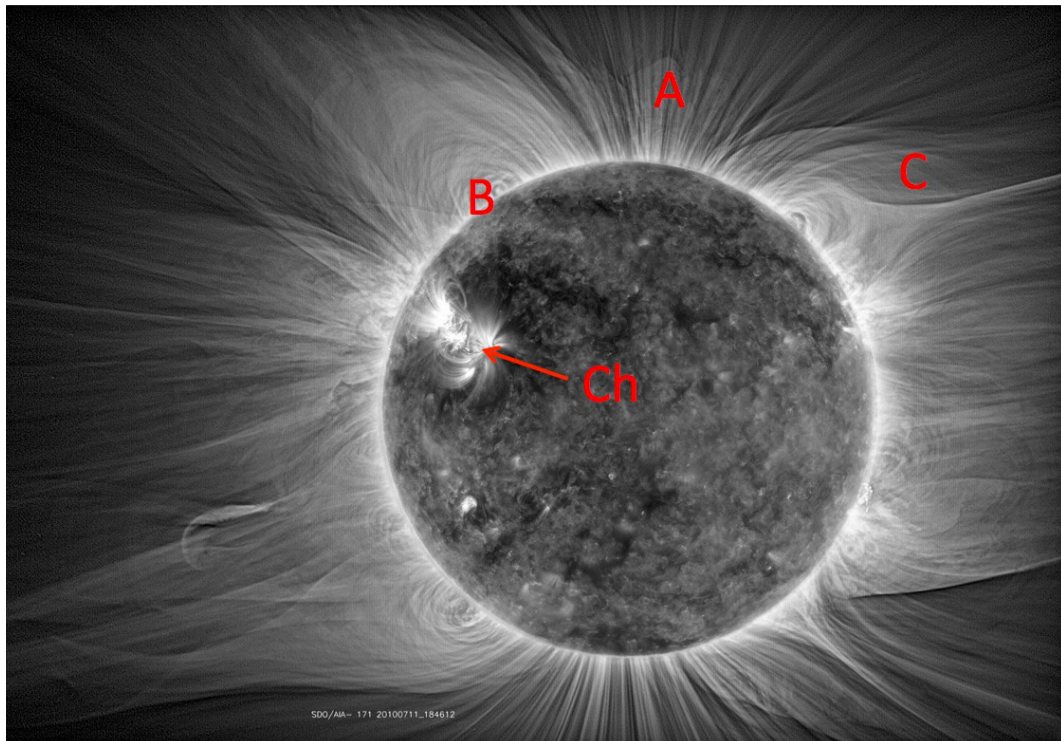
## 1. Cyflwyniad

Plasma poeth, magnetig yw corona'r Haul. Mae natur y corona yn dra gwahanol i'r hyn a geir yn atmosffer y Ddaear, a chynigia felly gyfleoedd unigryw i astudio amgylchedd eithafol. Mae deall y corona yn bwysig o ran cynyddu ein dealltwriaeth o blasma poeth, plasma magnetig, sêr eraill ynghyd â deall effaith yr Haul ar ei gysawd a'r Ddaear yn benodol. Mae'r corona'n ehangu i'r gofod rhyngblanedol ac yn llifo fel gwynt yr Haul i lenwi'r heliosffer. Mae'r Ddaear felly wedi'i hamgylchynu gan atmosffer yr Haul. Gall digwyddiadau ffrwydrol ger yr Haul daflu bwndeli o blasma egniol i'r gofod, sef alldafladau màs coronaidd (AMC). Yn achlysurol, mae AMC yn taro maes magnetig y Ddaear gyda'r potensial i niweidio systemau technolegol ein cymdeithas. Am sawl rheswm felly, mae'n bwysig deall sut y ffurfir gwynt yr Haul ynghyd â deall ei natur a'i nodweddion, yn ogystal ag o ba ardaloedd ger yr Haul y deillia'r gwynt ohonynt. Mae'r gwaith a gyflwynir yma'n canolbwyntio ar y pwynt olaf, yn benodol ar ffactor arsylwadol pwysig a all ddylanwadu ar fodelau o ffynhonnell y gwynt araf a dwys a ddaw o'r Haul. Er gwaethaf datblygiadau mawr mewn arsylwadau a modelau o'r Haul a'r corona dros y degawdau diwethaf, parha gryn ansicrwydd ynghylch tarddle'r gwynt araf.

Oddi mewn i'r Haul, ceir symudiadau o brotonau ac electronau mewn llwyth sy'n cynhyrchu maes magnetig cryf. Caiff peth o'r maes hwn ei gario i arwynebedd yr Haul trwy ddarfudiad. Mae'r fflwcs magnetig 'newydd' yn creu brychau haul (neu sbotiau tywyll) ar arwynebedd gweledol yr Haul (y ffotosffer), ac yn creu dolen sy'n ymestyn allan i'r atmosffer gyda'r troed-bwyntiau (*footpoints*) wedi'u gwreiddio yn y ffotosffer. Hynny yw, mae'r llinellau maes magnetig yn ymestyn mewn dolen o'r ffotosffer i'r atmosffer ac yn ôl drachefn i'r ffotosffer. Gelwir yr ardaloedd o'r corona sy'n amgylchynu'r brychau haul yn ardaloedd bywiog. Mae'r rhain yn ardaloedd lle mae'r plasma'n ddwys iawn, lle y'i cynhesir i dymheredd uwch na'r cyffredin. Labelir un ardal fywiog gyda'r llythren 'Ch' yn ffigur 1. Un nodwedd amlwg o ardaloedd bywiog mewn arsylwadau golau uwchfioled eithafol yw'r dolenni llachar, cymhleth. Mae'r rhain yn ddolenni o ddwysedd uchel sy'n olrhain cyfeiriad y maes magnetig caeëdig.

Trwy symudiadau'r plasma ar y ffotosffer, neu oddi tano, llusgir a throellir y maes magnetig oddi mewn i'r ardal fywiog. Felly, yn hytrach na bodoli mewn stad o egni isel, cordeddir y maes magnetig ac y mae felly'n storio egni, yn ddigon tebyg i fand elastig yn cael ei ymestyn neu ei droi. Dyhead y maes magnetig yw dychwelyd i stad o egni is, sy'n digwydd yn achlysurol trwy ddigwyddiadau catastroffig, cyflym, sy'n ailstrwythuro'r maes mewn amser byr iawn (eiliadau neu funudau). Mae'r broses hon yn ffurfio'r AMC mwyaf egniol a pheryglus. Yn gyffredinol, yr ailstrwythuro hyn ar lefel ffrwydrol, fawr (neu hefyd ar lefel fechan, gyson), yw'r unig fodd y gall y plasma mewn ardaloedd bywiog ddianc o'r maes caeëdig i ffurfio rhan o wynt yr Haul.

Yn raddol felly, bydd y maes magnetig dwys sy'n bodoli yn y brychau Haul yn ymwasgaru trwy brosesau graddol a ffrwydrol, gan arwain at ddifflaniad yr ardal fywiog a'r brychau. Trwy hyn, mae maes magnetig y corona yn adnewyddu'n gyson. Dengys darlun eang o faes magnetig corona'r Haul dair prif nodwedd. Dangosir hyn yn ffigur 1; ardaloedd o faes 'agored' sy'n ymestyn yn uniongyrchol o'r Haul i'r corona estynedig (label A yn ffigur 1), ardaloedd o faes magnetig caeëdig gyda'r llinellau maes magnetig yn codi mewn dolenni i'r corona cyn disgyn i'r ffotosffer (B), a maes magnetig agored sy'n pontio dros yr ardaloedd caeëdig cyn ymestyn i'r corona estynedig (C). Mae siâp y maes magnetig yn y tri math o ardal yn achosi i'r plasma ddatblygu priodweddau gwahanol, gan arwain at wahaniaethau mawr ym mhriodweddau'r gwynt heulog sy'n deillio o'r tri.



**Ffigur 1: Delwedd uwch-fioled eithafol o'r Haul wedi'i chyfuno â delwedd o'r corona estynedig mewn golau gweledol yn ystod eclips llwyr o'r Haul ar 11 Tachwedd 2010. Disgrifir y labeli yn y prif destun.**

O ardaloedd maes magnetig agored (A yn ffigur 1), daw gwynt cyflym o'r Haul a chanddo ddwysedd isel. Credir bod ardaloedd o faes agored sy'n pontio ardaloedd caeëdig (C) yn un ffynhonnell o wynt araf o'r Haul sydd â dwysedd uchel. Yn olaf, fel y nodwyd eisoes, ynysir y plasma mewn ardaloedd o faes magnetig caeëdig (B) rhag gwynt yr Haul. Yn ôl modelau cyfredol, dim ond drwy ffrwydradau ac ailgysylltu magnetig y gall plasma o'r ardaloedd hyn ddianc ac ymuno â gwynt yr Haul.

Uchida (1992) oedd y cyntaf i ddarganfod ehangiad ardaloedd bywiog ar yr Haul, a hynny mewn delweddau pelydr-X gan y lloeren Yokoh. Gyda datblygiadau diweddar mewn arsylwadau uwchfioled eithafol o'r Haul, mae'n gyffredin i weld dolenni magnetig

caeëdig o fewn ardaloedd bywiog yn ehangu. Yn anffodus, nid oes modd gweld y tu hwnt i'r corona isaf yn y math hwn o arsylwadau, ac felly ni ellir sefydlu maint yr ehangiad. Er hyn, gwelodd Uchida (1992) ehangiad ar gyflymder o oddeutu 10 km yr eiliad mewn sawl ardal fywiog. Sylwodd fod yr ehangiad yn tueddu i ddigwydd uwchben yr ardaloedd mwyaf bywiog, y rhai a chanddynt wreiddiau bywiog iawn sy'n arwydd o fflwcs newydd yn codi drwy'r ffotosffer. Tybiodd fod yr ehangiad yn parhau hyd at y corona estynedig, er nad oedd sail arsylwadol i hyn.

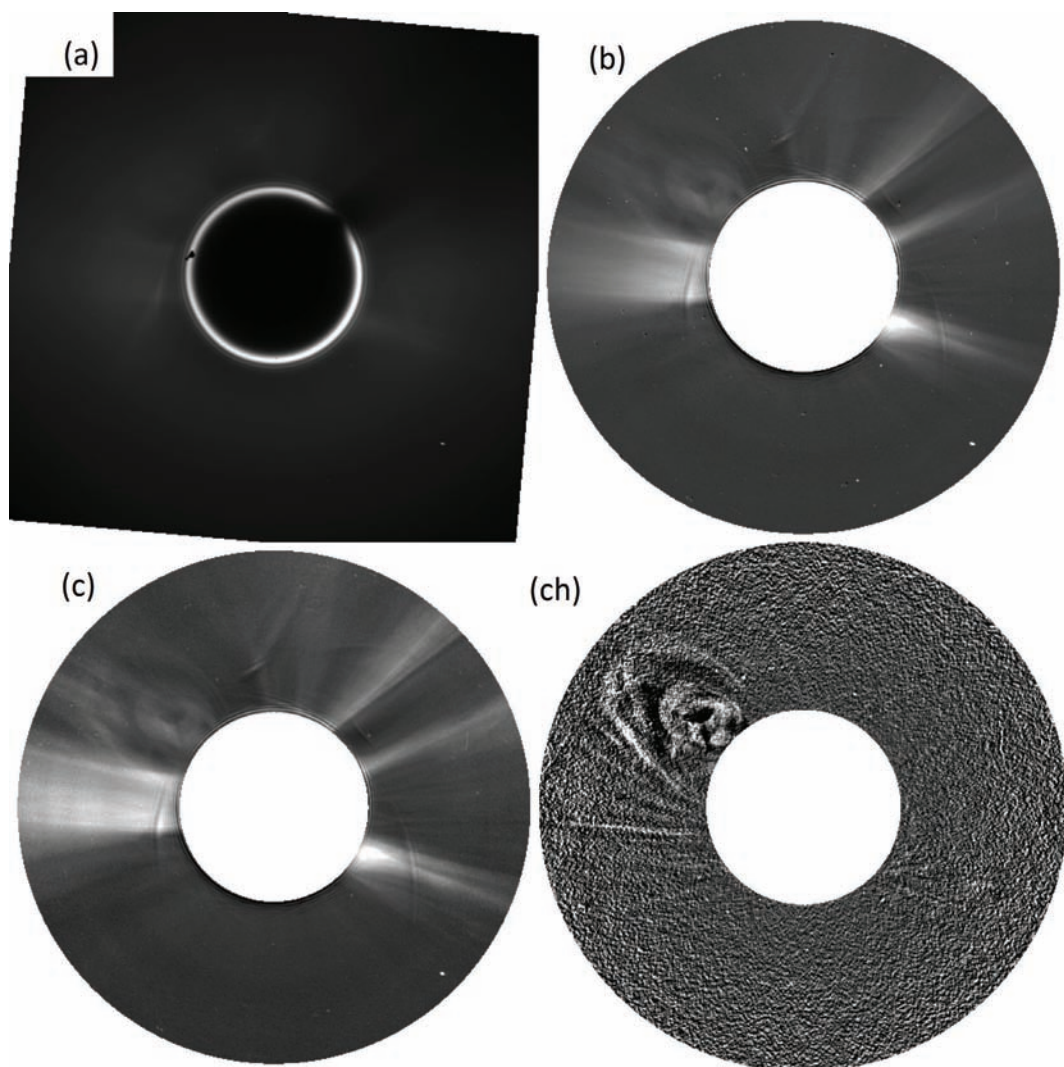
Oherwydd cyfyngiaeth yr arsylwadau pelydr-X i uchderau bychan yn y corona, nid yw ehangiad uniongyrchol ardaloedd bywiog i'r corona estynedig yn rhan o'r model cyfredol sy'n cysylltu'r corona â gwynt yr Haul a strwythur yr heliosffer. Mae rhai astudiaethau o fesuriadau *in situ* (yn uniongyrchol) o wynt yr Haul yn cysylltu llifoedd araf yn uniongyrchol ag ardaloedd bywiog ar yr Haul (Kojima et al., 2000; Neugebauer et al., 2002) ac yn fwy diweddar trafodwyd rhai priodweddau gwynt yr Haul yng nghyd-destun maes magnetig caeëdig ardaloedd bywiog (Gopalswamy et al., 2013). Mae'r modelau cyffredinol – sy'n caniatáu plasma o ardaloedd bywiog i ffurfio cydran o wynt yr Haul – yn cynnwys:

- llifoedd o ardaloedd sy'n ffinio â'r ardal fywiog. Daeth Slemzin et al. (2012) a Harra et al. (2008) o hyd i lifoedd araf ger ardaloedd bywiog, ac fe'u dehonglwyd fel tarddiadau'r gwynt araf
- tyllau coronaidd bychan ger ardaloedd bywiog (Wang, Ko, a Grappin, 2009; Kojima et al., 1999)
- digwyddiadau ffrwydrol o'r ardaloedd bywiog gan gynnwys AMC ac atgysylltiadau magnetig llai yn codi o frig yr ardal fywiog (e.e. Sheeley et al., 2009).

Thema gyffredin sy'n nodweddu'r modelau hyn a rhai cyffelyb yw nad oes modd i blasma a maes magnetig yr ardal fywiog ffurfio rhan uniongyrchol, gyson, o wynt yr Haul. Mae'r gwynt yn codi o ardaloedd magnetig 'agored' ger yr ardaloedd bywiog, a llwydda plasma magnetig o'r ardal fywiog i ddianc yn achlysurol mewn AMC. Mae'r erthygl hon yn disgrifio technegau newydd i ddatgelu manylion mewn arsylwadau coronagraff yn adran 2, yn cyflwyno'r canlyniadau yn adran 3, ac yn cynnal trafodaeth yn adran 4. Rhoddir casgliad a disgrifiad o waith pellach yn adran 5.

## 2. Dull

Mae coronograff yn delesgop arbennig sy'n arsylwi'r golau gwyn, gweledol, o'r corona a wasgarwyd gan electronau rhydd a llwch yn y corona. I alluogi'r mesuriad, rhaid atal y golau llachar a ddaw'n uniongyrchol o'r Haul. Mae hyn yn anodd gan fod rhannau mwyaf llachar y corona oddeutu miliwn gwaith yn wannach na'r Haul. Yn y papur hwn, defnyddir arsylwadau gan y coronograffau *Large Angle Spectroscopic Coronagraph* (LASCO: Brueckner, 1995) sydd ar loeren y *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO). Dangosir arsylw gan LASCO C2 yn ffigwr 2a.



**Ffigwr 2:** (a) Arsylw heb ei brosesu o'r corona gan LASCO C2; (b) Y gydran corona-K ar ôl tynnu'r cefndir minimwm hir dymor; (c) Y gydran corona-K ar ôl cymhwyso ffilterau i lanhau'r ddelwedd; (ch) Y corona dynamig wedi proses gymhleth o wahanu'r strwythur gefndirol.

Mae'r delweddau o LASCO yn cynnwys sawl cydran:

- Y corona-K; hon yw'r gydran sydd o ddiddordeb, sef y golau a wasgerir gan electronau yn y corona. Mae arsylwadau o'r corona-K felly'n rhoi gwybodaeth am blasma'r corona sy'n codi o'r Haul.
- Y corona-F; golau wedi'i wasgaru gan lwch yn y corona yw hwn. I gymharu â'r corona-K, mae'n wan wrth ymyl yr Haul (<3Rs<sup>1</sup>) ond mae'n tyfu i ddomineiddio'r signal yn bellach oddi wrth yr Haul.
- Golau gwasgar; er gwaethaf safon y telesgop, mae ychydig o olau uniongyrchol o'r Haul yn parhau i wasgaru o fewn y telesgop. Hyd yn oed os yw'r gydran wasgarol hon yn fychan iawn i gymharu â'r golau uniongyrchol, mae'n parhau'n gymharol â'r signal o'r corona.

<sup>1</sup> Rs: un radiws o'r haul, oddeutu 700", neu  $6.96 \times 10^5$  km

- Gwallau offerynnol; mae gwallau bach yn y telesgop ac ar y canfodydd yn creu patrwm nodweddiadol yn yr arsylwadau.

Yn ffodus, mae'r cydrannau diangen (corona-F, golau gwasgar a gwallau offerynnol) yn statig neu'n newid yn araf iawn dros amser, tra bod y corona-K mewn cymhariaeth yn newid yn weddol sydyn. Yn bwysig i'r gwaith hwn, mae rhan fwyaf y strwythur goronaid o raddfa fawr yn newid yn ddyddiol, tra bod digwyddiadau dynamig yn digwydd yn llawer mwy sydyn; dros gyfnod o ychydig oriau. Gan fod LASCO yn gwneud arsylw bob ~15 munud, gellir gwahanu'r gydran dan sylw (digwyddiadau dynamig) oddi wrth y cydrannau eraill.

Ceir yma grynodeb o'r dull (gan osgoi cyflwyno manylion gordechnegol). Eir ati i greu delwedd gefndirol hir dymor drwy gasglu cannoedd o arsylwadau dros gyfnod o oddeutu +/-2 diwrnod o'r amser dan sylw. O'r delweddau hyn, cyfrifir gwerth minimwm ar gyfer pob picstel yn y darlun. Mae hon yn ddelwedd finimwm sy'n cynnwys y corona F, golau gwasgar a gwallau offerynnol, yn ogystal â chydran o'r corona-K sy'n statig dros y cyfnod o bum niwrnod. Tynnir y ddelwedd finimwm o'r arsylw dan sylw. Mae hyn yn gadael cydran corona-K ynghyd â nifer o bicselau gwallus, fel y dangosir yn ffigur 2b. Cymhwysir ffilterau addas i ddiddymu'r gwerthoedd gwallus yn y picstelau hyn (ffigwr 2c). Mae'r gydran hon yn arddangos strwythur reiddiol yn ardal y corona a arsylwir gan LASCO (>2.2Rs). Yr unig strwythurau anrheiddiol yw digwyddiadau dynamig sydyn. Mae modd felly ynysu'r signal dynamig drwy ymelwa ar y ffaith fod y strwythur gefndirol yn rheiddiol ac yn newid yn araf. Rhoddir manylion llawn yn Morgan et al. (2012). Dangosir canlyniad y broses gymhleth hon yn ffigur 2ch. Gelwir y dull yn wahaniad cydran ddynamig.

### 3. Canlyniadau

Mae ffigur 3 yn dangos y corona agosaf at yr Haul ar 8 Mawrth 2011 am 00:15. Mae'r ddelwedd hon yn dangos arsylw gan y telesgop *Atmospheric Imaging Assembly* (AIA) ar loeren *Solar Dynamics Observatory* (SDO), ac yn arddangos allyriad (*emission*) golau ar dair tonfedd wahanol (gweler disgrifiad y ffigur). Mae'r ddelwedd felly'n dangos y corona isaf a'r dolenni dwys a phoeth sy'n amlinellu maes magnetig caeëdig yr ardal fywiog. Mae gweithgaredd fechan, gyson, yng nghraidd yr ardal fywiog yn arwydd o'r fflwcs magnetig newydd sy'n codi o'r ffotosffer. Dengys ffigur 4 gyfres o arsylwadau o'r ardal fywiog hon. Gwelir yn glir yma fod y dolenni magnetig caeëdig mawr yn ehangu dros gyfnod o oriau gyda buanedd ehangiad o oddeutu 10 km/s. Mae hwn yn nodweddiadol o'r ehangiad ardaloedd bywiog a ddisgrifir gan Uchida et al. (1992). Mae craidd yr ardal fywiog hon yn weithgar iawn, a gwelir fflerau bychan (ardaloedd bychan sy'n allyrru'n llachar iawn am gyfnodau byr) sy'n dystiolaeth o ailgysylltu egniol. Trwy gymhwyso technegau tebyg i Aschwanden et al. (2011) i ddata amlsianel AIA/SDO, deuir o hyd i dymheredd uchel iawn yng nghraidd a rhai o ddolenni'r ardal fywiog (oddeutu 2 MK neu uwch ar adegau). Gweler Morgan et al. (2013) am enghraifft o'r dystiolaeth hon o dymheredd uchel mewn ardal fywiog. Gallwn dybio bod y tymheredd a'r dwyster uchel – yn ogystal ag ymddangosiad fflwcs magnetig newydd yng nghraidd yr ardal – yn galluogi ac yn gyrru'r ehangiad yn uwch at y corona.

**Ffigwr 3: Delwedd uwchfioled**

**eithafol o'r Haul gan y telesgop Atmospheric Imaging Assembly**

**(AIA) ar loeren y Solar Dynamics Observatory**

**(SDO). Dangosir yma allyriad gan ionau**

**haearn wedi'u hïoneiddio gan blasma poeth ar**

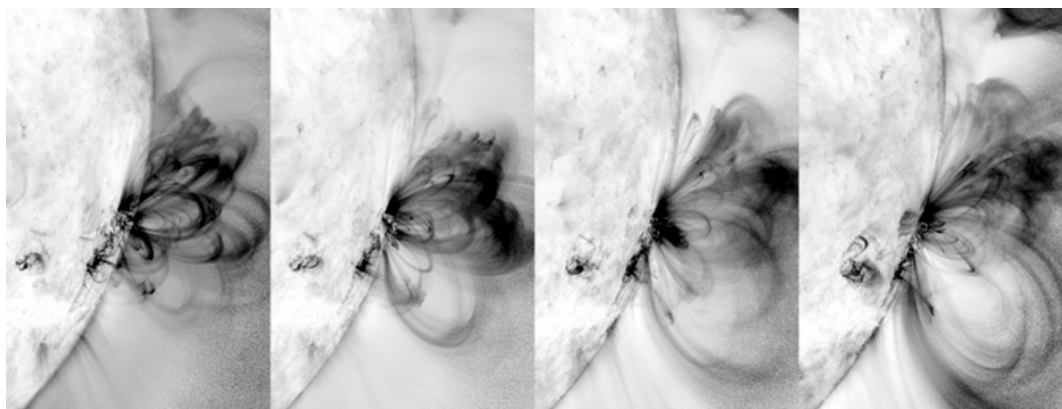
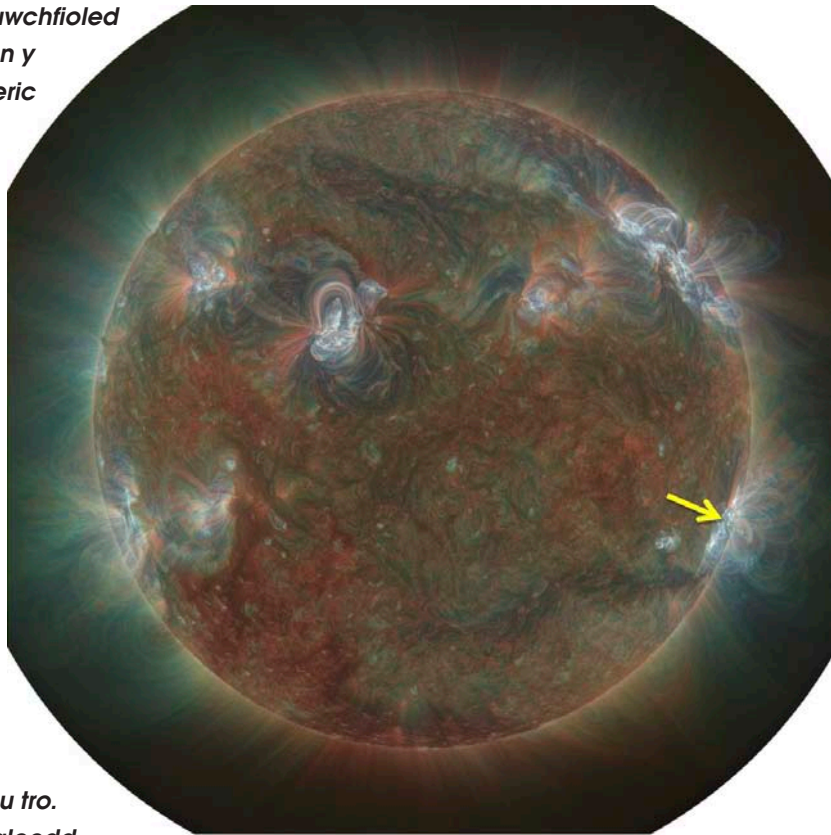
**dri thymheredd (~0.8, 1.2 a 2.0 MK), felly ceir delwedd**

**o'r corona isaf. Dylunnir y tri thymheredd**

**â thri lliw – coch, gwyrdd a glas yn eu tro.**

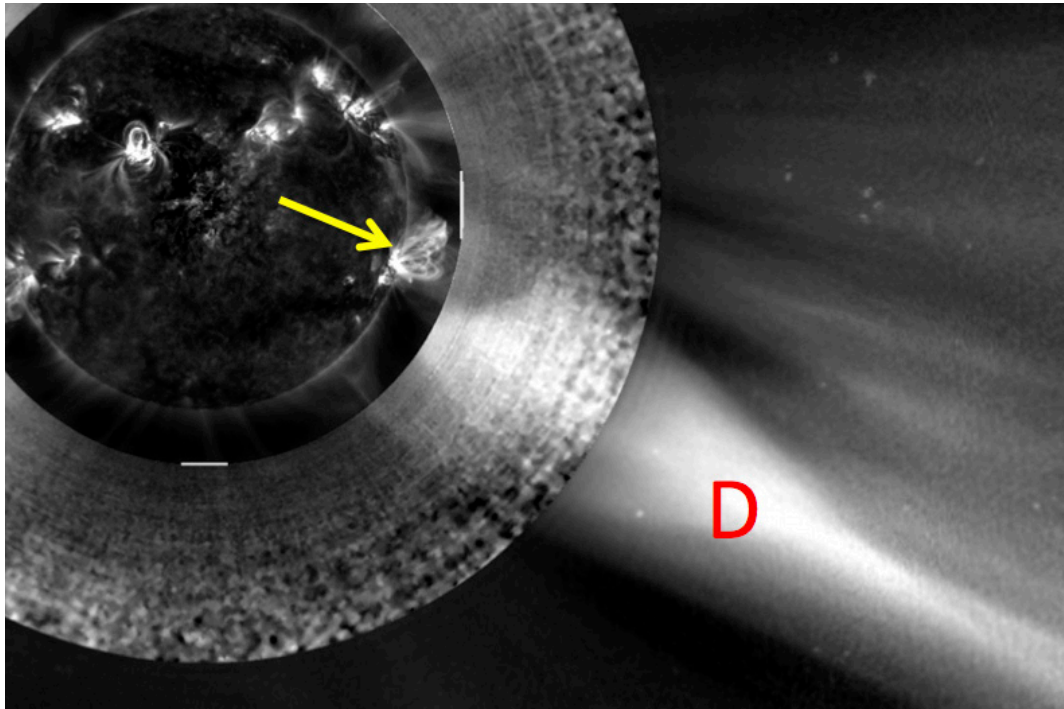
**Ymddengys yr ardaloedd bywiog fel yr ardaloedd mwyaf**

**llachar. Mae'r ardal fywiog dan sylw ychydig is na'r cyhydedd yn y de-orllewin, wedi'i labelu gan saeth felen. Ceir yma system gymhleth o ddolenni magnetig caeëdig yn codi o arwyneb yr Haul at y corona. Mae'r data wedi'i brosesu gan ddefnyddio'r dechneg newydd a ddisgrifir gan Morgan a Druckmuller (2014).**



**Ffigwr 4: Mae'r gyfres hon o ddelweddau negatif yn dangos y system yn ehangu dros gyfnod byr o amser (ychydig oriau). Gwnaed yr arsylwadau ar 8 Mawrth 2011 am 01:20, 05:30, 11:40 ac 18:10 (o'r chwith i'r dde)**



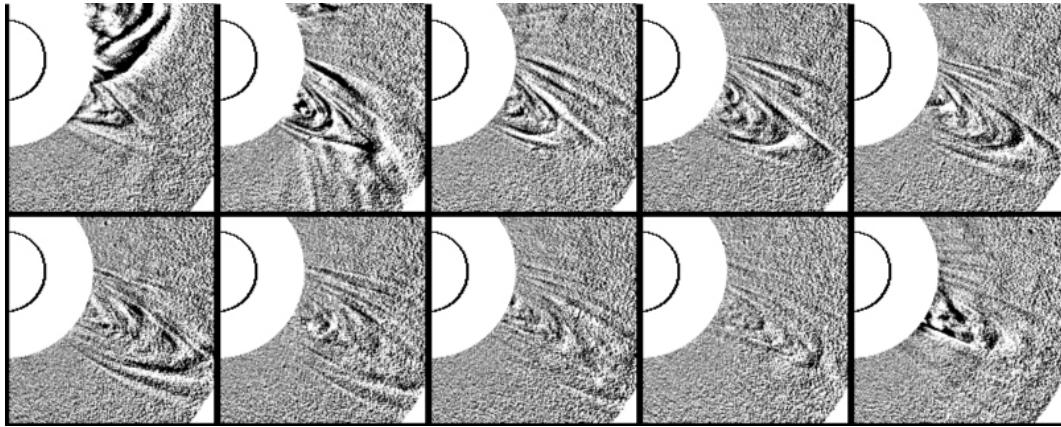


**Ffigwr 5: Delwedd sy'n gyfuniad o sawl offeryn i ddangos y corona uwchben yr ardal fywiog. Gwnaed yr holl arsylwadau ar 7 Mawrth 2011 am oddeutu 19:00. Mae'r ardal fywiog wedi'i labelu â saeth felen. Gwelir ffrwd lachar yn ymestyn i'r corona wedi'i labelu gyda D. Mae ffrwd o'r fath yn cynnwys llif araf o blasma dwys sy'n llifo trwy'r heliosffer. Defnyddir yma ddata o AIA/SDO, coronagraff MK IV y Mauna Loa Solar Observatory, a choronagraff Large Angle Spectroscopic COronagraph (LASCO) C2 ar long ofod Solar and Heliospheric Observatory (SOHO).**

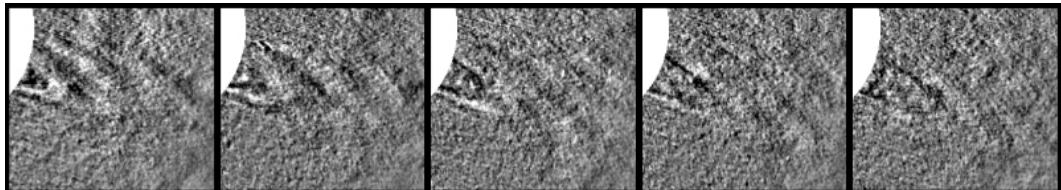
Mae ffigwr 5 yn dangos strwythur y corona uwchben yr ardal fywiog trwy gyfuno arsylwadau uwchfioled eithafol o AIA/SDO â choronagraff MKIV y Mauna Loa Solar Observatory (MLSO) a delwedd LASCO C2 ar 7 Mawrth 2011. Drwy'r cyfuniad o ddata o sawl offeryn, gallwn weld cyswllt manylion strwythurol ger yr Haul â strwythur eang y corona. Gwelir ffrwd lachar (ddwys) uwchben yr ardal fywiog wedi'i labelu gyda 'D'. Yn gyffredin i ffrydiau o'r fath, mae'n llydan ger yr Haul ac yn teneuo i strwythur denau a rheiddiol ar uchder o oddeutu 2 i 3 Rs o ganol yr Haul. Yn draddodiadol, tybir bod gan yr ardal lydan sy'n agos at yr Haul strwythur fagnetig gaeëdig yn cwmpasu ardaloedd bywiog a ffilamentau. Mae meysydd magnetig agored o ardaloedd cyfagos yn pontio dros y systemau caeëdig i ffurfio'r ffrwd estynedig, lle mae ffrydiau o'r fath yn llachar. Maent yn ddwys i gymharu ag ardaloedd eraill o'r corona ac yn gysylltiedig â llifoedd dwys ac araf yn yr heliosffer. Mae'r ffrwd hon yn gysylltiedig hefyd â'r haen niwtral, neu haen gerrynt, yn y corona a'r heliosffer. Mae hon yn haen rhwng rhanbarthau lle mae'r maes magnetig yn bositif a negatiff. Yn yr haen, mae'r maes magnetig felly yn sero, ac yn gyffredinol ceir haen denau o ddwysedd plasma uchel yn pontio dros yr haen niwtral.

O gymhwyso'r dull gwahaniad dynamig (gweler yr adran Dull) i arsylwadau coronagraff LASCO C2 ar 8 Mawrth 2011, gwelir system o ddolenni caeëdig yn llenwi'r ardal sy'n

cwmpasu'r ffrwd lachar ac yn ehangu i'r corona estynedig. Yn ffigwr 6, gwelir y dolenni caeëdig yn ymestyn i bellteroedd o  $>6R_s$ . Mae'r dolenni'n anferth, gydag ystod ledred o oddeutu  $30^\circ$ . Maent yn parhau'n gydlynol drwy'r rhan o'r corona a arsylwid gan LASCO C2. Yn wir, gan ddefnyddio data o goronagraff LASCO C3, mae tystiolaeth o'r dolenni caeëdig i'w gweld oddeutu  $15R_s$ , fel y dangosir yn ffigwr 7. Mae'r dolenni'n ymddangos gyntaf ar 7 Mawrth 2011 am 00:00 ac yn parhau am 44 awr hyd nes y cwyd AMC mawr o'r ardal fywiog gan ddinistrio'r system. Mae'r AMC hwn yn ddigwyddiad diddorol yn ei hun ac fe'i disgrifir mewn manylder gan Byrne et al. (2014). Mae'r ehangiad hwn o ffrwd lachar yn gysylltiedig â gwaith Wang a Sheeley (2006) lle mae ehangiad yn arwain at ailgysylltiad magnetig ac alldafliad bychan. Y gwahaniaethau mwyaf rhwng achos Wang a Sheeley (2006) a'r un hwn yw'r amser a'r maint. Mae'r dolenni yr ydym yn arsylwi arnynt yn ehangu dros gyfnod o oddeutu tri diwrnod ac yn ehangu i bellteroedd mawr o'r Haul heb dystiolaeth o ailgysylltiad magnetig.



**Ffigwr 6:** Cyfres o ddelweddau LASCO C2 yn dangos cyfres arsylwi dros gyfnod o oddeutu un diwrnod wedi'u prosesu er mwyn dangos manylion dynamig bychan o fewn yr arsylwadau coronagraff. Gwelir yn glir system o ddolenni caeëdig yn ehangu i'r corona estynedig. Amlinellir safle'r Haul gyda chylch du ac mae'r ardal yr arsylwir arno yn ymestyn o  $2.2$  i  $6.0 R_s$ . Mae'r gyfres yn dechrau ar 7 Mawrth 2011 am 20:08 ac yn parhau am oddeutu 24 awr. Ceir felly tua 2 awr a 20 munud rhwng pob arsylw. Er eglurdeb, mae'r delweddau yn negatif, gyda'r dolenni mwy llachar yn ymddangos yn ddu.



**Ffigwr 7:** Fel ffigwr 6, ond ar gyfer coronagraff LASCO C3. Mae'r safbwynt hwn yn dangos y corona hyd at uchder sylweddol, a gwelir y dolenni'n ehangu i oddeutu  $15 R_s$  hyd nes yr â'r signal yn rhy wan. Mae'r cylch gwyn sydd ar ochr chwith pob delwedd ar uchder o  $5.8 R_s$ .

Ymddengys dolen bob tair awr dros gyfnod o dri diwrnod, gyda chryn amrywiaeth yn yr amseriad. Gellir defnyddio arsylwadau'r coronagraffau hyn i fesur cyflymder ehangu'r dolenni. Mae brig y dolenni'n ehangu gyda chyflymder o oddeutu 20 km/s ar uchder o 2 Rs ar gyfartaledd, gan gyflymu'n llinol i 60 km/s ar uchder o 6 Rs. Mae hyn yn arafach o dipyn na mesuriadau o gyflymder y gwynt araf yn y corona, sy'n debygol o gyflymu i oddeutu 300 km/s ar uchder o 5 Rs.

Mae'n anodd iawn amcangyfrif dwysedd y dolenni ehangol. Mae eu disgleirdeb oddeutu <3% o ddisgleirdeb y ffrwd gefndirol, ond mae'n amhosib cyfrifo dwysedd neu fâs oherwydd ni cheir gwybodaeth am union leoliad y dolenni a'u dosbarthiad (trwch) mewn tri dimensiwn. Mae'r wybodaeth hon yn hanfodol er mwyn amcangyfrif mäs y plasma sy'n allyrru'r golau. Os yw'r dolenni'n strwythurau cul, mae'n rhaid bod eu dwysedd yn gymharol uchel o'i gymharu â'r cyfrwng cefndirol. Os ydynt yn strwythurau llydan, bydd ganddynt ddwysedd isel.

#### 4. Trafodaeth

Gall ehangiad y dolenni gynnig esboniad rhannol dros yr amrywiaeth fawr a fesurir o nodweddion y gwynt araf; ei ddwysedd, cyflymder a chyfansoddiad. Mae ehangiad y dolenni yn broses gyson, dawel, sy'n rhoi llwybr uniongyrchol i blasma poeth, amrywiol, i ymuno â gwynt yr Haul. Gall hyn esbonio nifer o nodweddion anodd eu hesbonio sy'n codi o fesuriadau gwynt yr Haul gan loerennau:

- Mae electronau gwrthlifol yn llifoedd tra egniol o electronau sy'n llifo'n gyfochrog â'r maes magnetig i ddau gyfeiriad ar yr un pryd (Gosling et al., 1987). Un model i esbonio'r ffenomena hyn yw meysydd magnetig caeëdig wedi'u hangori ar yr Haul, ac yn gyffredinol cyfyngir y model hwn i AMC rhyngblanedol. Yn ddiweddar, gwnaethpwyd astudiaeth fanwl o electronau gwrthlifol yn ystod cyfnod o weithgaredd AMC isel er mwyn sefydlu cyfraniad AMC i fodolaeth y llifoedd (Lavraud, Opitz, a Gosling, 2010). Mae ehangiad tawel a chyson maes magnetig caeëdig uwchben ardaloedd bywiog yn darparu llwybr uniongyrchol i electronau egniol ymuno â'r heliosffer.
- Ceir mesuriadau achlysurol o ionau â gwefr uchel yng ngwynt yr Haul. Mae hyn yn arwydd o blasma a fu ger yr Haul ar dymheredd a dwysedd uchel iawn. Mae modelau cyfredol yn isamcangyfrif stad gwefr ïonig y gwynt araf, a chynigir datrysiaid i'r isamcangyfrif hwn drwy ryddhad achlysurol o blasma poeth o strwythurau caeëdig ardaloedd bywiog drwy ailgysylltiad magnetig (Antiochos et al., 2012, Fisk, 2003). Mae ehangiad uniongyrchol ardaloedd bywiog i ffurfio ffrydiau gwynt araf yn rhoi esboniad amgen.
- Mae mesuriadau *in situ* o wynt araf yr Haul yn dangos amrywiaeth fawr a chyson o nodweddion megis dwysedd, cyflymder a chyfansoddiad (e.e. Antiochos et al., 2012). Gellir cynnig sawl esboniad am hyn, gan gynnwys ffynhonnell anghyson ailgysylltiad magnetig ger ardaloedd bywiog. Mae ehangiad ardaloedd bywiog yn cynnig esboniad ychwanegol.

Yn ogystal â'r goblygiadau ar gyfer y cysylltiad rhwng yr Haul a'r heliosffer, mae'r ehangiad yn darparu model newydd ar gyfer gwasgaru fflwcs magnetig o ardaloedd

bywiog newydd ger y cyhydedd i'r pegynau ac yn darparu ffynhonnell newydd ar gyfer mewnbynnu fflwcs magnetig yn uniongyrchol i'r heliosffer. Fel y crybwyllwyd eisoes, mae'r haen niwtral yn nodwedd bwysig o faes magnetig y corona estynedig sy'n pennu dosbarthiad gofodol y llifoedd araf, dwys, a'r llifoedd cyflym a thenau. Mae modd dyfalu safle'r haen niwtral drwy arsylwadau o faes magnetig y ffotosffer trwy allosodiad maes potensial. Mae hyn yn rhan hollbwysig o astudiaethau strwythurol o'r corona, o astudio'r cysylltiad rhwng yr Haul a'r heliosffer, a hon yw'r unig ffordd gyfredol o ddyfalu maes magnetig y corona (nad oes modd ei fesur yn uniongyrchol). Os yw ehangiad maes caeëdig i uchderoedd uchel yn digwydd o fewn yr haen niwtral ynghyd â mewn llefydd eraill (gweler Morgan et al., 2013), mae gan hyn oblygiadau pwysig i greu allosodiadau o'r fath ac i ddehongli mapiau magnetig allosodiadau maes potensial.

### **5. Casgliad a gwaith pellach**

Mae ehangiad tawel a chyson uniongyrchol o ardaloedd bywiog mor bell o arwyneb yr Haul yn ddarganfyddiad newydd. Heb ddatblygiad y dull gwahaniad dynamig, nid oes modd arsylwi'r dolenni ehangol hyn i'r fath uchder. Gwelir y dolenni caeëdig yn ehangu i bellterau o leiaf ~15Rs o'r Haul, sy'n awgrymu'n gryf eu bod yn ffurfio rhan o wynt yr Haul. Gallwn weld o arsylwadau LASCO dros gyfnod o 15 mlynedd bod y dolenni'n ehangu'n ffenomen led gyffredin, ac eir ati i gyflwyno astudiaeth ystadegol lawn mewn gwaith a gyflawnir maes o law. Mae gan hyn felly oblygiadau pwysig i ddehongliadau a modelau cyfredol o'r corona ac i wynt yr Haul yn yr heliosffer.

O edrych ar oddeutu deufis o ddata, sylwyd ar sawl enghraifft glir o'r dolenni. Mae'n bwysig yr estynnir yr astudiaeth dros gyfnod hirach o arsylwi (cyfnod o flynyddoedd) er mwyn sefydlu pa mor bwysig yw eu cyfraniad i wynt yr Haul. Proseswyd eisoes oddeutu 15 mlynedd o ddata o LASCO/SOHO ynghyd ag oddeutu wyth mlynedd o goronagraffau COR ar ddwy long ofod y *Solar Terrestrial Relations Observatory* (STEREO). Byddwn yn cofnodi gweithgaredd ehangiad dolenni yn y data hwn ac yn ceisio cysylltu'r dolenni hyn yn uniongyrchol â mesuriadau o wynt yr Haul yn yr heliosffer. Bydd hyn yn profi a ydynt, mewn gwirionedd, yn cyfrannu at amrywiaeth nodweddion gwynt araf yr Haul ynghyd â chyfrannu at ffenomenau eraill sydd ar hyn o bryd yn anodd eu hesbonio. Ceir manylion pellach yn Morgan (2013) ac yn Morgan et al. (2013).

## Llyfryddiaeth

- Antiochos, S. K., Linker, J. A., Lionello, R., et al. (2012), 'The Structure and Dynamics of the Corona-Heliosphere Connection', *Space Science Reviews*, 172, 169-85.
- Aschwanden, M. J., Boerner, P., Schrijver, C. J., et al. (2011), 'Automated Temperature and Emission Measure Analysis of Coronal Loops and Active Regions Observed with the Atmospheric Imaging Assembly on the Solar Dynamics Observatory (SDO/AIA)', *Solar Physics*, 283, 5-30.
- Byrne, J. P., Morgan, H., Seaton, D. B., et al. (2014), 'Bridging EUV and white-light observations: evidence for the breakout model in a two-stage solar eruptive event', *Solar Physics*, <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11207-014-0585-8DOI>, 18 tudalen.
- Fisk, L. A. (2003), 'Acceleration of the solar wind as a result of the reconnection of open magnetic flux with coronal loops', *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 108, SSH 7-1–SSH 7-8.
- Gopalswamy, N., Mäkelä, P., Akiyama, S., et al. (2013), 'The Solar Connection of Enhanced Heavy Ion Charge States in the Interplanetary Medium: Implications for the Flux-Rope Structure of CMEs', *Solar Physics*, 284, 17-46.
- Gosling, J. T., Baker, D. N., Bame, S. J., et al. (1987), 'Bidirectional solar wind electron heat flux events', *Journal of Geophysical Research*, 92, 8519-35.
- Harra, L. K., Sakao, T., Mandrini, C. H., et al. (2008), 'Outflows at the Edges of Active Regions: Contribution to Solar Wind Formation', *The Astrophysical Journal*, 676, L147-L150.
- Kojima, M., Fujiki, K., Ohmi, T., et al. (1999), 'Low-speed solar wind from the vicinity of solar active regions', *Journal Geophysical Research*, 104, 16993-17004.
- Kojima, M., Fujiki, K., Hakamada, K., et al. (2000), 'Low-Speed Solar Wind Associations with Active Regions Near Solar Minimum', *Advances in Space Research*, 25, 1893-96.
- Lavraud, B., Opitz, A., Gosling, J. T., et al. (2010), 'Statistics of counter-streaming solar wind suprathermal electrons at solar minimum: STEREO observations', *Annales Geophysicae*, 28, 233-46.
- Morgan, H. (2013), 'An observation of solar active region expansion into the heliosphere', *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, L74-L78.
- Morgan, H., Byrne, J. P., a Habbal, S. R. (2012), 'Automatically Detecting and Tracking Coronal Mass Ejections. I. Separation of Dynamic and Quiescent Components in Coronagraph Images', *The Astrophysical Journal*, 752 (id144), 14 tudalen.
- Morgan, H., Jeska, L., a Leonard, A. (2013), 'The Expansion of Active Regions into the Extended Solar Corona', *The Astrophysical Journal Supplement*, 206 (id19), 10 tudalen.
- Morgan, H., a Druckmuller, M. (2014), 'Multiscale Gaussian Normalization for solar image processing', *Solar Physics*, 289 (8), 2945-55.
- Neugebauer, M., Liewer, P. C., Smith, E. J., et al. (2002), 'Sources of the solar wind at solar activity maximum', *Journal of Geophysical Research (Space Physics)*, 107 (A12), SSH 13-1–SSH 13-15.

Sheeley, Jr, N. R., Lee, D. D. H., Casto, K. P., et al. (2009), 'The Structure of Streamer Blobs', *The Astrophysical Journal*, 694 (2), 1471-80.

Slemzin, V., Harra, L., Urvov, A., et al. (2013), 'Signatures of Slow Solar Wind Streams from Active Regions in the Inner Corona', *Solar Physics*, 286 (1), 157-84.

Uchida, Y., McAllister, A., Strong, K. T., et al. (1992), 'Continual expansion of the active-region corona observed by the YOHKOH Soft X-ray Telescope', *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 44 (5), L155-L160.

Wang, Y. M., Ko, Y. K., a Grappin, R. (2009), 'Slow Solar Wind from Open Regions with Strong Low-Coronal Heating', *The Astrophysical Journal*, 691 (1), 760-9.

Wang, Y. M., a Sheeley, Jr, N. R. (2006), 'Observations of Flux Rope Formation in the Outer Corona', *The Astrophysical Journal*, 650 (2), 1172-83.

**Jeff Smith**

---

**Model amldonfedd i  
ddelweddu a dadansoddi  
meysydd magnetig yng  
nghorona'r Haul**

---

**Gwerddon**

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

---

# Model aml-donfedd i ddelweddu a dadansoddi meysydd magnetig yng nghorona'r Haul

**Jeff Smith**

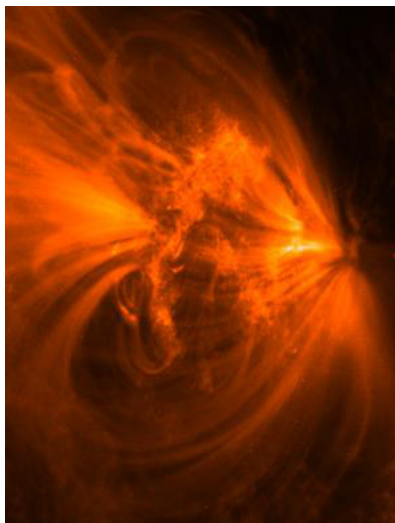
## 1. Cyflwyniad

Mae'r Haul yn hanfodol i'n bywydau, ond mae ein dealltwriaeth o'r prosesau pwysig sy'n digwydd arno'n parhau'n anghyflawn. Mae'r Haul yn fywiog iawn, ac wrth i egni a grëir y tu mewn i'r Haul ddianc i'r gofod, ymddengys meysydd magnetig cymhleth yng nghromosffer a chorona'r Haul (atmosffer yr Haul). Pan nad yw'r maes magnetig yn homogenaidd, gwelir llawer o strwythurau diddorol yn y cromosffer a'r corona, fel lwpiau'r corona a ffilamentau. Mae nodweddion y rhain, fel osgiliadau, symudiadau a ffrwydradau, yn ddiddorol.

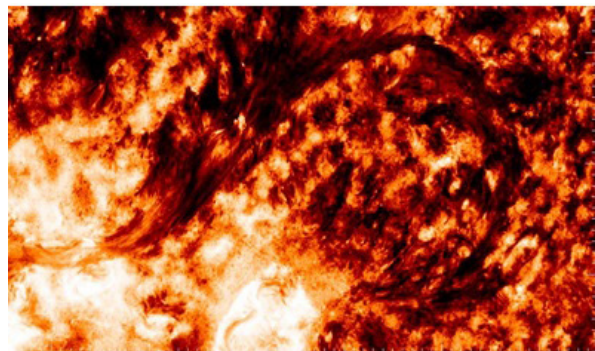
Gall y ffrwydradau posib gael effaith fawr ar y Ddaear. Yn 1851, bu ffrwydrad ar yr Haul a deithiodd tuag at y Ddaear (digwyddiad Carrington) a bu hwn yn gyfrifol am ddifrod sylweddol i'r rhwydwaith telegraff o ganlyniad i'r egni trydanol a ryddhawyd. Mewn byd sy'n fwy dibynnol ar dechnoleg drydanol a chyfathrebu electronig, mae'n hawdd gweld pwysigrwydd ehangu dealltwriaeth o'r prosesau a all arwain at ddigwyddiadau o'r fath.

### 2.1 Strwythurau yn y corona: rhagolwg

Dau o'r strwythurau amlycaf yn y corona yw lwpiau'r corona a ffilamentau. Mae lwpiau'r corona ar ffurf bwâu. Maent fel arfer yn cysylltu dwy ardal lle mae'r maes magnetig yn gryf, fel y gwelir yn ffigur 1. Mae ffilamentau, ar y llaw arall, yn strwythurau eithaf llorweddol, sy'n dilyn cyfeiriad maes magnetig ar yr Haul gyda'u hadfachau yn ymestyn i lawr tuag at yr arwyneb i'r cromosffer, fel y gwelir yn ffigur 2. Mae nifer o ffilamentau yn ymddangos fel crymion (*sigmoids*) ar y cromosffer ac mae lwpiau'r corona a'r ffilamentau weithiau'n ffrwydro.



**Figur 1: Lwpiau'r corona, 2013-03-02 07:32:11**



**Figur 2: Ffilament, 2012-08-07 08:20:00**



## 2.2 Ymchwil gynharach: rhagolwg

Gwnaethpwyd amrywiaeth eang o astudiaethau ar strwythurau o'r fath, gan gynnwys defnyddio modelau Meysydd Di-rym Aflinol (NLFFF; *non-linear force-free field*). Ceir trosolwg manwl o hyn yn Wiegelmann a Sakurai (2012). Datryswyd sawl problem ddamcaniaethol yn y maes gan ddulliau dadansoddol Low a Lou (1989) er na ellir eu cymhwyso i bob sefyllfa go iawn. Mae sawl awdur wedi anelu at fodelu sefyllfaoedd go iawn gan ddefnyddio amryw ddull; esbonnir hyn ym mhedwaredad adran y papur hwn. Er enghraifft, cynigiodd Wiegelmann (2003), Wheatland (2006), Tadesse et al. (2011) a Guo et al. (2012) fodelau lle llwyddodd rhai ohonynt i fodelu strwythurau'n gywir iawn. Defnyddiodd rhai fodelau magneto-ffrithiannol; e.e., llwyddodd Su et al. (2009) i fodelu ffêr (*flare*: alldafliad o lwyth o egni) mewn rhanbarth bywiog o'r Haul, a llwyddodd Kliem et al. (2013) i fodelu ffrwydrad yr arsylwyd arno ar 8 Ebrill 2008. Defnyddiodd eraill fodelau Magneto Hydro Dynamegol (MHD); e.e. llwyddodd Jiang a Feng (2013) i efelychu lŵpiau'r corona'n gywir iawn. Defnyddiodd eraill ddull Grad-Rubin, a chafwyd canlyniadau sy'n cyfateb yn dda i arsylwadau ym Malanushenko et al. (2012), er enghraifft. Yn weddol ddiweddar, cyflwynwyd dull blaenffitio (*forward-fitting*: dull sy'n cyrraedd y nod drwy gyfres o gamau bach) gan ddefnyddio arsylwadau uwchfioled eithafol (Aschwanden, 2013).

## 3. Offerynnau arsylwi

I raddau helaeth, mae dealltwriaeth o brosesau ar yr Haul yn ddibynnol ar offerynnau fel telesgopau ac ati. Wrth i delesgopau ddatblygu, daeth yn bosib gweld strwythurau ar yr Haul yn fwyfwy manwl. Er hynny, ceir sawl anhawster gyda thelesgopau'r Ddaear. Yn gyntaf, mae'r cyfnod y gallant arsyllu ar yr Haul yn parhau am ychydig o'r diwrnod yn unig. Yn ail, gall cymylau rwystro telesgopau rhag arsylwi'r Haul. Am y rhesymau hyn, lansiwyd yn lled ddiweddar sawl arsyllfa yn y gofod. Yr un mwyaf diweddar yw Arsyllfa Dynameg yr Haul (SDO: *Solar Dynamics Observatory*), sy'n darparu data am yr Haul mewn cydraniad gofodol ac amserol gwell nag erioed o'r blaen, gan ddefnyddio dau delesgop. Yn gyffredinol, mae'r SDO yn anfon tua 1.5 Tb o ddata yn ôl at y Ddaear bob dydd. Ystyrir dau arbrawf a gwblheir ar y SDO, sef cydosodiad delweddu'r atmosffer a delweddydd seismig a magnetig yr Haul.

### 3.1 Cydosodiad delweddu'r atmosffer

Mae Cydosodiad Delweddu'r Atmosffer (AIA: *Atmospheric Imaging Assembly*) yn tynnu llun mewn saith prif donfedd bob 12 eiliad, fel llun 4096x4096 picselel o'r Haul cyfan. Mae'r arsylwadau yn bennaf o'r cromosffer a'r corona, ond yn ymestyn i lawr hyd at arwyneb allanol ffotosffer yr Haul.

### 3.2 Delweddydd Seismig a Magnetig yr Haul

Mae Delweddydd Seismig a Magnetig yr Haul (HMI: *Helioseismic and Magnetic Imager*) yn darparu *magnetogram* mewn dau ddimensiwn o'r Haul cyfan bob 45 eiliad, fel llun 4096x4096 picselel. Er hynny, er mwyn defnyddio modelau NLFFF, mae angen data am y maes magnetig mewn tri dimensiwn. Mae'n bosibl defnyddio data gan yr HMI i greu magnetograffau fector 3D; mae'r rhain ar gael yn hawdd, ond dim ond bob 12 munud.

Fodd bynnag, nid yw'r data ar gyfradd o 12 munud o gymorth mawr wrth geisio deall digwyddiadau sydyn, e.e. osgiliadau sy'n parhau am gyfnod byr o ychydig funudau. Yn ffodus iawn, ceir ffordd arall o gynrychioli prif nodweddion y maes magnetig mewn tri dimensiwn, sef drwy ddefnyddio'r *magnetogram* dau ddimensiwn yn unig sydd ar gael bob 45 eiliad. Anfantais y dull yw dirywiad sylweddol yng nghywirdeb y canlyniad sy'n colli sawl nodwedd fechan ond dylanwadol. Er hynny, mae'r dull hwn yn darparu prif nodweddion y maes magnetig ac yn osgoi effeithiau gwael sŵn (gwerthoedd dieithr i rai picselau sy'n sylweddol wahanol i werthoedd picselau eraill sydd union o'u hamgylch).

Yn y dull hwn, dadelfennir y *magnetogram* dau ddimensiwn a chaiff y maes magnetig ei gynrychioli yn nhermau elfennau bychain o gydrannau maes sydd oll â chryfderau magnetig a lleoliadau gwahanol mewn tri dimensiwn. Gelwir yr elfennau bychain magnetig hyn yn 'wefrau pwynt' yn yr erthygl hon. Trwy ddadelfennu'r *magnetogram* yn y modd hwn a defnyddio optimeiddiaeth Powell (Powell, 1964) er mwyn sicrhau'r amcangyfrif agosaf posib at y data creiddiol, gellid rhoi bras amcan o'r maes magnetig mewn tri dimensiwn bob 45 eiliad. Ceir manylion pellach o'r dull yn atodiad A o Aschwanden et al. (2013).

#### 4. Modelu prosesau ar yr Haul

##### 4.1 Pam modelu?

Gan fod yr SDO yn darparu data sydd mor fanwl, mae'n hawdd gofyn pam nad yw'n ddigon i ddefnyddio'r delweddau AIA yn unig i ddadansoddi dynameg strwythurau ar yr Haul. Ceir sawl anfantais i'r data AIA. Yr anfantais amlycaf yw'r ffaith mai mewn dau ddimensiwn yn unig y mae'r delweddau ar gael. Mae hynny'n achosi problemau wrth geisio deall yr hyn sydd yn y ddelwedd, ac yn galluogi i bethau nad ydynt o ddiddordeb mawr guddio pethau mwy diddorol. Yn ail, nid oes modd cyfrif faint o egni sydd gan strwythur ar unrhyw adeg, ac felly nid oes modd cyfrif faint o egni a ryddheir mewn ffrwydrad. Mae'n rhaid modelu felly er mwyn darganfod mwy am y nodweddion diddorol sydd ar yr Haul. Yn y papur hwn, disgrifir model sy'n addas ar gyfer lwpiau'r corona.

##### 4.2 Y dybiaeth ddi-rym

Wrth fynd ati i fodelu ardal o'r Haul, rhaid gwneud tybiaethau er mwyn creu problem y gellir ei datrys.

Dechreuwn drwy nodi fod y maes magnetig  $\mathbf{B}$  yn ddi-dor, a gaiff ei fynegi'n fathemategol gan

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

Ystyrir yn awr nwy wedi ei ïoneiddio (plasma) ym mhresenoldeb maes magnetig a thybiwn fod effaith y maes magnetig yn llawer iawn mwy nag effeithiau eraill gan gynnwys disgyrchiant a gwasgedd plasma. Os yw'r plasma mewn cydbwysedd, gellir dynodi'r sefyllfa'n fathemategol drwy

$$\mathbf{j} \times \mathbf{B} = 0$$

Hwn yw'r cyflwr di-rym. Mae'r paramedr

$$\mathbf{j} = \frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B})$$

yn dynodi'r dwysedd cerrynt, a  $\mu_0$  yn dynodi athreiddedd gwactod (*vacuum permeability*).

Trwy gyfuno'r hafaliadau, cawn

$$\frac{1}{\mu_0} (\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} = 0$$

ac yna

$$(\nabla \times \mathbf{B}) \times \mathbf{B} = 0.$$

Mae'r hafaliad hwn yn bwysig, oherwydd mae'n nodi bod  $\nabla \times \mathbf{B}$  yn baralel i  $\mathbf{B}$ . Gan fod y ddau yn baralel, ysgrifennwn

$$\nabla \times \mathbf{B} = \alpha \mathbf{B}, \text{ lle mae } \alpha \text{ yn baramedr sgalar.}$$

#### 4.3 Gosod gwerth i $\alpha$

Wrth fodelu, mae'n bosib gosod gwerth i  $\alpha$ , er mwyn gwneud y cyfrifiadau er mwyn darganfod y maes magnetig yn haws a chynt. Ar gyfer y model symlaf (sef yr hyn a elwir yn y papur hwn yn 'maes potensial') gosodir  $\alpha$  yn hafal i 0 ym mhob man, sy'n rhoi

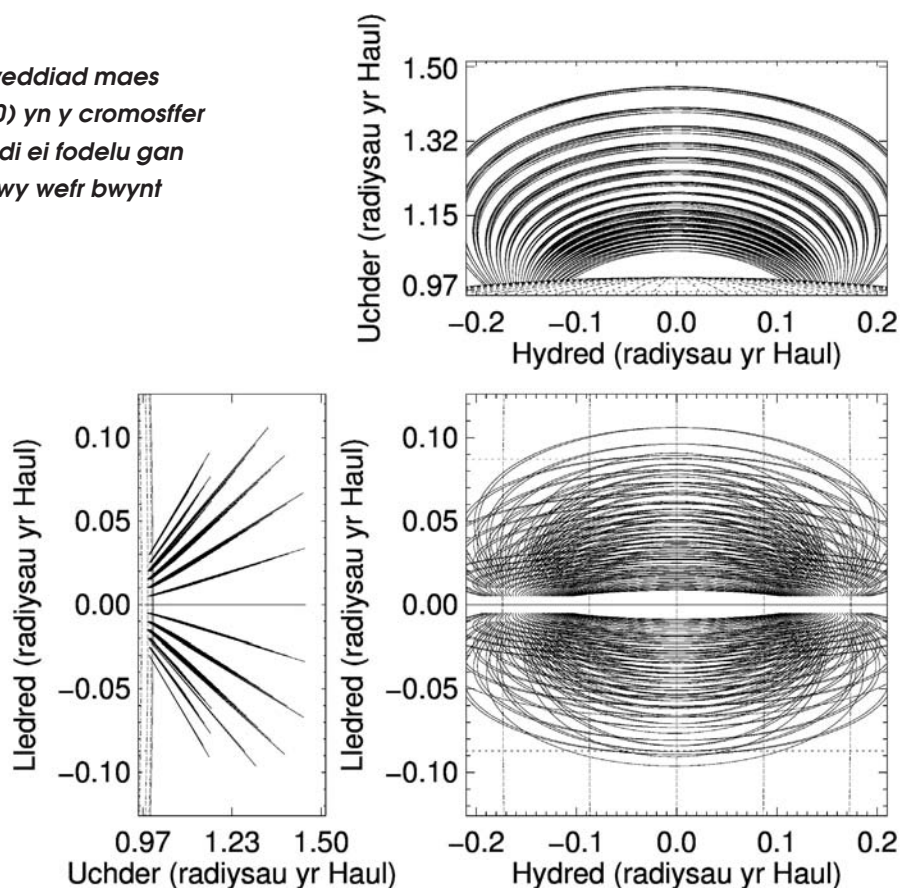
$$\nabla \times \mathbf{B} = 0.$$

Yn amlwg, mae'r model hwn yn syml iawn. Er mwyn darganfod ffurfweddiad  $\mathbf{B}$  yn y cromosffer a'r corona a roddir gan yr hafaliad, mae angen gosod gwerthoedd ffin ar gyfer y paramedr. Fel enghraifft o'r maes potensial, gosodir gwerthoedd gwefrau pwynt ar gyfer  $\mathbf{B}$  y ffotosffer fel 1000 G i un a -1000G i'r llall. Gellir yna ddarganfod y ffurfweddiad cyffredinol o  $\mathbf{B}$  sy'n ymestyn i'r cromosffer a'r corona. Dangosir y ffurfweddiad yn ffigur 3. Mae'r llinellau maes sy'n cysylltu'r ddwy wefr bwynt yn llawer sythach na'r hyn a welir mewn delweddau AIA, er enghraifft yr un yn Ffigur 1. Nid oes dirdroad yn llinellau'r maes magnetig a fodelwyd gydag  $\alpha=0$ , fel a geir yn y data go iawn.

Nodir hefyd mai yn y dirdroad y caiff egni rhydd ei storio (Chiueh & Zweibel, 1989). Yr egni hwn a ryddheir yn ystod ffrwydradau. Awgrymir felly, gan nad oes dirdroad yn y model, ni cheir egni rhydd ynddo. Mae hyn yn anfantais arall gan na fyddai'r model yn creu sefyllfa realistig ar gyfer ffrwydrad.

Er cywirdeb ac er mwyn darganfod faint o egni rhydd sydd mewn sefyllfa go iawn, mae angen caniatáu gwerthoedd i  $\alpha$  nad ydynt o reidrwydd yn sero ac sy'n amrywio mewn gofod. Mae dulliau Meysydd Di-rym Aflinol (NLFFF) yn caniatáu i'r paramedr amrywio'n aflinol heb gyfyngiad. Cymharodd Liu, Zhang a Su (2011) y model maes potensial â sawl model NLFFF yn fanwl, a chymharodd Mackay a van Ballegooijen (2009) fodelau NLFFF â modelau Meysydd Di-rym Llinol (LFFF, *Linear Force Free Field*, lle mae  $\alpha$  yn gyson ym mhob man ond nid o reidrwydd yn sero). Dangoswyd bod modelau NLFFF yn llawer mwy realistig ac yn hanfodol er mwyn cynhyrchu efelychiad realistig gyda maes magnetig sy'n cytuno â strwythurau mewn delweddau ffilamentau, megis adfachau sy'n cysylltu'r ffilamentau â'r ffotosffer.

**Ffigur 3: Ffurfweddiad maes potensial ( $\alpha=0$ ) yn y cromosffer a'r corona wedi ei fodelu gan ddefnyddio dwy wefr bwynt**



#### 4.4 Trosolwg o fodelau NLFFF

Mae sawl dull NLFFF ar gael, oll â'u manteision a'u hanfanteision o ran eu cywirdeb, cyflymder cyfrifo, y mewnbynnau data sydd eu hangen ynghyd â chydaniad amserol. Mae'r rhan fwyaf ohonynt yn defnyddio data llawn am y maes magnetig mewn tri dimensiwn, ond y cydaniad amserol uchaf sy'n bosibl drwy'r dull hwn yw deuddeg munud. Trwy ddefnyddio maes magnetig mewn tri dimensiwn, gellir adeiladu model sy'n cyfateb yn agos i'r hyn a welir mewn arsylwadau. Ceir sawl dull a grëwyd er mwyn cyrraedd y nod hwn, ac eir ati i ddisgrifio sawl un isod.

Mae'r Dull Integru Cynyddol, a awgrymwyd yn gyntaf gan Nakagawa (1974), yn anelu at adeiladu maes magnetig y cromosffer a'r corona mewn tri dimensiwn trwy gychwyn o un lefel o'r cromosffer, cyfrifo'r cerrynt ac  $\alpha$ , a mynd ati i ddefnyddio'r wybodaeth hon i amcangyfrif y maes magnetig ar y lefel nesaf. Trwy wneud hynny lawer gwaith, gellir adeiladu model o'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona mewn tri dimensiwn. Serch hynny, yn anffodus, gall y model hwn fod yn ansefydlog.

Mae'r Dull Grad-Rubin (Grad a Rubin, 1958) yn datrys problem fathemategol sydd wedi'i gosod yn dda. Defnyddir dosbarthiad o werthoedd  $\alpha$  a phroses o iteru i gyrraedd y maes magnetig sy'n cyfateb orau i'r data. Fodd bynnag, mae'r gofyniad o wybod dosbarthiad  $\alpha$  fel mewnbwn yn anfantais.

Cynigiwyd gan Chodura a Schlüter (1981) ddull amser-ddibynnol MagnetoHydroDynamig (MHD) y gellir ei ddefnyddio i gyrraedd math o gydbwysedd trwy gyfres o gamau dros gyfnod o amser, drwy ystyried dynameg, cyflymder, gludedd a maes trydanol y plasma.

Mae sawl awdur, e.e. Wiegelmann et al. (2003) wedi cynnig dulliau optimeiddiaeth i ddatrys y broblem, gan iteru dros amser i gydbwysedd. Cynhwysir mwy o dermau hefyd er mwyn anelu at ateb mwy cywir.

Yn ddiweddar, mae Aschwanden (2013) wedi anelu at fodelau newydd NLFFF fel nad oes angen data am y maes magnetig yn y ffotosffer mewn tri dimensiwn. Yma defnyddir magnetogramau dau ddimensiwn a lwpiau'r corona a arsylwyd. Ar draul cywirdeb, ceir cydraniad amserol o 45 eiliad, a gellir cyfrifo'r model yn llawer cynt na thrwy'r dulliau sy'n defnyddio data am y maes magnetig tri dimensiwn.

#### 4.5 Côd Aschwanden: amlinelliad

Yn yr ymchwil hwn, defnyddiwyd codau NLFFF Aschwanden, gyda sawl addasiad ac estyniad i fodelu strwythurau'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona. Ymestynnir y gwaith hwn gan anelu at ddarganfod newidiadau yn strwythur ac egni'r system gyda chydrianiad amserol o 45 eiliad, a hefyd gan anelu at adeiladu delweddau mewn tri dimensiwn o lwpiau'r corona. Amlinellir cefndir y côd hwn mewn cyfrol dair rhan gan Aschwanden a Malanushenko (Aschwanden 2013, Aschwanden a Malanushenko 2013, Aschwanden 2013a). Mae'r codau hyn ar gael am ddim ar y gwasanaeth *solarsoft*, sef llyfrgell o feddalwedd a ddyfeisiwyd er mwyn astudio'r Haul.

Mae'r codau'n dechrau drwy ddadelfennu magnetogram dau ddimensiwn i wefrau pwynt, er mwyn amcangyfrif y maes magnetig mewn tri dimensiwn yn y ffotosffer. Bydd gan bob un o'r gwefrau bwynt lleoliad, cryfder magnetig a gwerth  $\alpha$  o'u hunain, a dylent gynrychioli'r maes magnetig cyfan yn y ffotosffer. Ar ôl y cam hwn, gwyddys lleoliad a chryfder magnetig pob un wefr bwynt, ond ni wyddys beth yw dosbarthiad gwerthoedd  $\alpha$ . Cyfrifir y maes potensial ( $\alpha = 0$ ) ar gyfer y data yn y cromosffer a'r corona. Gellir yn awr ddefnyddio arsylwadau AIA wrth droed y lwpiau ger y ffotosffer a'u cymharu gyda'r maes potensial er mwyn darganfod y camaliniad ac amcangyfrif y dirdroad yn y ffotosffer. Diffinnir y camaliniad fel yr ongl rhwng cyfeiriadau'r maes potensial a'r lwpiau ar arwyneb y ffotosffer. Gellir yna ddarganfod dosbarthiad  $\alpha$  yn yr ardal hon, gyda'r gwerthoedd yn lleoliadau'r gwefrau pwynt.

Gellir yn awr ddefnyddio'r pum paramedr – lleoliad pob gwefr bwynt (tri pharamedr), cryfder y maes magnetig  $B$  ym mhob un o'r lleoliadau, a gwerth  $\alpha$  ym mhob lleoliad – fel gwerthoedd ffin ar waelod y cromosffer a'r corona i ddylunio llinellau'r maes magnetig sy'n ymestyn i'r cromosffer a'r corona. Gwneir y dylunio drwy ystyried camau bychain mewn gofod fel a ddisgrifir yn fanwl gan Aschwanden (2013). Mae'r broses yn rhoi gwerth a chyfeiriad y maes magnetig dros grid dychmygol sy'n ymestyn o arwyneb y ffotosffer i'r cromosffer a'r corona. Gellir yna gymharu'r maes magnetig a ddyluniwyd gyda'r strwythurau a arsylwir gan AIA yn y cromosffer a'r corona.

#### 4.6 Effeithiolrwydd y dull hwn

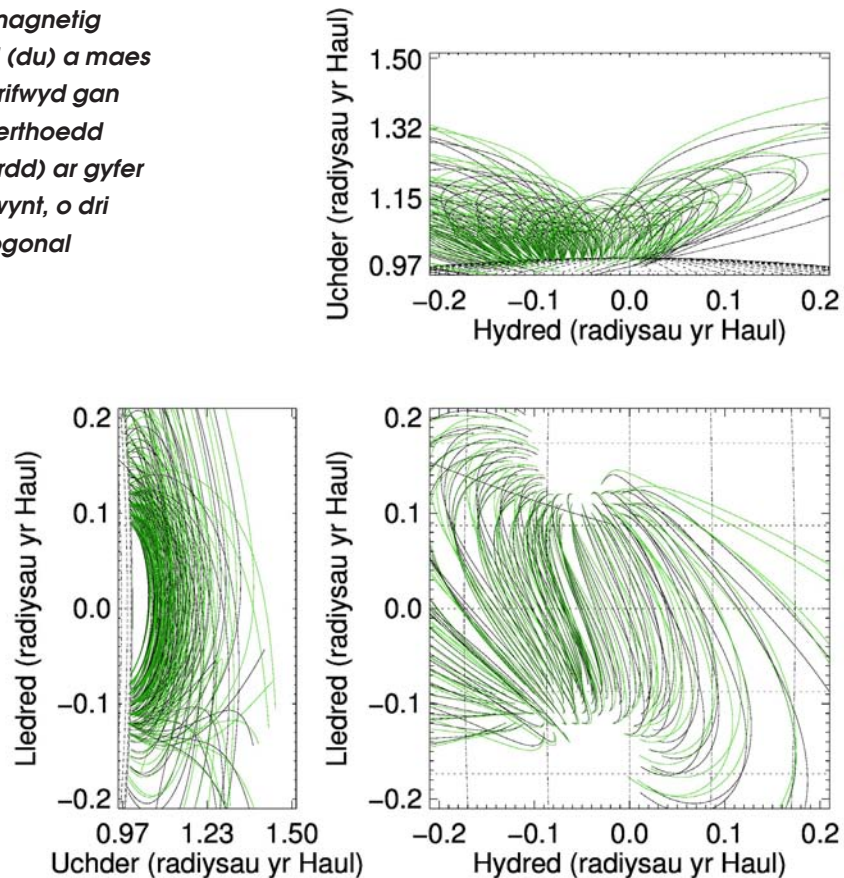
Fel unrhyw gynllun arall, mae angen sefydlu effeithiolrwydd y dull. Gwneir hynny trwy greu maes magnetig damcaniaethol yn nhermau gwefrau pwynt yn y ffotosffer lle y mae gwerthoedd  $\alpha$  yn lleoliad y gwefrau pwynt yn wybyddus. Yna defnyddir y dull uchod i ddylunio'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona. Trwy gymharu'r maes magnetig a ddyluniwyd gyda'r maes potensial cyfatebol, gellir ail gyfrifo gwerthoedd  $\alpha$  yn lleoliadau'r gwefrau pwynt. Gellir gweld a yw'r dull yn gweithio drwy gymharu'r

gwerthoedd  $\alpha$  a gyfrifir â gwerthoedd gwreiddiol y paramedr, gyda chytundeb rhwng y gwerthoedd hynny yn dynodi llwyddiant y dull hwnnw. Gellir hefyd yn awr ail ddylunio'r maes magnetig gan ddefnyddio'r gwerthoedd newydd a gyfrifwyd ar gyfer  $\alpha$ . Mae ffigur 4 yn efelychu sefyllfa gymhleth o bedair gwefr bwynt. Nodir eu cryfderau magnetig a chyfesurynnau eu lleoliadau yn y tabl oddi isod ynghyd â gwerthoedd gwybyddus  $\alpha$ .

Cryfder maes magnetig G	Cyfesuryn x radiws Haul	Cyfesuryn y radiws Haul	Cyfesuryn z radiws Haul	$\alpha$
1000	-0.10	-0.10	0.90	-5
-1000	-0.05	0.10	0.90	-5
1000	0.05	-0.05	0.90	-4
-1000	0.10	0.00	0.90	-4

Y gwerthoedd a gyfrifwyd ar gyfer  $\alpha$  wrth ddefnyddio'r dull i ddylunio'r maes magnetig yw -4.54, -5.45, -4.68, -3.62 yn ôl eu trefn, sy'n agos at y gwerthoedd cychwynol yn y tabl. Dengys ffigur 4 fod y maes magnetig a efelychir gan ddefnyddio'r gwerthoedd a gyfrifwyd ar gyfer  $\alpha$  hefyd yn cytuno â'r maes gwreiddiol a ddyluniwyd, gyda'r llinellau maes y dangos yr un ffurfweddïad.

**Ffigur 4: Maes magnetig damcaniaethol (du) a maes magnetig a gyfrifwyd gan ddefnyddio gwerthoedd newydd  $\alpha$  (gwyrd) ar gyfer pedair gwefr bwynt, o dri chyfeiriad orthogonal**



## 5. Dull

### 5.1 Defnyddio data go iawn

Un fantais sydd i'r data a arddangosir gan y telesgop AIA yw bod lluniau ar gael mewn sawl tonfedd wahanol, megis 9.4 nm, 13.1 nm, 17.1 nm, 19.3 nm, 21.1 nm, 30.4 nm a 33.5 nm. Mae'r tonfeddi gwahanol yn canolbwyntio ar blasma sydd ar dymheredd gwahanol: mae'r donfedd 9.4 nm yn canolbwyntio ar blasma sydd ar dymheredd o tua 6.3 MK; y donfedd 13.1 nm yn canolbwyntio ar 0.4 MK, 10 MK a 16 MK; y donfedd 17.1 nm ar 0.63 MK; y donfedd 19.3 nm ar 1.2 MK a 20 MK; y donfedd 21.1 nm ar 2 MK; y donfedd 30.4 nm ar 0.05 MK, a'r donfedd 33.5 nm ar 2.5 MK. Yn gyffredinol wrth arsylwi lwpiau'r corona, gwelir gwahaniaethau geometrig yn y lluniau mewn tonfeddi gwahanol, ac ymddangosa'r lwpiau fel eu bod yn cyffwrdd ag arwyneb yr Haul (ffotosffer) ar onglau gwahanol yn y tonfeddi gwahanol. Wrth ystyried mai'r bwriad yw defnyddio'r ongl rhwng y maes magnetig lleol a thraed y lwpiau ger y ffotosffer i amcangyfrif  $\alpha$ , mae'n amlwg felly y bydd y tonfeddi gwahanol yn rhoi gwerthoedd gwahanol ar gyfer  $\alpha$  yn lleoliadau'r gwefrau pwynt.

Trafodir maes o law ddwy strategaeth i ddygymod â hynny. Yn gyntaf, ac yn arbennig wrth gyfrifo'r egni rhydd, mae ystyried y lwpiau o bob tonfedd gyda'i gilydd yn ddefnydd da o'r data, ac yn un sy'n lleihau dylanwad negyddol data camarweiniol. Yn ail, gellir ystyried yr anghydfod rhwng y tonfeddi gwahanol fel mantais, gan ddefnyddio'r tonfeddi gwahanol i greu hyd at saith model gwahanol o'r un ardal. Trwy ddylunio'r rhain mewn lliwiau gwahanol, creir posibilid i gymharu sut mae'r maes magnetig yn effeithio ar ddsbarthiad tymheredd y plasma.

### 5.2 Cyfrifo'r egni rhydd

Un o nodweddion pwysicaf unrhyw strwythur ar yr Haul yw ei egni rhydd. Nodwyd eisoes na cheir egni rhydd mewn maes potensial. Y maes potensial yw'r ffurfweddiad sydd â'r lleiaf posibl o egni, a dynodir yr egni hwn gan  $E_{potensial}$ . Yn gyffredinol, serch hynny, mae'r egni sydd gan unrhyw ffurfweddiad fel y gwelir ar yr Haul yn fwy nag  $E_{potensial}$  a hynny oherwydd dirdroad sy'n storio rhywfaint o egni.

Gelwir yr egni sydd mewn ffurfweddiad go iawn yr egni amhotensial,  $E_{amhotensial}$ . Petai'r ffurfweddiad yn newid – ac mae'n ddigon clir mewn arsylwadau y ceir newidiadau dros amser yn y rhan fwyaf o ffurfweddiadau – bydd yr egni amhotensial yn newid. Mae newidiadau o'r fath fel arfer yn digwydd oherwydd ailgysylltiad magnetig neu ffrwydradau. Gelwir y gwahaniaeth rhwng egni'r maes amhotensial ( $E_{amhotensial}$ ) ac egni'r maes potensial ( $E_{potensial}$ ) yr egni rhydd yn  $E_{rhydd}$ , ac mae

$$E_{rhydd} = E_{amhotensial} - E_{potensial}$$

Dyma'r egni mwyaf y mae'n bosib i ffurfweddiad amhotensial ei gollu, cyn cyrraedd y ffurfweddiad potensial. Er bod yr arsylwadau'n awgrymu nad yw'n gyffredin i ffurfweddiadau gollu ei egni rhydd i gyd ar yr un pryd, mae mynd ati i amcangyfrif faint o egni a all ddianc yn ystod ffrwydrad yn bwysig wrth ddarogan tywydd y gofod.

Ystyrir maes magnetig yn y cromosffer a'r corona sy'n arddangos dirdroad. Nid yw  $\alpha$  felly yn sero. Ystyrir ymhellach gydrannau'r maes magnetig amhotensial  $\mathbf{B}$  yn y cromosffer a'r corona er mwyn i un gydran fod yn baralel i'r maes magnetig potensial,  $\mathbf{B}_{\text{paralel}}$ , a'r llall yn berpendicwlar i'r maes magnetig potensial,  $\mathbf{B}_{\text{perpendicwlar}}$ . Yn nhermau fectorau, gellir ysgrifennu

$$\mathbf{B}_{\text{amhotensial}} = \mathbf{B}_{\text{perpendicwlar}} + \mathbf{B}_{\text{paralel}}$$

Yn ôl ei ddiffiniad, mae  $\mathbf{B}_{\text{potensial}} = \mathbf{B}_{\text{paralel}}$

Darganfyddir yr egni sydd gan faes magnetig drwy'r hafaliad

$$E = \frac{1}{2\mu_0} \int \mathbf{B} \cdot \mathbf{B} \, dV = \frac{1}{2\mu_0} \int B^2 \, dV$$

Ile mai  $V$  yw'r cyfaint dan ystyriaeth,  $E$  yw'r egni a  $B$  yw maint y maes magnetig. Gellir felly gyfrifo'r egni rhydd:

$$E_{\text{amhotensial}} - E_{\text{potensial}} = \frac{1}{2\mu_0} \left( \int B_{\text{amhotensial}}^2 \, dV - \int B_{\text{potensial}}^2 \, dV \right)$$

Wrth ystyried cydrannau perpendicwlar a pharalel i'r maes potensial, gellir dangos bod

$$E_{\text{rhydd}} = \frac{1}{2\mu_0} \int B_{\text{perpendicwlar}}^2 \, dV$$

Hynny yw, mae'r egni rhydd yn dibynnu ar gydran berpendicwlar  $\mathbf{B}_{\text{perpendicwlar}}$  yn unig.

Er mwyn cyfrifo'r egni rhydd, ystyrir y grid tri dimensiwn y soniwyd amdano yn adran 4.5, sy'n ymestyn o arwyneb y ffotosffer ac yn cynnwys y cromosffer a'r corona ac integreiddir dros y grid i gyfrifo cyfanswm yr egni rhydd. Nid yw'r grid yn ymestyn yn uwch na 0.15 radiws yr Haul uwchben arwyneb yr Haul gan nad yw'r dybiaeth ddi-rym yn gymwys uwchlaw hyn. Rhwir manylion ei baramedrau yn adran 6.1. Yn y broses, tybir bod y maes magnetig yn gyson mewn picselel o'r grid a chyfrifir gwerth yr egni rhydd ym mhob picselel. Cyfrifir hefyd egni'r maes potensial ac egni'r maes amhotensial.

Gan y ceir data arbrolfol o'r magnetogramau a delweddau AIA bob 45 eiliad, yna gellir defnyddio'r model i gyfrifo'r egni rhydd bob 45 eiliad ac edrych ar y newidiadau yn yr egni.

## 6. Enghraifft: 08:00-09:00 ar 11 Tachwedd 2011

Arsylwyd system o lwpiau'r corona ar dde-ddwyrain yr Haul ar fore 11 Tachwedd 2011. Mae'r data AIA yn awgrymu y ceir osgiliadau yn y system hon, ynghyd ag o leiaf un alldaflad mäs, sy'n glir iawn. Drwy fodelu'r system hon bob 45 eiliad, gellir ehangu ein dealltwriaeth o ddynmeg ac egni'r system.

### 6.1 Paramedrau

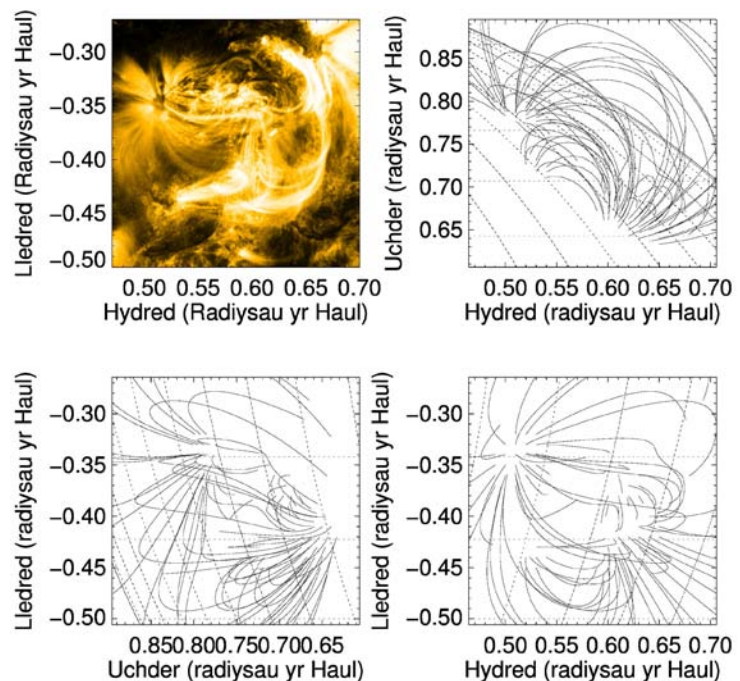
Amcangyfrifir y maes magnetig gan 50 o wefrau pwynt. Er nad oes modd cynnwys cymhlethdod cyfan y maes magnetig drwy ddefnyddio 50 o wefrau pwynt, mae'r symleiddio yn cynrychioli'r sefyllfa'n deg. Mae'r grid yn ymestyn dros ardal sy'n 0.2



radiws yr Haul mewn hydred, 0.2 radiws yr Haul mewn lledred a 0.15 radiws yr Haul mewn uchder. Ei gydraniad gofodol yw 0.001 radiws yr Haul. Mae hyn yn rhoi rhwydwaith o gelloedd 200 cell mewn hydred x 200 cell mewn lledred x 150 cell mewn uchder, a chyfanswm o chwe miliwn cell. Mae'r cydraniad gofodol yn caniatáu i  $\alpha$  newid ar draws yr ardal. Darganfyddir gwerthoedd  $\alpha$  yn lleoliadau'r gwefrau pwynt gan ddefnyddio'r dull a amlinellwyd eisoes.

## 6.2 Modelu'r maes magnetig

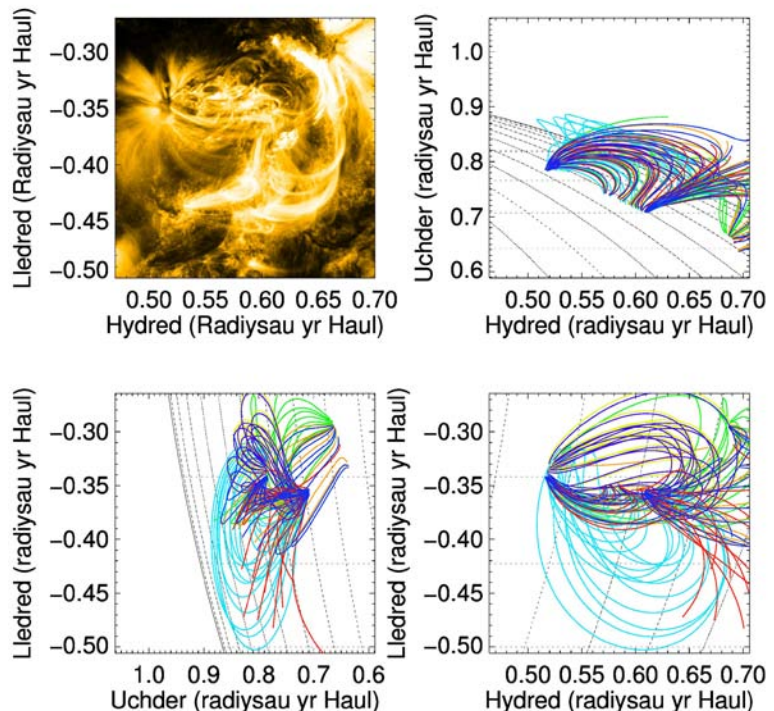
Trwy ddefnyddio bob un o'r saith prif donfedd, adeiladir model o'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona gan dybio bod y lwpiau i gyd yn dilyn llinellau'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona. Fel arfer, defnyddir tua 250 o lwpiau i amcangyfrif  $\alpha$  yn lleoliad pob gwefr bwynt. Po fwyaf o lwpiau a ystyrir, y mwyaf cywir yw'r amcangyfrif, ac mae 250 yn rhoi canlyniad derbyniol fel y dangosir maes o law. Isod, yn ffigur 5, gwelir enghraifft o'r maes magnetig am 08:40:30 ar 11 Tachwedd 2011 o dri chyfeiriad orthogonol, ynghyd â delwedd AIA yn nhonfedd 17.1 nm ar yr un pryd, er mwyn cymharu. Ymddengys fod llinellau'r maes magnetig yn y graff hydred-lledred yn cyfateb gydag arsylwadau'r AIA, yn neilltuol wrth droed y lwpiau yng nghornel dop chwith y ddau banel. Wrth edrych yn ofalus ar y paneli, gwelir hefyd llinellau maes yng nghornel dop dde'r panel de gwaelod sy'n cyfateb i'r lwpiau yng nghornel dop dde'r panel top ar y chwith. Yn yr un modd, gwelir llinellau maes ar waelod a chwith y panel gwaelod ar y dde sy'n cyfateb yn dda i'r lwpiau a arsylwyd yn y panel top ar y chwith o ran eu dyluniad a'u siâp. Mae'r model hwn, serch hynny, yn llawer gwell nag arsylwadau'r AIA o ran rhoi uchderau'r lwpiau gwahanol. Mae'r ddau banel arall yn efelychu arsylwadau gan ddefnyddio uchder. Ymddengys bod llawer o'r lwpiau yng nghanol yr amrediadau hydred a lledred. Gwelir hefyd amrediad yn uchderau'r lwpiau, a nodir yn neilltuol bod rhai o'r lwpiau hyn yn rhy fyr i'w gweld yn y delweddau AIA.



**Ffigur 5: Arsywadau AIA (panel top ar y chwith) a'r maes magnetig a fodelwyd (paneli eraill) ar 08:40:30, 11 Tachwedd 2011**

### 6.3 Modelu gan ddefnyddio'r gwahanol donfeddi

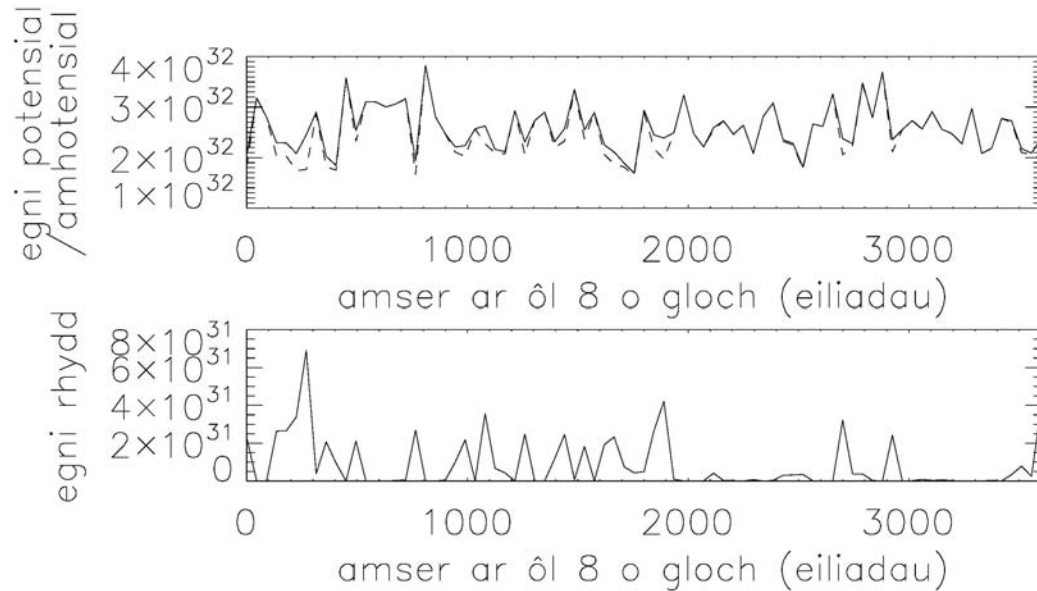
Defnyddir y lwpiau a welir yn y tonfeddi gwahanol er mwyn amcangyfrif y paramedr. Gwneir hyn gan ystyried pob tonfedd ar wahân, a cheir dosbarthiad o werthoedd ar gyfer  $\alpha$  ar gyfer pob tonfedd ynghyd â dyluniad o'r maes magnetig yn y cromosffer a'r corona. Rhydd y dyluniad o'r maes magnetig ar gyfer un donfedd ddarlun damcaniaethol o ddosbarthiad y plasma ar y tymheredd sy'n cyfateb i'r donfedd honno. Gan fod y tonfeddi gwahanol yn cyfateb i dymereddau gwahanol, gellir yna eu defnyddio i gael model tri dimensiwn o'r plasma ar y tymereddau gwahanol. Wrth ystyried newidiadau dros gyfnod o amser, gellir ymhellach ddylunio dynameg ffurfweddiad y plasma. Anfantais fawr y dull hwn o ystyried pob tonfedd ar wahân yw bod nifer y lwpiau sydd ar gael yn y data i amcangyfrif pob dosbarthiad o werthoedd  $\alpha$  yn gymharol fychan. Pe ystyrir yr holl donfeddi gyda'i gilydd, mae nifer y lwpiau'n sylweddol uwch, ond yma ystyrir cyfartaledd y gwerthoedd ar gyfer  $\alpha$  ac ni cheir gwybodaeth am ffurfweddiad y plasma ar dymereddau gwahanol. Wrth ystyried y tonfeddi ar wahân, gall niferoedd bychain y lwpiau ar brydiau arwain at ffurfweddiadau eithaf rhyfedd ar gyfer y plasma drwy roi gwerthoedd anghredadwy o uchel neu isel i  $\alpha$ . Serch hynny, gwelir enghraifft yn ffigur 6 lle mae'r dyluniad o'r maes magnetig mewn ardal (ar ledredau isel) yn cael ei ddynodi gan y lliw glas golau i gynrychioli'r donfedd 13.1 nm. Felly, gellir dod i'r casgliad fod tymheredd yr ardal hon yn cyfateb yn bennaf i dymereddau'r donfedd 13.1 nm, sy'n gynhesach yn gyffredinol na thymereddau'r tonfeddi eraill. Yn y modd hwn, gellir dod i gasgliadau am ymddygiad y plasma ar dymereddau gwahanol neu ddosbarthiad tymheredd y plasma. Yn y delweddau a gynhyrchir gan y dull hwn, dylunnir y tonfeddi gwahanol gan liwiau safonol data AIA: 9.4 nm gan wyrdd, 13.1 nm gan las golau, 17.1 nm gan felyn, 19.3 nm gan frown, 21.1 nm gan borffor, 30.4 nm gan goch a 33.5 nm gan las tywyll.



**Ffigur 6:** Arsylwadau AIA (panel top ar y chwith) a'r maes magnetig, a fodelwyd am 08:44:15 ar 11 Tachwedd 2011. Ymddengys fod y plasma ar ledredau isel yn cyfateb i dymereddau'r donfedd 13.1 nm (glas golau).

#### 6.4 Yr egni rhydd a'i berthynas ag arsylwadau

Dengys ffigur 7 yr egni potensial (panel uchaf, llinell doredig), yr egni amhotensial (panel uchaf, llinell ddi-dor) a'r egni rhydd (panel isaf) a gyfrifwyd o'r modelu bob 45 eiliad.

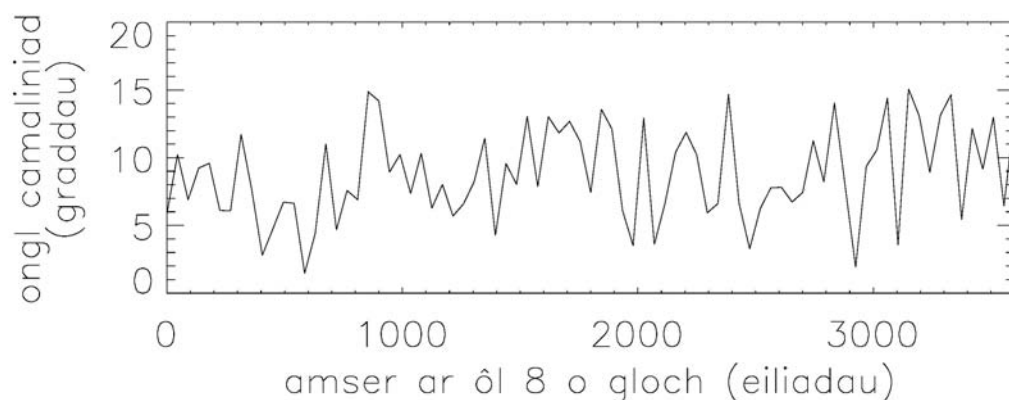


**Ffigur 7:** Yr egniau gwahanol (unedau: erg) a fodelwyd dros gyfnod o un awr

Mae'r egni a amcangyfrifwyd o'r model yn newid llawer gormod, efallai o ganlyniad i'r tybiaethau a wnaed, ond gwelir sawl nodwedd ddiddorol. E.e., tua chwarter i naw o'r gloch (2700 eiliad), gwelwyd cwmp yn yr egni rhydd o  $3.22 \times 10^{31}$  erg i  $3.68 \times 10^{30}$  erg. Yn yr arsylwadau AIA ar yr adeg hon, ffrwydrodd un o'r lwpiau gan agor. Dilynwyd hyn gan newid ffurfweddiad yn yr arsylwadau. Gyda'n hamcangyfrifon am yr egni rhydd cyn ac ar ôl y ffrwydrad, gellir amcangyfrif yr egni rhydd a ryddhawyd fel tua  $2.85 \times 10^{31}$  erg. Fodd bynnag, nid arsylwyd unrhyw ddigwyddiadau yn cyfateb i sawl gostyngiad arall mewn egni rhydd a welir yn y graff.

#### 7. Trafodaeth

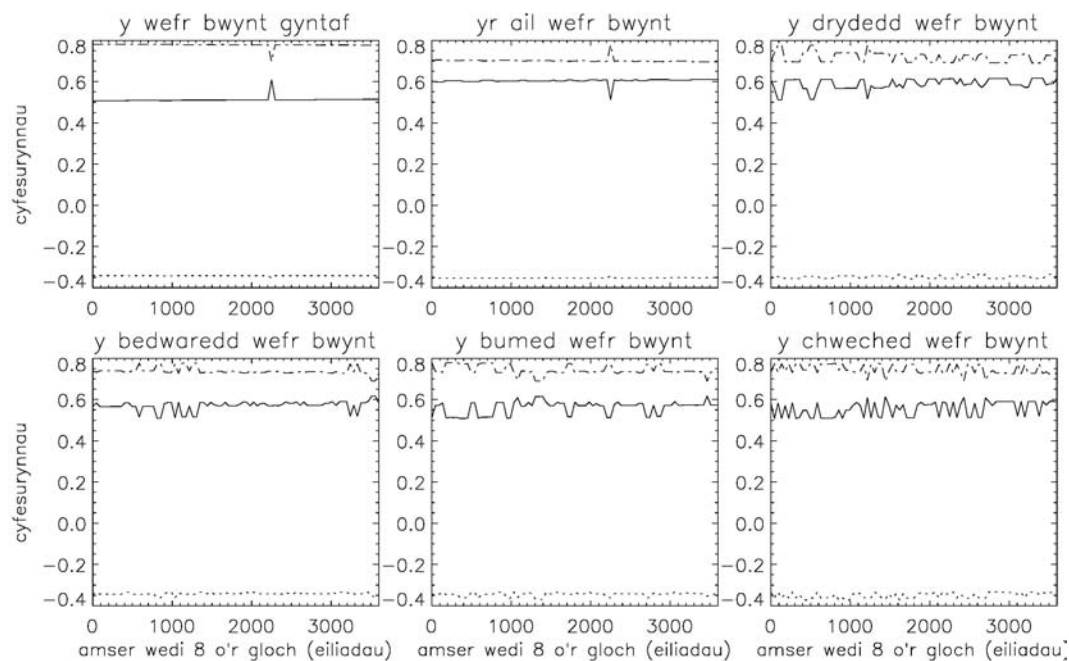
Ymddengys y gall y dull hwn gynyddu dealltwriaeth o lwpiau yn y cromosffer a'r corona. Gellir ei ddefnyddio i amcangyfrif yr egni rhydd a gollir drwy ffrwydradau fel yn yr enghraifft am tua chwarter i naw o'r gloch yn yr arsylwadau AIA. Un modd o asesu dull NLFFF yw drwy edrych ar y camaliniad rhwng y maes magnetig a ddyluniwyd gan ddefnyddio'r dull NLFFF a'r lwpiau a arsylwyd. Mesurir y camaliniad gan yr ongl rhwng cyfeiriadau'r maes magnetig a ddyluniwyd a'r lwpiau ar arwyneb y ffotosffer. Cyfrifir gwerth yr ongl ar gyfartaledd dros ddelwedd benodol. Yn naturiol, mae gwerth yr ongl ar gyfartaledd yn newid dros amser, a dangosir cyfartaledd yr ongl camaliniad ar gyfer yr enghraifft fel ffwythiant amser yn ffigur 8. Gellir yna gael mesuriad o gyfartaledd y camaliniad dros y cyfnod o awr h.y. cyfartaledd yr onglau yn y ffigur, a chafwyd gwerth o  $8.78^\circ$ . Sylwir hefyd o'r ffigur nad oedd yr ongl camaliniad yn fwy na  $17^\circ$ .



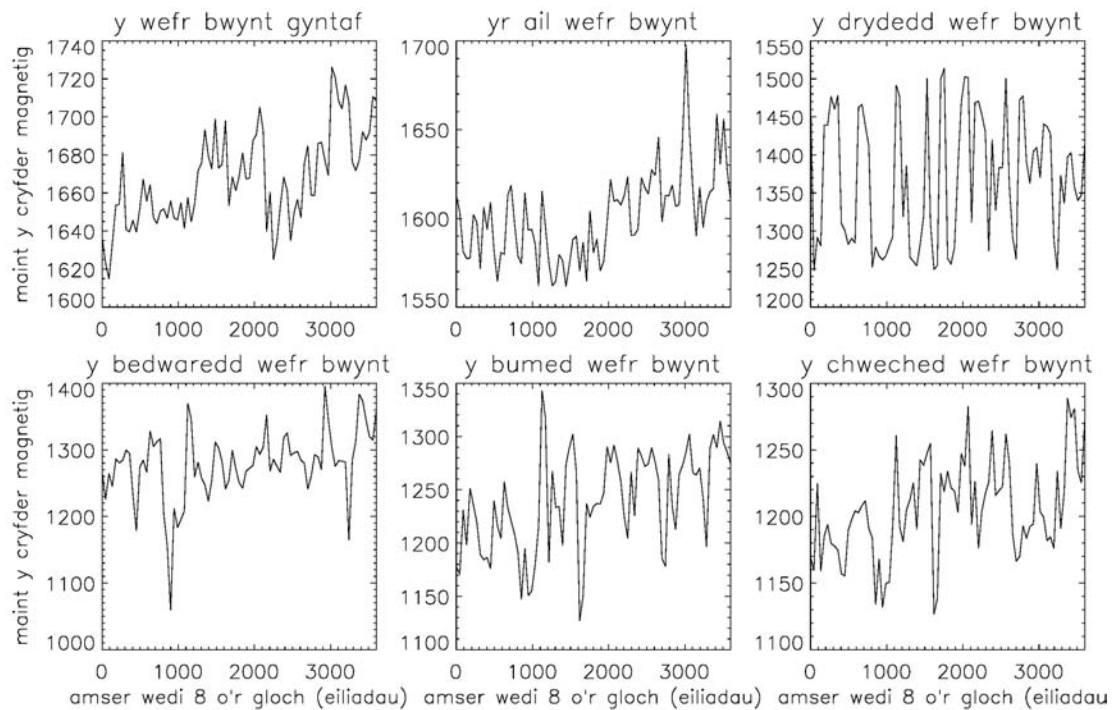
**Ffigur 8: Cyfartaledd yr ongl camaliniad fel ffwythiant amser dros gyfnod o awr**

Gellir hefyd asesu'r dull drwy edrych yn fanylach ar y gwefrau pwynt a'r nodweddion cysylltiedig.

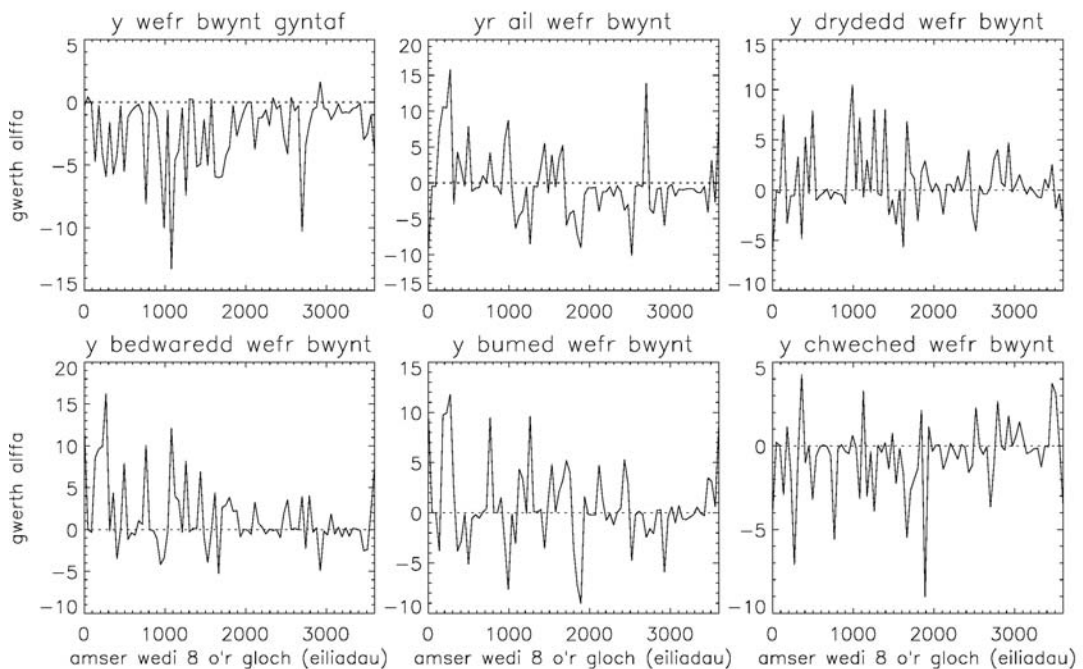
Roedd dadelfennu *magnetogram* 2D i sawl gwefr bwynt yn allweddol i'r dull a ddefnyddiwyd. Yn ffigurau 9 a 10, dangosir sut y newidiodd cyfesurynnau a maint cryfder magnetig y chwe gwefrau bwynt cryfaf yn yr enghraifft dros gyfnod o awr. Yn ffigur 9, dangosir cyfesurynnau'r chwe gwefr bwynt, gyda'r wefr bwynt gryfaf yn y panel cyntaf a'r gwanaf yn y panel olaf. Yn naturiol, gyda threigl amser mae'n bosibl nad yr un chwe gwefr bwynt a ystyrir fel y chwe cryfaf ac mae'n fwy tebygol y bydd eu trefn yn y panelau'n newid. Dynodir cyfesuryn-x y gwefrau pwynt gan y llinell doredig fân (dotiau), dynodir cyfesuryn-y gan y llinell ddi-dor, a dynodir cyfesuryn-z gan y llinell doredig.



**Ffigur 9: Cyfesurynnau'r chwe gwefr bwynt cryfaf fel ffwythiant amser dros gyfnod o un awr**



**Figur 10:** Newid yng nghryfder magnetig y chwe gwefr bwynt cryfaf dros gyfnod o awr



**Figur 11:** Newidiadau yng ngwerth  $\alpha$  am bob un o'r chwe gwefr bwynt cryfaf dros gyfnod o awr

Mae'r gwefrau pwynt yn aros fwy neu lai yn yr un lleoliad drwy'r amser, sy'n awgrymu cysondeb yn y lleoliad lle mae'r maes magnetig yn gryf. Lle ceir newidiadau, gellir eu hesbonio yn nhermau'r newid yn nhrefn y gwefrau yn y paneli ar sail cryfder magnetig. Fodd bynnag, gwelir yn ffigur 10 y cafwyd newidiadau sylweddol yng nghryfder y gwefrau pwynt dros y cyfnod o amser, sy'n awgrymu nad yw'r sefyllfa'n gyson â'r hyn a ddisgwylir mewn sefyllfa lle nad oes ffrwydrad. Ystyriwyd hefyd mwy na chwe gwefr bwynt i weld a fyddai hyn yn rhoi cryfder mwy cyson, ond amrywiol fu'r canlyniadau yma hefyd.

Dengys ffigur 11 y gwerthoedd a gyfrifwyd ar gyfer  $\alpha$  ar gyfer y chwe gwefr bwynt cryfaf dros y cyfnod o awr. Gwelir mewn ambell banel fod  $\alpha$  yn newid o fod yn sylweddol positif i sylweddol negatif (neu fel arall) dros 45 eiliad – sef y cydraniad amserol – a oedd yn annisgwyl. Down i'r casgliad felly, er y gall y dull fod yn ddefnyddiol er mwyn esbonio dynameg ffurfweddadau lwpiau'r Haul, fod angen bod yn ofalus wrth ddechongli'r canlyniadau.

## 8. Casgliad

Llwyddodd y dull hwn i greu delweddau mewn tri dimensiwn o strwythurau a ffurfweddadau lwpiau'r Haul, rhywbeth na ellir ei wneud gyda delweddau AIA yn unig. Pan welir y fath ddelweddau mewn dau ddimensiwn, maent yn aml yn cyfateb yn dda i'r delweddau AIA, a gallwn eu defnyddio i amcangyfrif uchder y lwpiau gwahanol, rhywbeth sy'n amhosibl gyda delweddau AIA yn unig. Mae'r dull hwn hefyd yn darparu golwg ar ddsbarthiad tymereddau plasma'r cromosffer a'r corona trwy ddefnyddio delweddau AIA mewn tonfeddi gwahanol ar wahân, er y nodir nad yw'r dull yn hollol ddibynadwy o ganlyniad i brinder data. Rhoddodd y dull syniad bras am yr egniâu a oedd yn gysylltiedig â'r maes magnetig ynghyd â'r newidiadau a ddigwyddodd iddynt dros amser. Yn neilltuol, gwelwyd gostyngiad sylweddol yn yr egni rhydd mewn ffrwydrad. Er nad yw'r dull yn hollol ddibynadwy er mwyn amcangyfrif newidiadau yn yr egni rhydd, mae'n argoeli'n dda ar gyfer dulliau newydd o'r fath yn y dyfodol. Y cam nesaf fydd datblygu dulliau eraill mwy dibynadwy er mwyn modelu systemau o'r fath gyda chydraniad amserol o 45 eiliad.

## Diolchiadau a chydabyddiaethau

Cyllidir fy ymchwil gan y Cyngor Adnoddau Gwyddoniaeth a Thechnoleg (STFC). Hoffwn ddiolch i'm harolygydd, Xing Li, am ei gymorth.

## Llyfryddiaeth

- Aschwanden, M. (2012), 'Nonlinear Force-Free Magnetic Field Fitting to Coronal Loops with and without Stereoscopy', *The Astrophysical Journal*, 763, 115-32.
- Aschwanden, M. (2013), 'A Nonlinear Force-Free Magnetic Field Approximation Suitable for Fast Forward-Fitting to Coronal Loops. I. Theory', *Solar Physics*, 287, 324-44.
- Aschwanden, M., a Malunashenko, A. (2013), 'A Nonlinear Force-Free Magnetic Field Approximation Suitable for Fast Forward-Fitting to Coronal Loops. II. Numeric Code and Tests', *Solar Physics*, 287, 345-67.
- Aschwanden, M. (2013a), 'A Nonlinear Force-Free Magnetic Field Approximation Suitable for Fast Forward-Fitting to Coronal Loops. III. The Free Energy', *Solar Physics*, 287, 369-89.
- Chiueh, T., a Zweibel, E. G. (1989), 'Stability of Stressed Current Tubes and Energy Storage in the Solar Corona', *The Astrophysical Journal*, 338, 1158-70.
- Chodura, R., a Schlüter, A. (1981), 'A 3D code for MHD equilibrium and stability', *Journal of Computational Physics*, 41, 68-88.
- Grad, H., a Rubín, H. (1958), 'Hydromagnetic Equilibria and Force Free Fields', *Peaceful Uses of Atomic Energy*, 31, 190-97.
- Guo Y., Ding, M., Liu, Y., et al. (2012), 'Modeling Magnetic Field Structure of a Solar Active Region Corona Using Nonlinear Force-Free Fields in Spherical Geometry', *The Astrophysical Journal*, 760, 47-61.
- Jiang, C., a Feng, X. (2013), 'Extrapolation of the Solar Coronal Magnetic Field from SDO/HMI Magnetogram by a CESE-MHD-NLFFF code', *The Astrophysical Journal*, 769, 144-56.
- Kliem, B., Su, Y., van Ballegoijen, A., et al. (2013), 'Magnetohydrodynamic Modeling of the Solar Eruption on 2010 April 8', *The Astrophysical Journal*, 779, 129-46.
- Liu, S., Zhang, H., a Su, J. (2011), 'Error Analysis Regarding the Calculation of Nonlinear Force-Free Field', *Solar Physics*, 270, 89-107.
- Low, B., a Lou, Y. (1989), 'Modeling Solar Force-Free Magnetic Fields', *The Astrophysical Journal*, 352, 343-52.
- Mackay, D., a van Ballegoijen, A. (2009), 'A Non-Linear Force-Free Field Model for the Evolving Magnetic Structure of Solar Filaments', *Solar Physics*, 260, 321-46.
- Malanushenko, A., Schrijver, C., DeRosa, M., et al. (2012), 'Guiding Nonlinear Force-free Modeling Using Coronal Observations: First Results Using a Quasi-Grad-Rubin Scheme', *The Astrophysical Journal*, 756, 153-71.
- Nakagawa, Y. (1974), 'Dynamics of the Solar Magnetic Field. I. Method of Examination of Force-Free Magnetic Fields', *The Astrophysical Journal*, 190, 437-40.
- Powell, M. J. D. (1964), 'An Efficient Method for Finding the Minimum of a Function of Several Variables without Calculating Derivatives', *The Computer Journal*, 7 (2), 155-62.
- Su, Y., van Ballegoijen, A., Lites, B., et al. (2009), 'Observations and Nonlinear Force-Free Field Modeling of Active Region 10953', *The Astrophysical Journal*, 691, 105-14.

Tadesse, T., Wiegelmann, T., Inhester, B., et al. (2014), 'A Comparison Between Nonlinear Force-Free Field and Potential Field Models Using Full-Disk SDO/HMI Magnetogram', *Solar Physics*, 289, 831-45.

Wheatland, M. (2006), 'A Fast Current-Field Iteration Method for Calculating Nonlinear Force-Free Fields', *Solar Physics*, 238, 29-39.

Wiegelmann, T. (2003), 'Optimization Code With Weighting Function for the Reconstruction of Coronal Magnetic Fields', *Solar Physics*, 219, 87-108.

Wiegelmann, T., a Sakurai, S. (2012), 'Solar Force-Free Magnetic Fields', *Living Reviews in Solar Physics*, 9, 317-65.



**Dr Manon Jones**

---

**Seiliau seicolegol darllen  
yn rhugl: adolygiad**

---

**Gwerddon**

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Golygydd Yr Athro Ioan M. Williams

---

# Seiliau seicolegol darllen yn rhugl: adolygiad

**Dr Manon Jones**

Yn y flwyddyn 2014, gwelir bod mwy o boblogaeth y byd nag erioed o'r blaen yn gallu darllen, yn enwedig mewn gwledydd datblygedig. Gellir dadlau mai dysgu darllen yw'r sgil pwysicaf a ddysgir yn yr ysgol. Mae'n agor drysau i fyd o ddysgu i'r ysgolhaig ifanc, boed drwy'r ffurf draddodiadol o ddarllen llyfrau a chyfnodolion neu drwy bori drwy'r wybodaeth electronig ddi-ddiwedd sydd ar gael ar y we. Awgrymaf, serch hynny, nad ydym wedi esblygu i ddarllen, a hynny am nad oes gan yr ymennydd 'ganolfan ddarllen'. Er hynny, pan niweidir yr ymennydd, amherir ar y gallu i ddarllen. Mae'r sgil hwn, a ddefnyddiwn bob awr o bob dydd, yn tynnu ar nifer o strwythurau'r ymennydd a esblygwyd at ddibenion eraill, ac mae'n enghraifft wych o niwroplastigedd<sup>1</sup> yr ymennydd. Mae'n syndod, felly, sut y dysgwn i ddarllen yn gyflym, yn effeithlon ac yn ddidrafferth. Yn yr adolygiad hwn, amlinellir y wybodaeth gyfredol sydd gennym am seiliau niwroseicolegol<sup>2</sup> y gallu i ddarllen yn rhugl, gan edrych ar ddarllenwyr rhugl ynghyd â'r rhai sy'n dioddef o ddyslecsia, gan gynnwys enghreifftiau o waith ymchwil fy nghyd-weithwyr a minnau.

## Y broses seicolegol o ddarllen

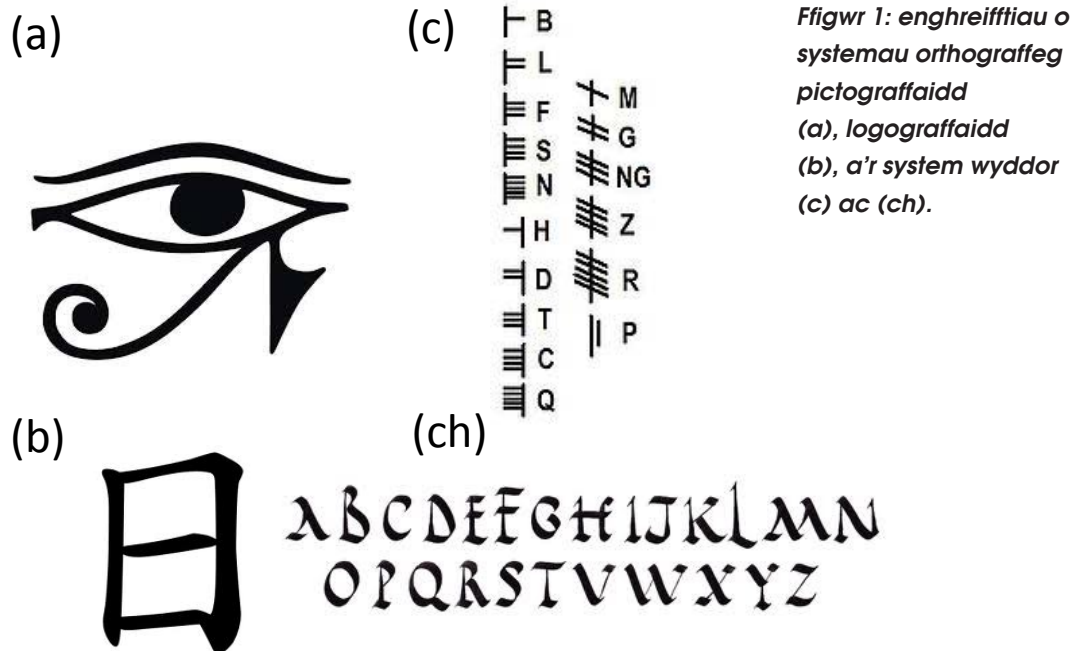
Yn yr hen Aifft, ceid y ffurf ysgrifenedig enwog o'r enw *hieroglyphics*. Mae symbolau'r hieroglyphiaid yn cyflwyno darlun er mwyn dynodi'r gair ffonolegol<sup>3</sup> (gweler Ffigwr 1a). Mae hyn yn enghraifft o'r system ysgrifennu a elwir yn 'pictograffeg'. Yn deillio o'r system hynafol hon ceir sawl system 'logograffeg' gyfredol (Tsieinëeg Mandarin, er enghraifft), sy'n cynnwys un symbol i gyfateb i air cyfan, darn o air, neu sillaf (Ffigwr 1b). Yn y ganrif gyntaf CC, roedd y Celtiaid cynnar yn prysur ddatblygu'r sgrïpt Ogam fel gwyddor gynnar sy'n dyddio o'r un cyfnod â'r wyddor Rufeinig a ddefnyddir heddiw. Yr wyddor yw'r brif system a ddefnyddir yn y gorllewin, ac fe'i diffinnir gan symbolau haniaethol sy'n cynrychioli gwahanol seiniau lleferydd y gellir eu cyfuno mewn gwahanol ffyrdd i lunio gwahanol eiriau (Ffigwr 1c ac 1ch). Felly, mae i'r broses o ddarllen mewn gwahanol sgrïptiau oblygiadau o ran y gorchmynion gwybyddol (*cognitive*) ar y defnyddwyr. Mae adnabod gair mewn Mandarin yn rhoi pwysau mawr ar y cof i wahaniaethu rhwng y symbol a'r miloedd o symbolau eraill, tra bod adnabod gair mewn ieithoedd sy'n defnyddio gwyddor – megis Cymraeg ac ieithoedd Ewropeaidd eraill – yn ei gwneud yn ofynnol i weithredu sgiliau 'datgodio', h.y. adnabod pob symbol a'i heitem ffonolegol gyfatebol ynghyd â'u dilyniannu'n gywir wrth ddarllen o'r chwith i'r dde ar hyd y gair (gweler Blwch 1). Mae'r broses hon, felly, yn dibynnu fwy ar yr eitemau seinyddol bach a elwir yn 'ffonemau' yn ogystal ag ar lefel uchel o reolaeth dros y system sylw er mwyn

<sup>1</sup> Hyblygrwydd nerfol o ganlyniad i newidiadau mewn ymddygiad corfforol, anaf corfforol neu newid o ran amgylchedd.

<sup>2</sup> Strwythur a gweithgarwch yr ymennydd wrth iddynt ymateb i brosesau ac ymddygiad penodol.

<sup>3</sup> Cynrychioliadau seinyddol y gair.

rhoi'r llythrennau a'r ffonemau yn y drefn gywir (Snowling, 2001; Hulme a Snowling, 1994; Pammer a Vidyasagar, 2010).



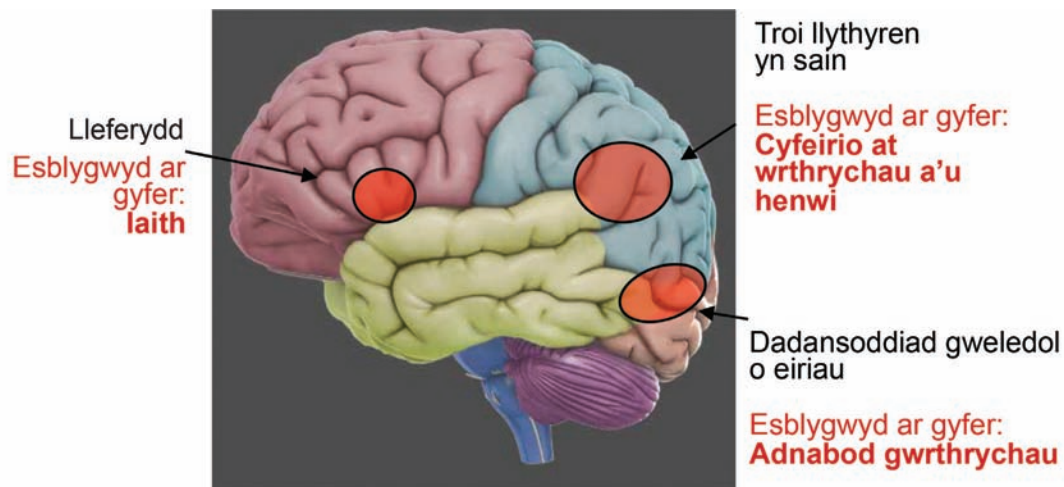
#### BLWCH 1

Pan fyddaf yn darllen gair – yn enwedig un anghyffredin nad wyf wedi dod ar ei draws o'r blaen – yr wyf yn gwneud rhywbeth o'r enw 'datgodio', sef y broses o gysylltu llythrennau unigol i'w seiniau lleferydd unigol. Dyma sut yr wyf yn gallu darllen y gair "ymddiriedolaeth"; drwy atgofio'r sain sy'n cyfateb i bob llythyren yn ei thro. Erbyn i mi gael cryn dipyn o ymarfer darllen, bydd yn bosib i mi ddarllen rhai geiriau penodol sy'n ymddangos yn aml drwy dafllu golwg sydyn arnynt yn unig. Mae geiriau bach a chyffredin, fel "cath", yn olwg-eiriau (*sight words*) gan y'u hadwaenir wrth eu siâp, ac nid oes rhaid eu datgodio (Ehri, 1995). Dros y deugain mlynedd diwethaf, gwnaed llawer iawn o waith ymchwil i ddatgelu'r prosesau seicolegol sy'n ymwneud â datgodio. Mae angen sgiliau 'ymwybyddiaeth seinyddol' da (y gallu i adnabod y synau unigol mewn gair) ac mae nam yn y gallu hwn yn arwydd o ddyslecsia (Bradley a Bryant, 1983; Snowling, 2001). Mae'r broses hon yn her arbennig i ddarllenwyr dyslecsig sy'n ceisio dygymod â sgrïptiau sy'n cynnwys sillafu afreolaidd, h.y. mae'n bosib i fwy nag un sain gyfateb i un llythyren. Mae hyn yn ei gwneud yn fwy anodd datgodio geiriau'n gywir, sy'n un rheswm paham ei fod yn fwy anodd i blant ddatgodio a darllen orthograffeg afreolaidd, fel Saesneg, o'i chymharu ag un gymharol syml ac eglur fel Cymraeg, er enghraifft (Spencer a Hanley, 2001).

Mae datgodio yn sgil arbennig wrth ddarllen ieithoedd yr wyddor, ac yn fwy o broblem mewn systemau afreolaidd. Mae datblygu rhuglder fel sgil darllen yn hanfodol ym mhob system ysgrifenedig. Diffiniad 'rhuglder' yw'r gallu i ddarllen geiriau (mewn brawddegau a pharagraffau) yn awtomatig ac yn hynod o gyflym gan amsugno'r nodweddion gweledol a ffonolegol priodol o'r testun a mynd ati i adnabod y geiriau a deall y deunydd. Yn sgil ei berthynas â phob system orthograffig a'i berthynas â dealltwriaeth, deallwn mai datblygu sgiliau rhuglder da yw'r prif nod wrth ddysgu darllen (LaBerge a Samuels, 1976; Perfetti, 2007). Rhuglder, felly, yw nodwedd ddiffiniol darlennydd medrus, a gall absenoldeb hynny ddynodi'r cyflwr o ddyslecsia. Mae gan tua 10 i 15% o boblogaeth Prydain ddyslecsia (Rutter a Yule, 1975; Shaywitz a Shaywitz, 2008). Mae diffyg rhuglder hefyd yn nodwedd sylfaenol o ddyslecsia ym mhob system orthograffig, ac mae tystiolaeth wyddonol i'r perwyl hwn wedi'i chanfod yn yr iaith Gymraeg, Saesneg, Almaeneg, Hebraeg a Tsieinecaidd (e.e., Bowers a Swanson, 1991; Breznitz, 2002; Ho, Chan, Tsang et al., 2002; Thomas a Lloyd, 2009; Wimmer, Mayringer, a Landerl, 1998). Beth, felly, yw'r ffactorau niwrobiologol (strwythur yr ymennydd a'r modd y gweithreda) a gwybyddol sy'n galluogi ar y naill law i ruglder ddatblygu'n effeithlon, ac ar y llaw arall yn achosi diffyg rhuglder pan fydd nam? 'Rydym ar drothwy gallu ateb y cwestiwn hwn ac mae seicolegwyr yn prysur ymchwilio i'r maes. Dyma rai o'n canfyddiadau hyd yma.

### Ymchwilio i ruglder darllen

Er mwyn ymchwilio i ruglder darllen, mae angen i ni amlinellu'r holl brosesau gwybyddol yr awn drwyddynt wrth gyflawni'r dasg o ddarllen. Yn gyntaf, mae'n rhaid canolbwyntio'r system sylw ar bob llythyren a gair yn eu tro. Dilynir hyn gan ddadansoddiad gweledol bi-hemisfferig o'i phriodweddau gweledol (mae'r system weledol yn ddibynol ar weithredoedd dau hemisffer yr ymennydd), yn cynnwys adfer cynrychiadau orthograffig o'r cof yn ogystal â'u cynrychiadau ffonolegol cyfatebol. Mae'n hanfodol gweithredu'r prosesau hyn yn gyflym er mwyn bod yn rhugl (Wolf a Bowers, 1999). Dengys Ffigwr 2 yr



**Ffigwr 2:** Prif adrannau'r ymennydd sy'n weithgar pan eir ati i ddarllen: parth broca (lleferydd), adrannau parietotemporal (troï llythyren yn sain) ac adrannau occipitotemporal (dadansoddi geiriau gweledol). Nodir hefyd ddiben esblygiad y parthau hyn.

amrywiaeth o rwydweithiau niwral a ddefnyddir ar gyfer y dasg o ddarllen (dangosir hemisffer chwith yr ymennydd, sef yr un a wna ran fwyaf y gwaith wrth ymgymryd â thasgau ieithyddol ac ysgrifenedig). Noder sut mae'r broses ddarllen yn defnyddio ardaloedd anatomegol hollol wahanol a phell oddi wrth ei gilydd. Hefyd, mae angen tiwnio'r negeseuon nerfol rhwng yr ardaloedd hyn yn gywrain iawn er mwyn iddynt weithredu'n gydamserol â'i gilydd.

Os gellir crynhoi rhuglder fel y broses o drosi symbol gweledol i'w gôd seinyddol yn gyflym cyn symud ymlaen i drosi'r symbol nesaf a.y.b. hwyrach mai'r ffordd orau o fesur y sylfeini gwybyddol yw cyflawni tasg sy'n arddangos cyfres o drosiadau gweledol-seinyddol. Dyna'r union resymeg y tu ôl i'r dasg Enwi Awtomatig Cyflym (EAC) sy'n cynnwys 'grid' (10 x 5) o lythrennau (neu symbolau cyffredin eraill y gellir eu hadnabod a'u henwi, megis gwrthrychau, lliwiau a rhifau), a gofynnir i gyfranogwyr enwi pob llythren cyn gynted ag sy'n bosibl gan ddarllen o'r llythren gyntaf ar y chwith, ar draws ac i lawr y dudalen (gweler Ffigur 3).

a o d s p s d p s d  
p d s a o a o d o a  
d a p o s a o d s a  
p s a d a s p o d o  
a s d p o s a o d a

***Ffigur 3: Enghraifft glasurol o'r dasg Enwi Awtomatig Cyflym (EAC), sy'n rhoi 'microcosm' o'r prosesau seicolegol a ddefnyddir wrth ddarllen geiriau, brawddegau a thestunau (Wolf a Bowers, 1999).***

Mae'r dasg yn gorfodi defnydd o'r prif ganolfannau gwybyddol sy'n sylfaen i ruglder darllen, sef rhoi sylw i'r llythrennau a'u trosi i'w ffurf ffonolegol cyn llefaru'r sain. Yn hollbwysig, serch hynny, mae'n ynysu'r prosesau hyn rhag y lefelau uwch o iaith, megis cystrawennau ac ystyr, nad ydynt wedi'u cynnwys yn y dasg. Gan ddefnyddio'r egwyddor wyddonol o ynysu'r ffactorau sydd o ddiddordeb, gallwn ddechrau deall y sylfeini lefel isel, gwybyddol, o ddarllen yn rhugl. Y dasg EAC yw'r mesur safonol a ddefnyddir er mwyn asesu rhuglder darllen mewn plant ac oedolion, a hwn yw'r prif ddull a ddefnyddir er mwyn cael diagnosis o ddiffyg rhuglder mewn dyslecsia. Dengys ymchwil empirig bod perfformiad plant ar y dasg EAC – cyn iddynt ddysgu darllen geiriau – yn rhagfynegiad cryf o'u gallu i ddarllen sawl blwyddyn yn ddiweddarach (e.e., Lervag a Hulme, 2009). Yn bwysicaf oll, mae'r dasg yn gwahaniaethu rhwng grwpiau medrus a

rhai dyslecsig mewn ffordd gyson iawn (Bruck, 1994; Denckla a Rudel, 1976; Bowers a Swanson, 1991; Lefly a Pennington, 1991; Pennington a Lefly, 2001; Scarborough, 1998; Schatschneider, Flethcer, Francis et al., 2004; gweler Kirby, Georgiou, Martinussen, et al., 2010, a Wolf a Bowers, 1999 am adolygiadau).

Er gwaethaf tystiolaeth helaeth bod plant ac oedolion sydd â dyslecsia yn llawer arafach na'u cyfoedion wrth gwblhau'r dasg EAC, a hynny o'i defnyddio fel ffordd o adnabod y cyflwr dyslecsia (e.e., Denckla a Rudel, 1976; gweler Wolf a Bowers, 1999, am adolygiad), ceir cryn ddadlau ynghylch pa ofynion prosesu gwybyddol sy'n achosi'r gwahaniaeth rhwng darllenwyr o wahanol allu, a pha elfennau o'r dasg EAC sy'n pennu lefelau perfformiad wrth ei chwblhau. Yn draddodiadol, caiff y dasg EAC ei hystyried yn fesur o adferiad seinyddol, neu adferiad o godau ffonolegol tymor hir (Wagner, Torgesen, Laughon et al., 1993). Ynghlwm yn y ddadl, ystyrir mai dyslecsia yw nam yn y broses adalw codau ffonolegol. Yn nhasg yr EAC, byddai angen y codau ffonolegol er mwyn rhwystro eitemau (llythrennau) sydd eisoes wedi'u henwi gan y darllenydd (Clarke, Hulme, a Snowling, 2005). Fodd bynnag, ceir tystiolaeth sylweddol fod perfformiad ar y dasg EAC yn rhagfynegydd o sgiliau darllen sy'n rhannol annibynnol oddi wrth sgiliau ffonolegol (Bowers, 1993; Powell, Stainthorp, Stuart et al., 2007; Savage, Pillay, a Melidona, 2007).

Yn benodol, mae'r dasg EAC yn rhagfynegydd annibynnol o'r sgiliau mynegiant, effeithlonrwydd a chyflymder wrth ddarllen testun (Young a Bowers, 1995) yn ogystal â'r gallu i ddarllen yn rhugl yn ddiweddarach mewn bywyd (Manis, Doi, a Badha, 2000; Wolf a Obregón, 1992). Mae perfformiad ar y dasg hefyd yn rhagfynegydd annibynnol o ddatblygiad sgiliau darllen (Parilla, Kirby, a McQuarrie, 2004). Dangosodd Bowers a Swanson (1991) ymhellach fod fersiynau parhaus o'r dasg EAC – lle cyflwynir yr holl eitemau ar unwaith mewn fformat grid – yn rhagfynegyddion gwell o ruglder na fformatau lle cyflwynir eitemau'n unigol. Mae'r canfyddiadau hyn yn awgrymu bod prosesau ar wahân i adalw seinyddol yn dylanwadu ar berfformiad cyflymder enwi fel mesur o gyflymder darllen. Dadleuodd Wolf a Bowers (1999) fod y dasg EAC yn rhagfynegydd dibynadwy o lithrigrwydd darllen, sydd i raddau helaeth yn annibynnol oddi wrth alluoedd ffonolegol. Gyda hyn mewn golwg, mae adalw ffonolegol yn elfen hanfodol o'r broses enwi ond dylanwadir perfformiad ar y dasg EAC gan nifer fawr o brosesau ychwanegol, gan gynnwys rhoi sylw i'r eitem ysgrifenedig (llythyren); prosesau gweledol, bi-hemisfferig, sy'n gyfrifol am ganfod nodweddion gweladwy'r eitem; y modd y cyfateba'r nodweddion hyn â phatrymau amgodio orthograffeg y llythyren, wedi eu storio yn y cof; yna, integreiddio'r wybodaeth weledol i wybodaeth ffonolegol ac actifadu'r prosesau echddygol sy'n arwain at ynganu enw'r llythyren.

Gan y mesurir y dasg EAC fel arfer yn ôl cyfanswm yr amser a gymerir i enwi pob eitem mewn treial cyfan (50 o lythrennau), mae'n rhaid i'r prosesau hyn hefyd gael eu hactifadu a'u cydamseru'n gyflym ac yn gywir. Mae'r EAC felly'n dasg dwyllodrus o gymhleth, sy'n gofyn am adnabyddiaeth weledol gyflym a mynd ati i gyfateb y wybodaeth hon i'r eitemau orthograffig a ffonolegol a storiwyd yn y cof. Dadleuodd Wolf a Bowers (1999) mai'r gallu i brosesu elfennau gweledol a ffonolegol a'u cyfuno'n gyflym yw'r ffactor hollbwysig sy'n sail i berfformiad llwyddiannus yn y dasg EAC. Mewn tasg ddarllen arferol, er enghraifft, mae gweithredu'r prosesau hyn dro ar ôl tro wrth

ddysgu darllen yn arwain at y gallu i adnabod ac enwi'r llythyren yn gyflym a heb ymdrech. Cynigiwyd ganddynt felly bod cyflymder enwi arafach – sy'n nodweddu'r cyflwr dyslecsia – yn adlewyrchu nam cyflymder prosesu mewn un neu fwy o'r prosesau gwybyddol, sy'n arwain at nam yn y gallu i enwi'n awtomatig.

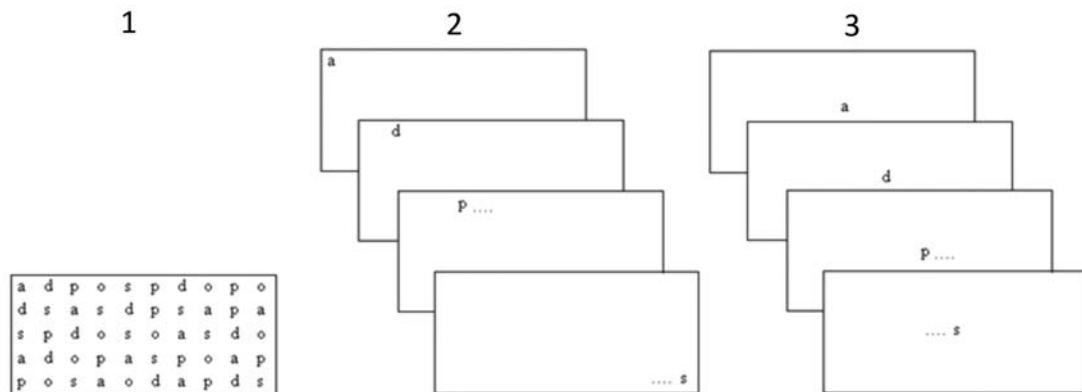
Mae'n bosibl bod nam ar y cyflymder prosesu wedi ei gyfyngu i un parth, fel y system adnabod drwy weld, sy'n gyson â thystiolaeth o nam prosesu gweledol mewn dyslecsia (e.e. Geiger, Lettvin, a Zegarra-Moran, 1992). Mae'r anallu i brosesu'n weledol yn amharu ar y gallu i wahaniaethu rhwng ffurfiau gweledol llythrennau, sydd â'i oblygiadau o ran adnabod clystyrau cyffredin o lythrennau wrth ddarllen geiriau. Arweinia hefyd at anhawster wrth rwymo'r nodwedd weledol wrth wybodaeth o feysydd eraill, megis ffonoleg (Stein a Walsh, 1997). Fel arall, mae'n bosib bod prosesau gweledol yn gyflawn, ond bod mecanweithiau amseru sy'n gyfrifol am gydamseru gwybodaeth o wahanol barthau – fel prosesau gweledol a ffonolegol – wedi eu hamharu (Breznitz, 2003; Wolf a Bowers, 1999). E.e., ceir tystiolaeth i awgrymu bod gan ddarllenwyr dyslecsig ddiffyg o ran cyflymder yn y prosesau canfyddiadol a gwybyddol, yn benodol actifadu gwybodaeth yn anghydamseredig (*asynchronous*) yn y parthau gweledol (e.e. ffurf y llythyren) a ffonolegol (Breznitz a Misra, 2003; Meyler a Breznitz, 2005; gweler hefyd Breznitz, 2006). Mae hyd yn oed oedolion dyslecsig (a dderbyniodd addysg prifysgol) yn dangos tystiolaeth o wallau prosesu rhwng gwybodaeth orthograffig a ffonolegol (Jones, Branigan, Parra et al., 2013).

Er gwaethaf gallu'r dasg EAC i ddatrys dirgelion rhuglder, ni cheir unrhyw gonsensws mewn llenyddiaeth sy'n ymdrin â'r maes ynglŷn â pha brosesau gwybyddol cysylltiedig sy'n adnabod y diffygion rhuglder a welir mewn dyslecsia. Pan ddechreuais astudio gradd ôl-raddedig ym Mhrifysgol Caeredin yn 2004, euthum ati i geisio mynd i'r afael â'r bwch hwn yn y llenyddiaeth. Penderfynais fod angen symud y tu hwnt i'r berthynas rhwng perfformiad wrth gwblhau'r dasg EAC a'r gallu wrth ddarllen, a mynd ati yn hytrach i brofi pob proses wybyddol sy'n gysylltiedig â'r dasg. Rwyf wedi mabwysiadu'r dull arbrofol er mwyn ynysu ymhellach y gwahanol brosesau sy'n ymwneud â rhuglder rhag ei gilydd a rhoi sylw manwl i'r ffactorau sy'n cyfrannu'n bennaf at y sgil hwn. Mewn arbrawf nodweddiadol, byddaf yn cymharu grŵp o oedolion<sup>4</sup> sy'n darllen yn 'normal' â grŵp dyslecsig (a gafodd ddiagnosis ymlaen llaw ar sail sgorau darllen) wrth iddynt gyflawni fersiynau arbrofol o'r dasg EAC a ddyluniwyd er mwyn mesur galluoedd gweledol, ffonolegol, a'r gallu i dalu sylw i'r hyn y ceisiant ei brosesu.

Un o'n hymdrechion cyntaf oedd addasu'r EAC er mwyn cyflwyno'r llythrennau mewn gwahanol gyflyrau: 1) cyflwyno pob llythyren gyda'i gilydd ar ffurf grid (cyflwyniad EAC nodweddiadol), 2) cyflwyno llythrennau'n unigol mewn lleoliadau sgrin cyfatebol i'r cyflwyniad grid, a 3) cyflwyno llythrennau'n unigol yng nghanol y sgrin (gweler Ffigwr 4).

Darganfŵm rywbeth addysgiadol iawn: fersiwn (1), sef cyflwyno'r holl llythrennau ar unwaith yn y fformat grid, oedd yn gwahaniaethu orau rhwng y darllenwyr medrus a'r rhai dyslecsig. Yn benodol, roedd darllenwyr medrus yn gyflymach yn enwi llythrennau

<sup>4</sup> Rwy'n cynnal arbrofion gydag oedolion i ddechrau oherwydd mai rhuglder da yw prif nodwedd oedolion ifanc a gyrhaeddodd eithaf eu gallu yn y maes hwn.



**Ffigwr 4: Cyflyrau 1, 2 a 3 yn yr arbrawf.**

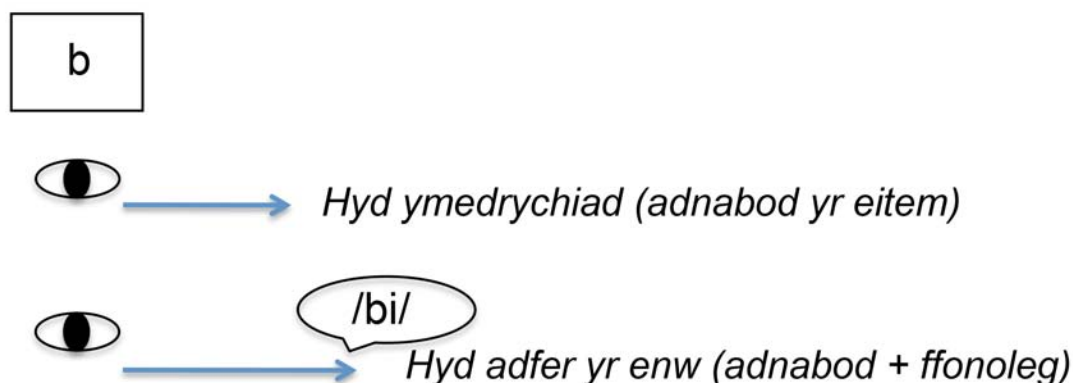
pan y'u cyflwynwyd i gyd ar unwaith (o gymharu â'u cyflwyno'n unigol), ond roedd darllenwyr dyslecsig yn arafach yn enwi llythrennau dan yr un amodau. Gwelir bod darllenwyr medrus – pan gyflwynir iddynt yr holl lythrennau ar yr un pryd – yn prosesu'r llythyren nesaf o flaen llaw ac yn defnyddio hynny er mwyn cyflymu eu perfformiad. Fodd bynnag, caiff darllenwyr dyslecsig eu drysu gan y wybodaeth honno ac o ganlyniad, arafir eu perfformiad wrth enwi'r llythrennau (Jones, Kelly, a Branigan, 2009). Mae'r pellter rhwng y llythrennau hefyd yn hynod bwysig. Caiff darllenwyr dyslecsig eu drysu'n fwy pan osodir mwy nag un llythyren wrth ymyl ei gilydd, os yw'r llythrennau'n agos at ei gilydd (Moll a Jones, 2013). Awgryma hyn fod y gystadleuaeth rhwng llythrennau am sylw'r darlennydd, a'r dryswch sy'n deillio o hynny, yn waeth pan gyflwynir y wybodaeth gystadleuol ym mhreif ffocws y system olwg (ac felly brif ffocws y system sylw).

Defnyddiodd fy nghyd-weithwyr a minnau hefyd dulliau niwrowyddonol, fel y dull tracio llygaid, er mwyn dangos bod y math o wybodaeth – boed yn weledol (orthograffig) neu'n seinyddol (ffonolegol) – a geir mewn eitemau ysgrifol (sef llythrennau yn yr arbrofion hyn) yn dylanwadu ar gyfraddau rhuglder. Mae'r dull tracio llygaid yn dangos am ba hyd y mae'r llygad yn prosesu eitem, a dangosir pa mor anodd yw'r eitem i'w brosesu yn ôl cyfnod yr amser y mae'r llygad yn aros ar yr eitem honno. Gellir defnyddio'r dull tracio llygaid hefyd i fesur yr union amser a gymerir i enwi llythyren; trwy fesur yr amser o'r adeg pan lania'r llygad ar yr eitem hyd at y pwynt lle mae'r darlennydd yn dechrau datgan enw'r eitem honno, mae'n bosibl canfod faint o amser a gymerwyd i lunio ymateb ar lafar (gweler Ffigwr 5).

Yn ein hastudiaethau, cyflwynwyd cyfres o lythrennau un ar ôl y llall, a oedd yn debyg i'w gilydd ac yn ddryslyd o ganlyniad (e.e. mae *p* a *q* yn weledol debyg ac mae *k* a *q* i'w clywed yn debyg pan y'u hyngenir yn y Saesneg). Darganfu'r ymchwil fod gwahaniaethau diddorol rhwng y grwpiau dyslecsig a medrus. Effeithiai'r llythrennau tebyg ar y grŵp medrus, heb ddyslecsia, am eu bod yn edrych arnynt am amser hirach na'r arfer. Er hynny, erbyn iddynt ddod i enwi'r llythrennau ychydig o fili-eiliadau'n ddiweddarach, gwnaed hynny gyda'r un hwylustod â phe na bai'r llythrennau'n peri dryswch. Roedd y grŵp dyslecsig yn llawer arafach yn gyffredinol wrth gwblhau'r dasg, a gwelwyd eu bod yn llawer arafach yn edrych ar y llythrennau dryslyd, ac yn arafach fyth yn ynganu enw'r llythyren. Awgryma hyn fod darllenwyr rhugl yn sensitif i nodweddion

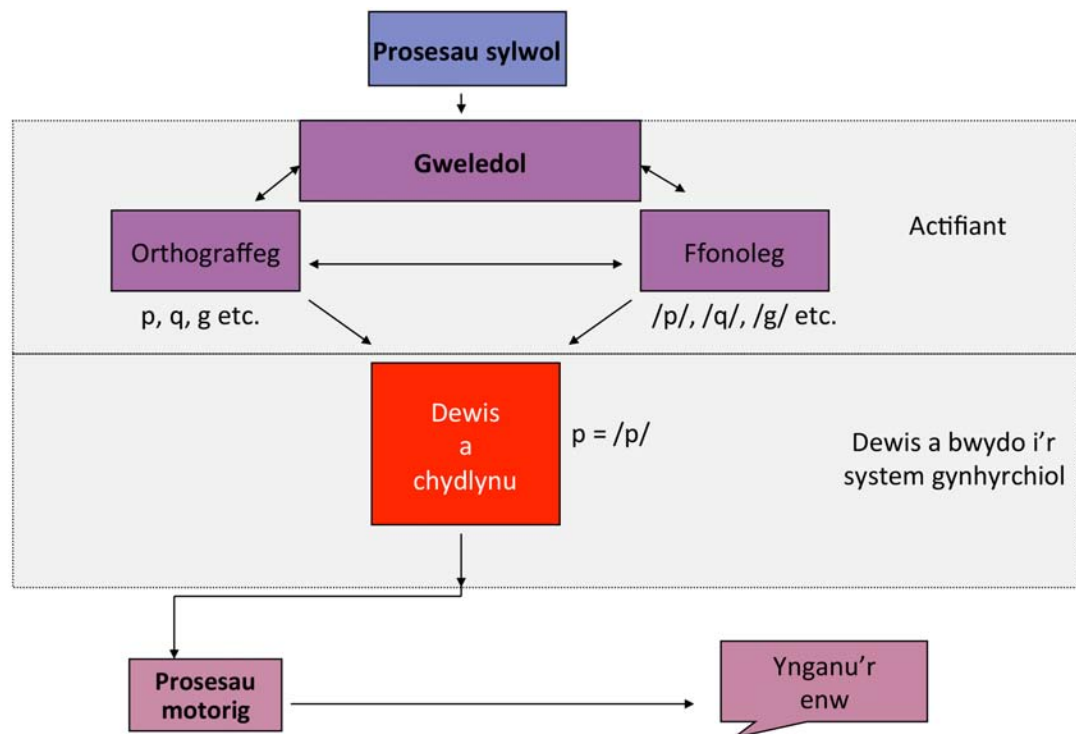


gweledol a seinyddol, sy'n adlewyrchu'r ffaith fod yn rhaid i bob llythyren gael ei gwahaniaethu'n gyflym oddi wrth rai eraill, tebyg iddynt. Yn bwysicach fyth, serch hynny, nid yw'r llythrennau dryslyd yn amharu ar allu'r darllenwyr medrus i'w *henwi'n* rhugl (h.y. yr amser a gymerir i ddechrau ynganu enw'r llythyren). Yn achos y darllenwyr dyslecsig, fodd bynnag, mae'r llythrennau dryslyd yn amharu ar eu gallu i enwi'r llythrennau'n gyflym (Jones, Obregon, Kelly et al., 2008; Jones, Branigan, Hatzidaki et al., 2010; Jones, Ashby a Branigan, 2012; Jones, Snowling a Moll, erthygl a gyflwynwyd i'w harfarnu ar gyfer cyfnodolyn). Cadarnheir y canfyddiadau hyn gan waith ymchwil diweddar yn yr iaith Tsieineaidd, sy'n awgrymu bod nodweddion a phroblemau darllenwyr rhugl a dyslecsig yn debyg mewn sawl iaith er y defnyddir sgrïptiau gwahanol iawn (Yan, Pan, Laubrock et al., 2013).



**Ffigwr 5: Y dull tracio llygaid – mae'r amser yr edrychir ar bob eitem yn mesur pa mor anodd ydyw i'w brosesu.**

I grynhoi, mae gennym ni – ynghyd â labordai eraill – yn awr gasgliad o astudiaethau sy'n taflu goleuni ar y prosesau gwybyddol sy'n sail i ddarllen yn rhugl, ynghyd â'r prosesau annormal sy'n cyfrannu at ddyslecsia. Gall darllenwyr medrus drosi'r symbol gweledol i un ffonolegol yn gyflym, yn effeithlon ac yn awtomatig, gan wahaniaethu'r codau cywir oddi wrth rai eraill, tebyg, a all gystadlu â'r ateb cywir. Yn ogystal, defnyddir gwybodaeth am yr eitemau (llythrennau neu eiriau) a ddaw nesaf, a byddant yn eu prosesu ar yr un adeg â'r eitem y canolbwyntir arni ar y pryd. Nid yw hyn, fodd bynnag, yn eu drysu nac yn amharu ar eu gallu i enwi'r eitemau'n rhugl. I'r gwrthwyneb, mae'n eu galluogi i enwi neu ddarllen yn gyflymach. Ar y llaw arall, mae gan ddarllenwyr â dyslecsia fwy nag un broblem i'w goresgyn; wrth actifadu cynrychiadau gweledol a ffonolegol o'r cof, prin y cânt fynediad at yr eitem gywir heb gystadleuaeth sylweddol o du eitemau tebyg eraill, sy'n eu harafu. Mae prosesu'r eitemau a ddaw nesaf yn y cyflwyniad o flaen llaw yn gwaethygu'r broblem hon, gan yr actifadir mwy o gynrychiadau o'r cof, ac o ganlyniad ceir mwy o gystadleuaeth rhyngddynt a dryswch. 'Rydym o'r farn mai anhawster yng ngallu'r cof i atal gwybodaeth yw hyn, sy'n peri i bobl ddyslecsig orfod oedi cyn dewis y cynhyrchiad cywir o'r cof. Gwelir yr esboniad hwn yn Ffigwr 6. Mae'n ddiddorol nodi bod sawl arbrawf, nad oeddent yn canolbwyntio ar ruglder yn uniongyrchol, yn dangos bod anallu'r cof i atal gwybodaeth yn nodwedd o ddyslecsia (e.e., Facoetti, Lorusso, Paganoni et al., 2003). Mae ein hymchwil a'n canfyddiadau felly'n cyd-fynd yn dda â syniadau cyfredol ynghylch yr elfennau sy'n achosi dyslecsia.



**Ffigwr 6: Gwahanol brosesau yn y dasg EAC. Dengys y canfyddiadau diweddaraf fod nodweddion dyslecsia yn deillio o anhawster wrth ddewis a chydlynu'r cynhyrchion cywir.**

Os dychwelwn at y rhwydweithiau niwral a ddisgrifir yn Ffigwr 2, gofynnir; beth yw goblygiadau posibl ein canfyddiadau? Prif nodwedd darllen yn rhugl yw actifedd a chreu cyfatebiaeth rhwng y cynrychiadau orthograffig a'r côd ffonolegol cywir, ynghyd ag atal y cynrychiadau anghywir yn effeithlon. Mae'n debyg y cyflawnir hyn yn yr ymennydd gan adborth nerfol gan labedau blaen yr ymennydd, sy'n defnyddio'r system sylw i weithredu'r broses ddethol (Poch, Campo, Paramentier et al., 2010; Jones, Branigan, Parra et al., 2013). Mae'r broses hon yn un gronnol, wrth gwrs. Bydd cywirdeb ac ymarfer dros gyfnod o amser yn arwain at y cysylltiadau rhwng y cynrychiadau gorau posibl. Gyda dyslecsia, awgrymwn na ddefnyddir y system sylw mewn ffordd effeithlon, sy'n golygu na cheir digon o reolaeth dros y cynrychiadau anghywir, dryslyd, a actifadir yn ystod y broses enwi neu ddarllen.

A ellir gwneud sylwadau am y prognosis i drin y nam rhuglder? Mae ymchwil hyd yma yn awgrymu y gall diffyg rhuglder wrthsefyll strategaethau i'w oresgyn, yn wahanol i nodweddion eraill dyslecsia. Mae diffyg rhuglder yn parhau i fod yn nodwedd gyson o ddyslecsia yn achos oedolion, hyd yn oed yn achos pobl dra deallus, tra goresgynnwyd anawsterau wrth ddatgodio geiriau'n gywir (gweler Jones, Obregon, Kelly et al., 2008; Shaywitz a Shaywitz, 2008). Serch hynny, gwelir datblygiad mewn rhaglenni dysgu i blant sydd mewn perygl o ddatblygu dyslecsia, ac fe'u cynllunnir er mwyn delio â phroblem rhuglder. Fel y gwelwyd, mae rhuglder yn golygu mynediad cyflym at nifer o gynrychioliadau o wahanol barthau, yn cynnwys rhai gweledol a ffonolegol, a chydlyniad effeithlon rhyngddynt. Felly, mae rhaglenni cyfredol i wella

rhuglder yn cynnwys ymarferion dwys o ran adnabod llythrennau, patrymau llythrennau, gwahaniaethu rhwng ffonemau, a chael mynediad cyflym a chywir at ystyr geiriau (Wolf, Miller, a Donnelly, 2000). Mae tystiolaeth ddiweddar yn awgrymu y gall hyn gael effaith buddiol yn y tymor hir ar allu plant i ddarllen (Wolf, Barzilai, a Gottwald, 2009).

### **Crynodeb a chasgliadau**

Os ydym fel dynoliaeth yn gwahaniaethu ein hunain oddi wrth y rhywogaethau eraill ar sail ein gallu i ddefnyddio ieithoedd soffistigedig ac i gyfathrebu cysyniadau cymhleth, gellir dadlau bod y gallu i ddarllen a gadael ôl ysgrifenedig yn fwy pwerus fyth. Sut arall y gallwn ddeall meddyliau mewnol ysgolheigion ac athronwyr a oedd yn byw filoedd o flynyddoedd yn ôl, a sut arall y gallwn ledaenu gwybodaeth ar y cyflymder y lledaenir gwybodaeth mewn llyfrau, cylchgronau ac yn ddiweddar, wrth gwrs, ar y we. Mae deall seiliau seicoleg rhuglder darllen felly'n bwynt damcaniaethol diddorol, ond mae gan y ddealltwriaeth honno hefyd bwrpas ymarferol o geisio datrys pam fod 10-15% o bobl yn ddyslecsig, ac na fydd ganddynt fyth, felly, y gallu i ddarllen yn rhugl. Er mwyn ymchwilio i'r materion hyn, rhaid symleiddio'r dasg o ddarllen a chreu tasgau sy'n ynysu'r gwahanol brosesau sy'n rhan o'r broses. Mae darllen yn rhugl yn ganlyniad i chydweithio a chytgord rhwng gwybodaeth nerfol o sawl ffynhonnell (adran) wahanol yn yr ymennydd. Yn sicr, 'rydym wedi datblygu ein dealltwriaeth yn helaeth o brosesau seicolegol darllen yn rhugl. Mae'n allweddol felly yr ymestynnir y gwaith a gyflawnwyd yn yr erthygl hon i weld a geir canlyniadau tebyg mewn poblogaethau dyslecsig gwahanol. A yw'n debygol y darganfyddir gwallau gweledol a ffonolegol mewn plant yn ogystal ag oedolion? A geir ystod o wahanol namau mewn pobl dyslecsig, lle bo nam ffonolegol yn gryfach mewn rhai dioddefwyr a diffygion gweledol yn gryfach mewn dioddefwyr eraill?

Wrth edrych i'r dyfodol, bydd datblygiadau technolegol cyffrous yn ein galluogi i weld yn union pa rannau o'r ymennydd sy'n ymdrin â gwybodaeth ysgrifenedig ac amseriad y gwahanol brosesau dan sylw.

## Llyfryddiaeth

- Bowers, P. G. (1993), 'Text reading and rereading: Determinants of fluency beyond word recognition', *Journal of Reading Behavior*, 25, 133-53.
- Bowers, P. G., a Swanson, L. B. (1991), 'Naming speed deficits in reading disability: Multiple measures of a singular process', *Journal of Experimental Child Psychology*, 51, 195-219.
- Bradley, L., a Bryant, P. E. (1983), 'Categorizing sounds and learning to read: A causal connection', *Nature*, 301, 419-21.
- Breznitz, Z. (2002), 'Asynchrony of visual-orthographic and auditory-phonological word recognition processes: An underlying factor in dyslexia', *Reading and Writing*, 15 (1-2), 15-42.
- Breznitz, Z. (2003), 'Speed of phonological and orthographic processing as factors in dyslexia: Electrophysiological evidence', *Genetic, Social, and General Psychology Monographs*, 129 (2), 183-206.
- Breznitz, Z., a Misra, M. (2003), 'Speed of processing of the visual-orthographic and auditory-phonological systems in adult dyslexics: The contribution of "asynchrony" to word recognition deficits', *Brain and Language*, 85 (3), 486-502.
- Bruck, M. (1994), 'Outcomes of adults with childhood histories of dyslexia', yn Hulme, C., Joshi, R. M. (goln), *Cognitive and Linguistic Bases of Reading, Writing, and Spelling* (Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates), tt. 179-200.
- Clarke, P., Hulme, C., a Snowling, M. (2005), 'Individual differences in RAN and reading: A response timing analysis', *Journal of Research in Reading*, 28 (2), 73-86.
- Denckla, M. B., a Rudel, R. G. (1976), 'Rapid 'automatized' naming (RAN): Dyslexia differentiated from other learning disabilities', *Neuropsychologia*, 14, 471-9.
- Ehri, L. C. (1995), 'Phases of development in learning to read words by sight', *Journal of Research in Reading*, 18, 116-25.
- Facoetti, A., Luisa Lorusso, M., Paganoni, P., et al. (2003), 'The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: evidence from a rehabilitation study', *Cognitive Brain Research*, 15, 154-64.
- Geiger, G., Lettvin, J. Y., a Zagarra-Moran, O. (1992), 'Task-determined strategies of visual process', *Cognitive Brain Research*, 1 (1), 39-52.
- Ho, C. S., Chan, D. W., Tsang, S., et al. (2002), 'The cognitive profile and multiple-deficit hypothesis in Chinese developmental dyslexia', *Developmental Psychology*, 38, 543-53.
- Jones, M. W., Branigan, H. P., a Kelly, M. L. (2009), 'Dyslexic and nondyslexic reading fluency: Rapid automatized naming and the importance of continuous lists', *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 567-72.
- Jones, M. W., Obregón, M., Louise Kelly, M., et al. (2008), 'Elucidating the component processes involved in dyslexic and non-dyslexic reading fluency: An eye-tracking study', *Cognition*, 109, 389-407.
- Jones, M. W., Branigan, H. P., Hatzidaki, A., et al. (2010), 'Is the 'naming' deficit in dyslexia a misnomer?', *Cognition*, 116, 56-70.

- Jones, M. W., Ashby, J., a Branigan, H. P. (2013), 'Dyslexia and fluency: Parafoveal and foveal influences on rapid automatized naming', *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39, 554-7.
- Jones, M. W., Branigan, H. P., Parra, M. A., et al. (2013), 'Cross-Modal Binding in Developmental Dyslexia', *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 39, 1807-22.
- Jones, M. W., Snowling, M. J., a Moll, K., 'What automaticity deficit? Dyslexic readers' activation of lexical codes in a rapid naming task', *erthygl a gyflwynwyd i'w harfarnu ar gyfer cyfnodolyn*.
- Kirby, J. R., Georgiou, G. K., Martinussen, R., et al. (2010), 'Naming speed and reading: From prediction to instruction', *Reading Research Quarterly*, 45, 341-62.
- LaBerge, D., a Samuels, J. (1976), 'Toward a Theory of Automatic Information Processing in Reading', *Cognitive Psychology*, 6, 293-323.
- Lefly, D. L., a Pennington, B. F. (1991), 'Spelling errors and reading fluency in compensated adult dyslexics', *Annals of Dyslexia*, 41, 141-62.
- Lervåg, A., a Hulme, C. (2009), 'Rapid automatized naming (RAN) taps a mechanism that places constraints on the development of early reading fluency', *Psychological Science*, 20, 1040-8.
- Manis, F., Doi, L. M., a Badha, B. (2000), 'Naming speed, phonological awareness, and orthographic knowledge in second graders', *Journal of Learning Disabilities*, 33, 325-33.
- Meyler, A., a Breznitz, Z. (2005), 'Visual, auditory and cross-modal processing of linguistic and nonlinguistic temporal patterns among adult dyslexic readers', *Dyslexia*, 11 (2), 93-115.
- Moll, K., a Jones, M. W. (2013), 'Naming fluency in dyslexic and non-dyslexic readers: Differential effects of visual crowding in foveal, parafoveal and peripheral vision', *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66, 2085-91.
- Pan, J., Yan, M., Laubrock, J., et al. (2013), 'Eye-voice span during rapid automatized naming of digits and dice in Chinese normal and dyslexic children', *Developmental Science*, 115, 579-89.
- Pennington, B. F., a Lefly, D. L. (2001), 'Early reading development in children at family risk for dyslexia', *Child Development*, 72, 816-33.
- Perfetti, C. (2007), 'Reading ability: Lexical quality to comprehension', *Scientific Studies of Reading*, 11, 357-83.
- Poch, C., Campo, P., Paramentier, F. B. R., et al. (2011), 'Explicit processing of verbal and spatial features during letter-location binding modulates oscillatory activity of a fronto-parietal network', *Neuropsychologia*, 48, 3846-54.
- Powell, D., Stainthorp, R., Stuart, M., et al. (2007), 'An experimental comparison between rival theories of rapid automatized naming performance and its relationship to reading', *Journal of Experimental Child Psychology*, 98, 46-68.
- Rutter, M., a Yule, W. (1975), 'The concept of specific reading retardation', *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 16, 181-97.

- Savage, R., Pillay, V., a Melidona, S. (2007), 'Deconstructing rapid automatized naming: Component processes and the prediction of reading difficulties', *Learning and Individual Differences*, 17, 129-46.
- Scarborough, H. (1998), 'Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid naming, and IQ', *Annals of Dyslexia*, 48, 15-136.
- Shaywitz, S. E., a Shaywitz, B. A. (2008), 'Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia', *Development and psychopathology*, 20, 1329-49.
- Schatschneider, C., Fletcher, J. M, Francis, D. J., et al. (2004), 'Kindergarten prediction of reading skills: a longitudinal comparative analysis', *Journal of Educational Psychology*, 96, 265-82.
- Snowling, M. J. (2001), *Dyslexia* (2<sup>o</sup> argraffiad, Oxford: Blackwell).
- Snowling, M., a Hulme, C. (1994), 'The development of phonological skills', *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 346 (1315), 21-7.
- Spencer, L. H., a Hanley, J. R. (2003), 'Effects of orthographic transparency on reading and phoneme awareness in children learning to read in Wales', *British Journal of Psychology*, 94, 1-28.
- Stein, J., a Walsh, V. (1997), 'To see but not to read: The magnocellular theory of dyslexia', *Trends in Neurosciences*, 20 (4), 147-52.
- Thomas, E. M., a Lloyd, S. W. (2008), 'Developing language-appropriate task items for identifying literacy difficulties in Welsh-speaking children', *Dyslexia Review*, 20, 4-9.
- Vidyasagar, T. R., a Pammer, K. (2010), 'Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing', *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 57-63.
- Wagner, R. K., Torgesen, J. K., Laughon, P. L., et al. (1993), 'Development of young readers' phonological processing abilities', *Journal of Educational Psychology*, 85, 83-103.
- Wimmer, H., Mayringer, H., a Landerl, K. (1998), 'Poor reading: A deficit in skill-automatization or a phonological deficit?', *Scientific Studies of Reading*, 2, 321-40.
- Wolf, M., a Bowers, P. G. (1999), 'The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias', *Journal of Educational Psychology*, 91, 1-24.
- Wolf, M., Miller, L., a Donnelly, K. (2000), 'Retrieval, Automaticity, Vocabulary Elaboration, Orthography (RAVE-O): A Comprehensive, Fluency-Based Reading Intervention Program', *Journal of Learning Disabilities*, 33 (4), 375-86.
- Wolf, M., Barzillai, M., Gottwald, S., et al. (2009), 'The RAVE-O Intervention: Connecting Neuroscience to the Classroom', *Mind, Brain, and Education*, 3 (2), 84-93.
- Young, A., a Bowers, P. G. (1995), 'Individual Differences and Text Difficulty Determinants of Reading Fluency and Expressiveness', *Experimental Child Psychology*, 60, 428-54.

**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

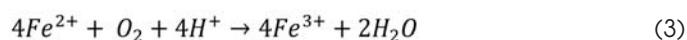
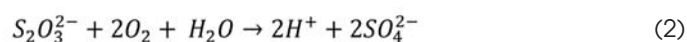
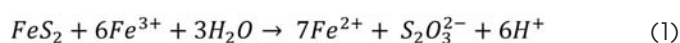
---

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

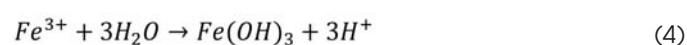
**Nia L. Blackwell, William. T. Perkins, ac Arwyn Edwards**

## 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 ( $\text{FeS}_2$ ) – 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 ( $\text{H}^+$ ) sy'n creu asidedd (Hafaliad 1), sylffad ( $\text{SO}_4^{2-}$ ; Hafaliad 2), a haearn (Fe) fel un ai  $\text{Fe}^{2+}$  neu  $\text{Fe}^{3+}$  (Hafaliadau 1 a 3). Gall microbau sy'n adennill egni drwy ocsideiddio  $\text{Fe}^{2+}$  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  $\text{Fe}^{2+}$  i  $\text{Fe}^{3+}$  hyd at bum gwaith trefn maint (*five orders of magnitude*) (Singer a Stumm, 1970; Nordstrom ac Alpers, 1999).



Unwaith i  $\text{Fe}^{3+}$  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 llygreddig, 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  $1 \text{ mg L}^{-1}$ .

### 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.

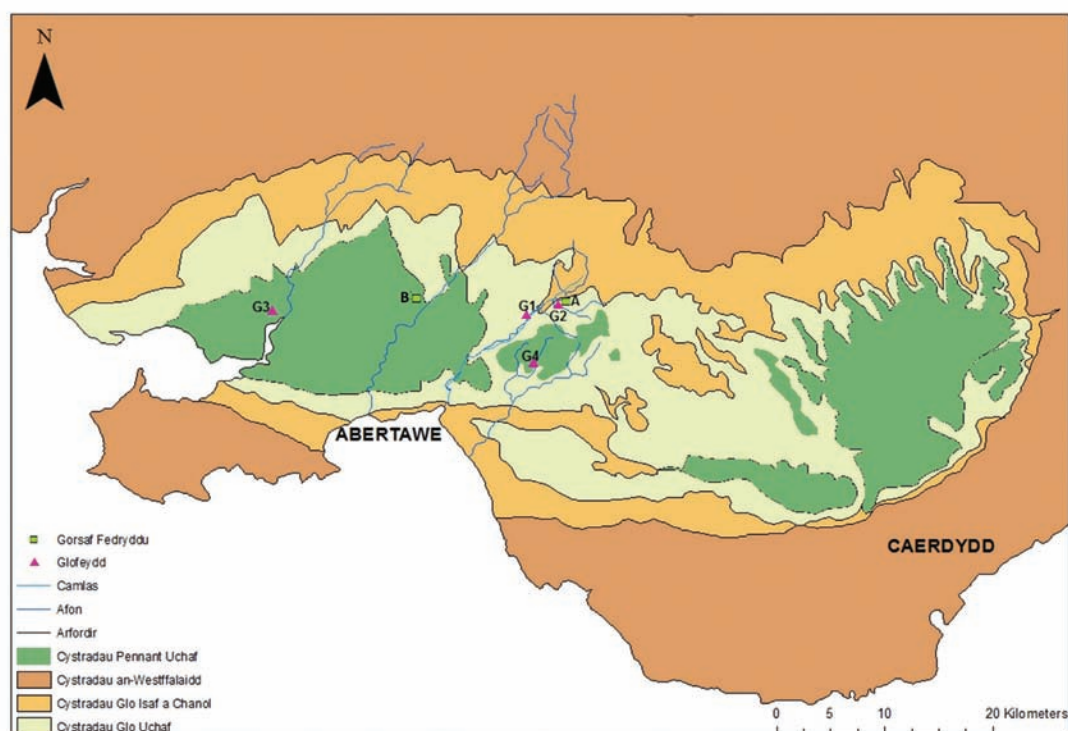
Ceir sawl gwahanol fath o systemau goddefol; e.e., draeniau calchfaen anocsig sy'n cynyddu pH y dŵr ac felly'n hybu ffurfiant mwynau Fe (Johnson a Hallberg, 2005), bio-adweithyddion compost er mwyn rhydwytho – felly lleihau crynodiad – sylffad (Banks et al., 1997; Batty a Younger, 2002), systemau cynhyrchu 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

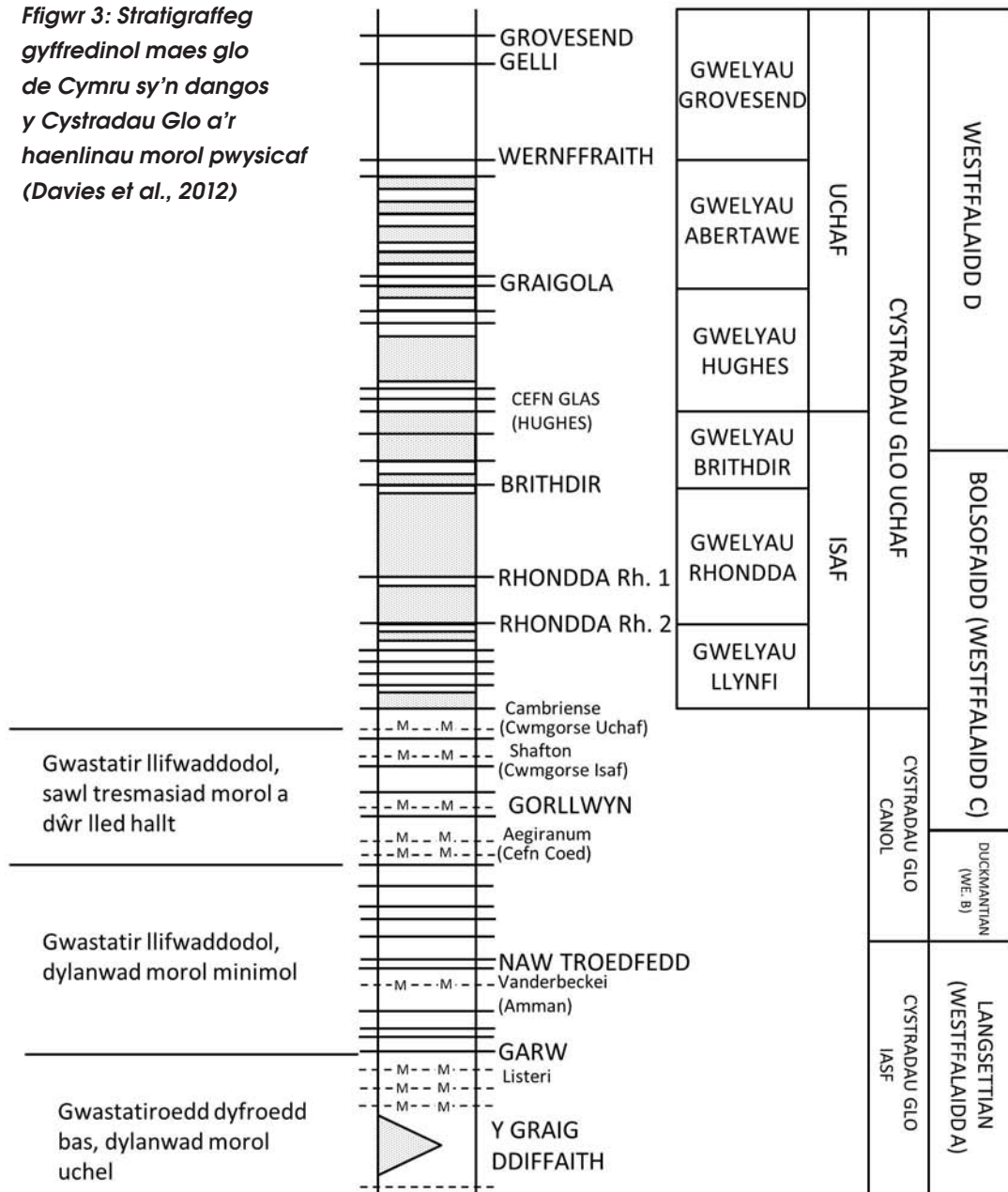
Maes glo de Cymru yw maes glo mwyaf di-dor y DU gydag arwynebedd o oddeutu 1600 km<sup>2</sup>. Mae'n cynnwys gwelyau estynedig glo carbonifferaidd sy'n ymestyn am ~80 km o'r dwyrain i'r gorllewin a 25 km o'r gogledd i'r de (Bearcock et al., 2006; Ffigwr 2). Dyddodwyd y Cystradau Glo (isaf, canol ac uchaf) yn ystod yr is-gyfnod Westffalaidd ac mae daeareg yr ardal yn cynnwys haenau ffawtiedig 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<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>, yn alcaliaidd (pH ~6) ac er mor agos yw'r safle i'r foryd, nid ystyrir bod y dŵr yn halwynog.

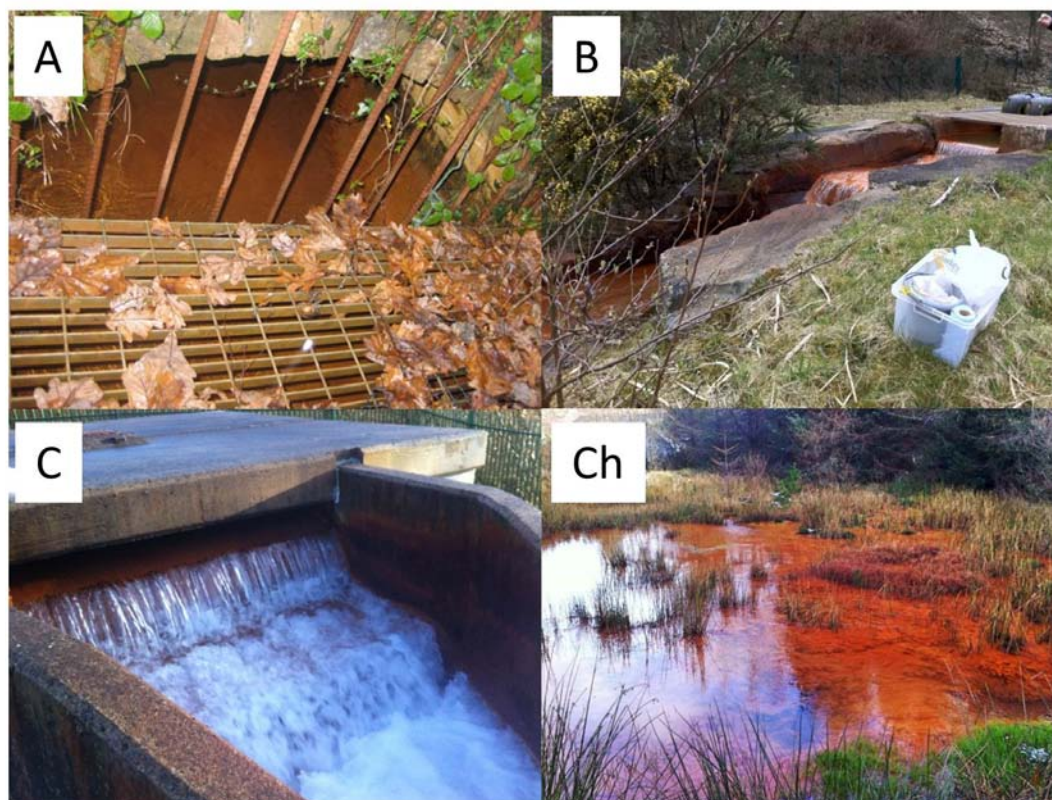
Adeiladwyd system trin dŵr goddefol Garth Tonmawr (SS 816 972; G4) fel rhan o'r prosiect glanhau Dŵr Mwyngloddio Afon Pelenna ym 1994. Ar ôl i'r lofa gau yn ystod y 1960au bu achosion llygredd yn yr afon gyfagos, a ffurfiwyd dyddodion Fe oren llachar (Bearcock, 2007). Yn wahanol i'r safleoedd eraill 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 cm<sup>1</sup>). 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<sup>2+</sup> ac Fe<sup>3+</sup>). 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<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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<sup>-1</sup>) er mwyn mesur crynodiad bicarbonad yn y dŵr (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

## 2.4 Data ychwanegol

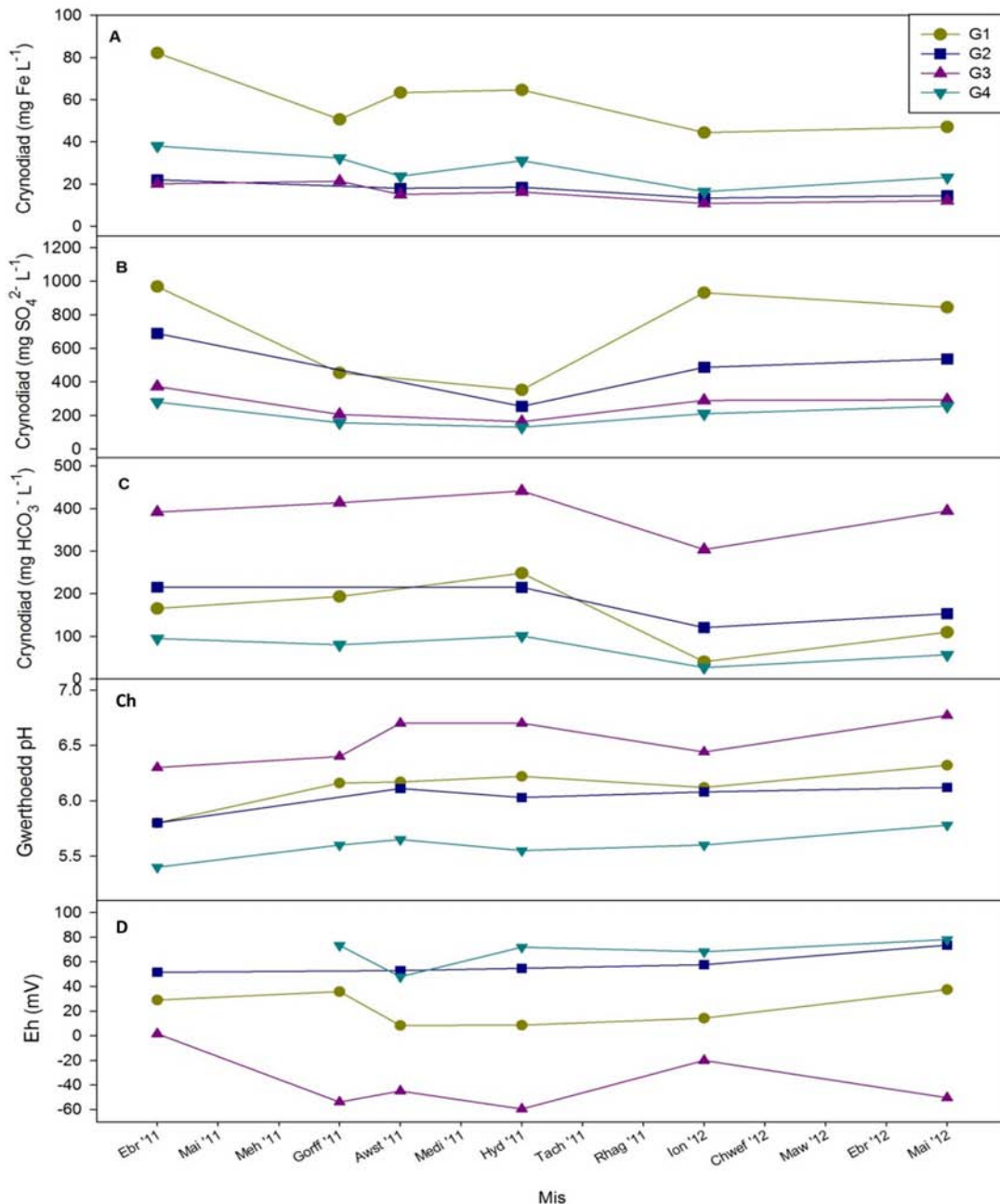
Er mwyn deall data cemegol y samplau dŵr a sut mae newidiadau tymhorol yn effeithio ar grynodiadau elfennau (Fe yn bennaf), pH ac Eh, casglwyd data ar gyfer glawiad yn yr ardal. Cysylltwyd â'r 'National River Flow Archive' (NRFA, dim dyddiad) er mwyn cael gafael ar ddata cyfartaledd glawiad misol (mm) 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<sup>-1</sup>; Ffigwr 5A), ond erbyn Mai 2012 gostyngodd y crynodiad i 48 mg L<sup>-1</sup>, 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<sup>-1</sup>; 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<sup>-1</sup>. 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<sup>-1</sup>, yn ôl eu trefn).

Gwelwyd amrywiad tymhorol yng nghrynodiad SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yn G1 hefyd, ond, yn wahanol i Fe, lleihaodd y crynodiad yn ystod Hydref 2011 (352 mg L<sup>-1</sup>; Ffigwr 5B) cyn cynyddu erbyn Ionawr 2012 (844 mg L<sup>-1</sup>). Roedd newidiadau tymhorol yn effeithio'n fwy ar grynodiad SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yn G1 a G2 nag yn G3 a G4; e.e., roedd y crynodiad yn amrywio rhwng 352 a 986 mg L<sup>-1</sup> yn G1, a rhwng 130 a 280 mg L<sup>-1</sup> yn G4 (Ffigwr 5B). Mae'r berthynas rhwng Fe a SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> yn gymhleth (Ffigwr 6A), ac wrth ystyried yr holl samplau,



**Ffigwr 5: Newidiadau yng nghryodiadau (A) haearn (Fe), (B) sylffad (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) a (C) bicarbonad (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 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 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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

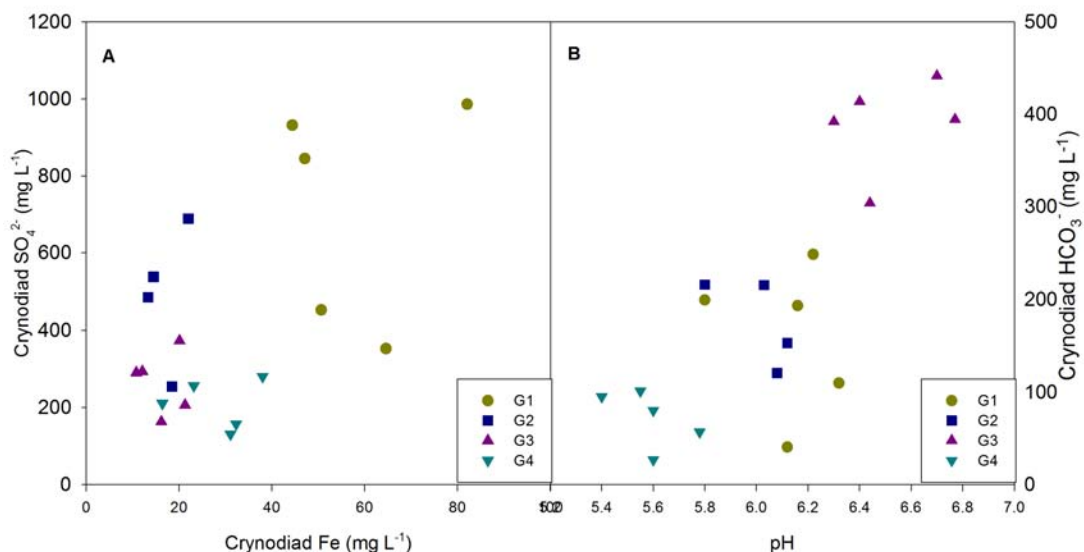


lonawr 2012 o 248 mg L<sup>-1</sup> i 40 mg L<sup>-1</sup>, yn ôl eu trefn. Roedd y crynodiadau yn safle G3 bron ddwywaith yn fwy na'r safleoedd eraill drwy gydol y flwyddyn (Ffigwr 5C). Mesurwyd y crynodiadau isaf HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> yn G4 yn ystod mis Ionawr 2012 (27 mg L<sup>-1</sup>).

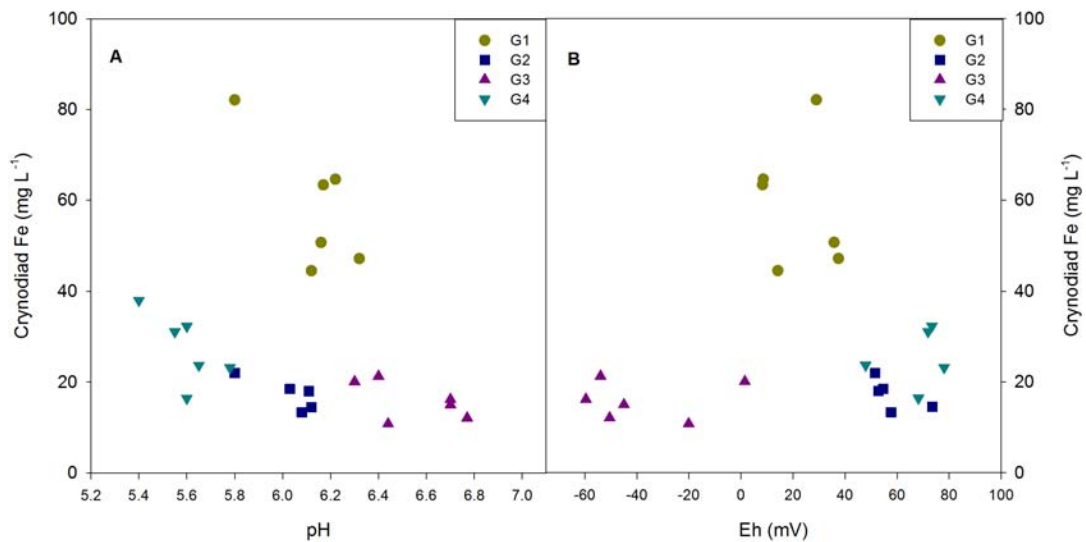
Mae'r newidiadau pH ac Eh yn dangos newid tymhorol dros y cyfnod samplu (Ffigwr 5CH a D). Yn gyffredinol, cynyddodd y pH rhwng Ebrill ac Awst 2011 cyn gostwng. Yna, cafwyd cynnydd unwaith eto yn ystod Mai 2012. Er enghraifft, cynyddodd y pH yn safle G3, y safle â'r pH mwyaf alcaliaidd, o 6.3 i 6.7 rhwng 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 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> yn un bositif gref ( $r_s = 0.76$ ;  $n = 19$ ) ac yn arwyddocaol ( $P < 0.005$ ). Felly, wrth i'r crynodiad HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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).

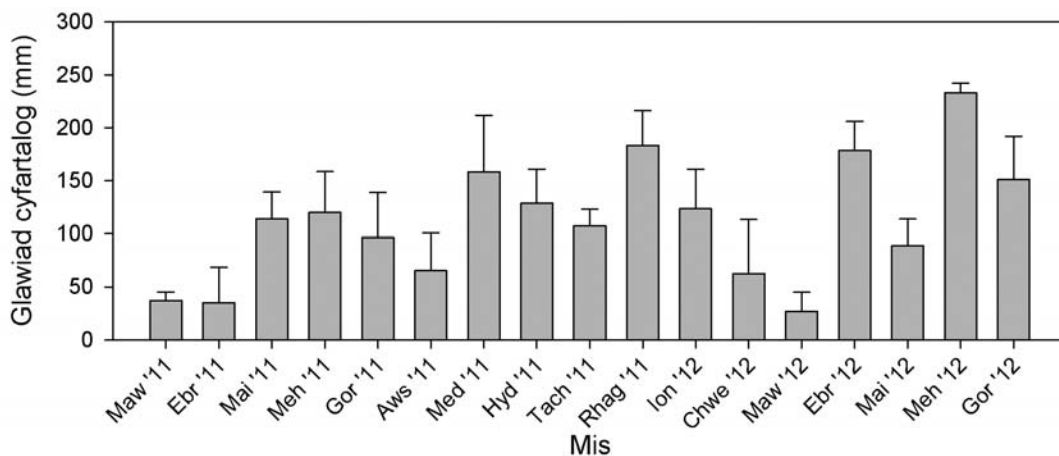
Wrth ystyried y safleoedd bob yn un, mae'r berthynas yn newid rhywfaint. Ceir cydberthynas bositif heb fod yn arwyddocaol ( $r_s = 0.2$ ;  $P > 0.05$ ) wrth gymharu



**Ffigwr 6:** Y gydberthynas rhwng (A) haearn (Fe) a sylffad (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), a rhwng (B) pH a'r crynodiad carbonad (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ym 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 = Glyncafell, 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  $\text{SO}_4^{2-}$  yn y dŵr yn nodweddiadol o ddaduniad *pyrit* ( $\text{FeS}_2$ ), 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  $\text{SO}_4^{2-}$  ar gyfartaledd mewn dŵr naturiol ledled y byd amrywio o  $<0.3$  i  $1400 \text{ mg L}^{-1}$ , 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  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $298 \text{ L e}^{-1}$ ) 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  $\text{HCO}_3^-$ , 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  $\text{HCO}_3^-$  ac mae'r crynodiadau a fesurwyd yng nglofeydd de Cymru yn fwy na chrynodiadau'r afonydd lleol sydd rhwng  $40$  a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  (Blackwell, data nas cyhoeddwyd).

Mae'r pH yn amrywio'n dymhorol yn y glofeydd; mae hyn yn gysylltiedig â'r newidiadau mewn crynodiad  $\text{HCO}_3^-$ , a all effeithio ar grynodiad elfennau niweidiol. Yn G1, e.e., mesurwyd y crynodiad mwyaf o Fe ( $82 \text{ mg L}^{-1}$ ) 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  $\text{Fe}^{2+}$  hefyd yn gostwng, sy'n golygu bod mwy o Fe hydawdd yn bresennol. Mae'r berthynas rhwng  $\text{HCO}_3^-$  a pH i'w gweld yng nglofa G4 sydd â'r crynodiad  $\text{HCO}_3^-$  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  $\text{SO}_4^{2-}$ . Mae daduniad *pyrit* yn achosi crynodiadau uchel o Fe hydawdd a  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{Fe}^{2+}$  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)

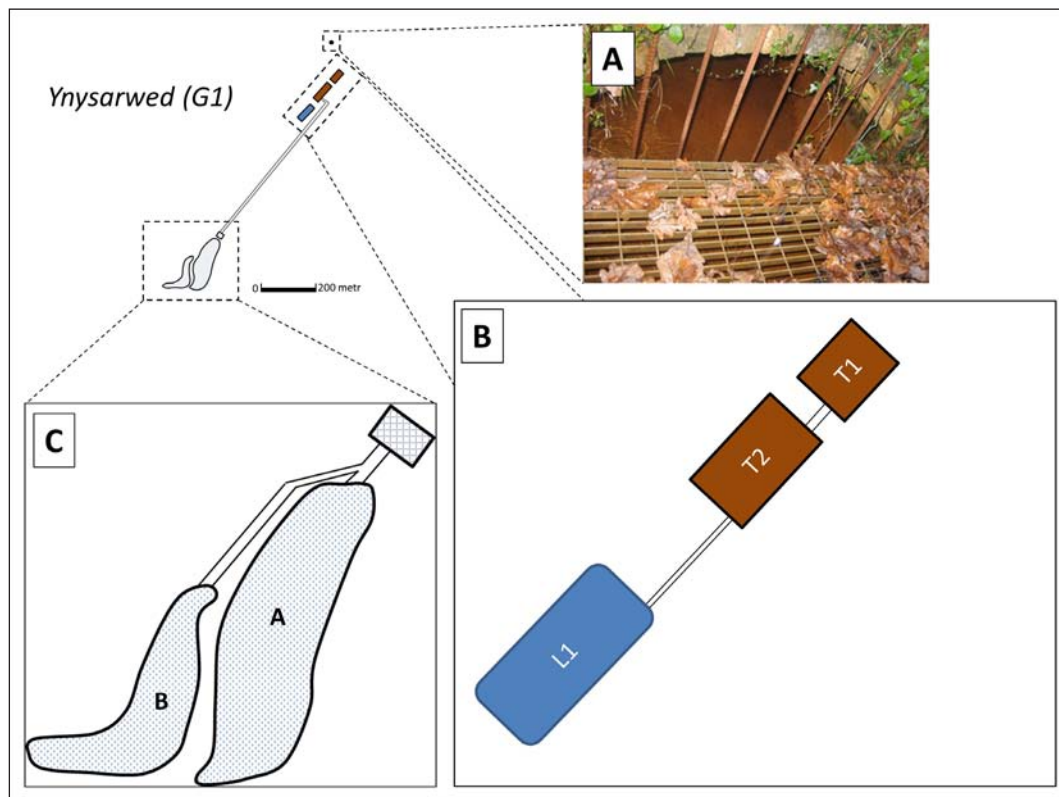
Yn dilyn y llif cyntaf ym 1993, adeiladwyd system trin dŵr actif wedi ei gyfuno â system trin dŵr goddefol er mwyn cwblhau cam glanhau terfynol wrth ymyl mynedfa'r lofa (Ffigwr 9). Caiff y dŵr ei bwmpio o'r fynedfa i danciau awyru lle ychwanegir defnydd

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  $400 \text{ mg L}^{-1}$  i oddeutu  $30 \text{ mg L}^{-1}$ , 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)

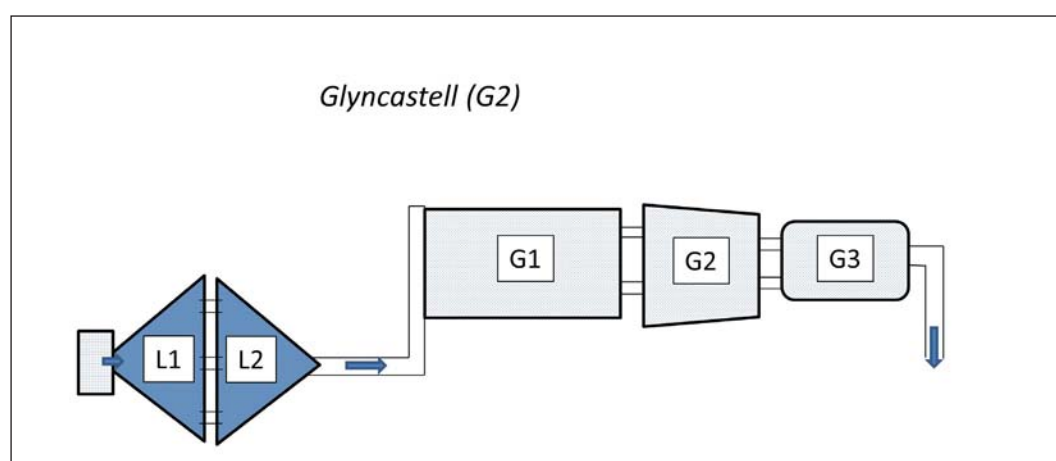
Yn 2002, adeiladwyd system trin dŵr goddefol yn cynnwys dau lagŵn a rhaeadr fach gychwynol, gyda'r prif ddiben o gynyddu crynodiad ocsigen yn y dŵr (Ffigwr 11). Oherwydd cyfaint cymharol fawr y dŵr sy'n draenio'r lofa, mae arwynebedd y system hon hefyd yn fawr – un o'r mwyaf ym maes glo de Cymru (30, 718 m<sup>2</sup>; Geroni et al., 2009).

### 4.4 Garth Tonmawr (G4)

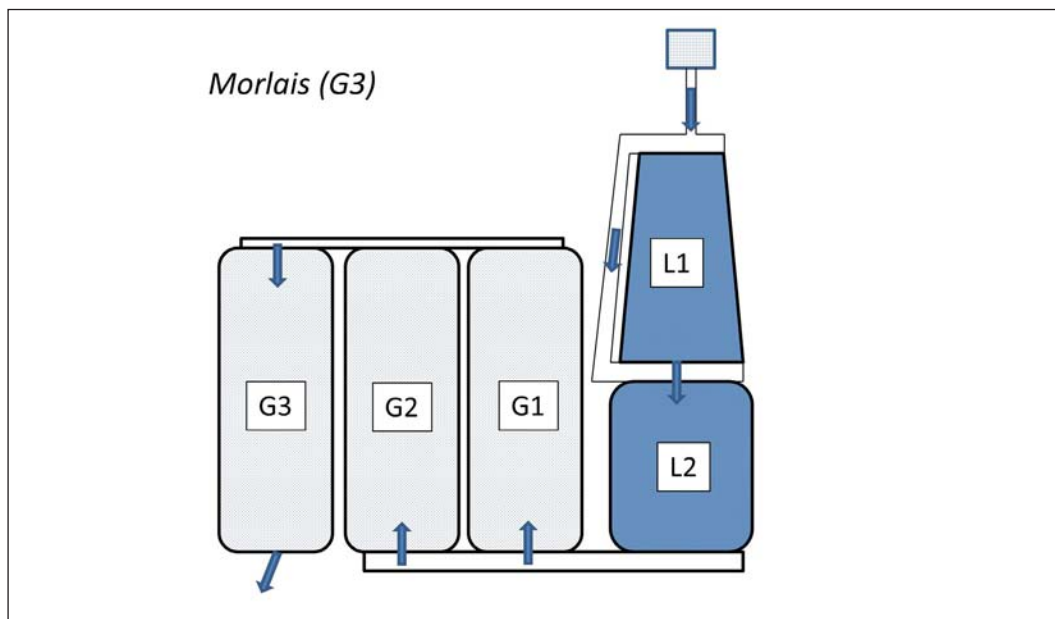
Ceir system trin dŵr goddefol fwy cymhleth yng Ngarth Tonmawr gyda chyfres o danciau i annog llif dan yr wyneb. Adeiladwyd pum tanc yn y safle (Ffigwr 12) a'r prif ddiben yn nhanciau 1, 3 a 5 – sy'n cynnwys lagynau aerobig – yw ocsigenu'r dŵr er mwyn annog dyddodiad mwynau Fe. Yn sgil crynodiad cymharol 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

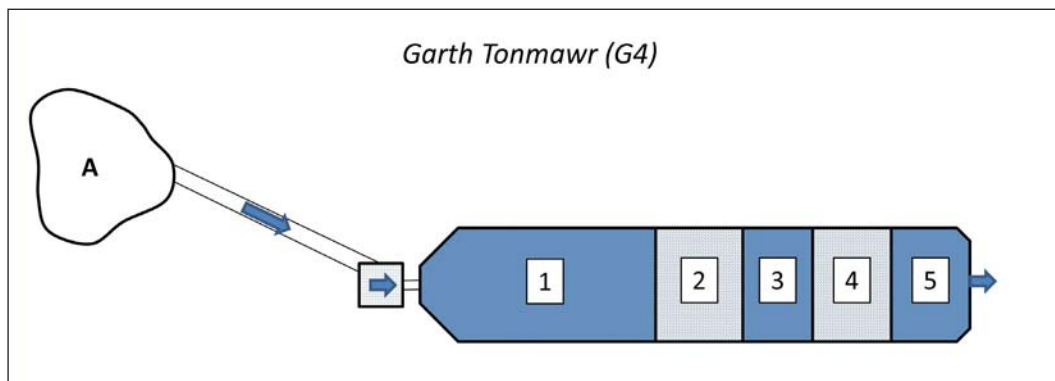
Trafodwyd effeithlonrwydd y systemau hyn mewn mwy o fanylder mewn astudiaethau eraill (Rees a Connelly, 2003; Wiseman ac Edwards, 2004; Geroni et al., 2009) ond ceir disgrifiad talfyredig yma. Rhwng 1999 a 2002, roedd cyfradd gwaredu Fe gan y system yn G4 oddeutu 96% gyda'r crynodiad Fe yn gostwng i 1 mg L<sup>-1</sup> 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 Fe<sup>2+</sup> 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 ( $0.8 \text{ mg L}^{-1}$ ), mae'r awduron yn nodi i samplau blaenorol groesi'r trothwy o  $1 \text{ mg L}^{-1}$  yn aml. Yn wahanol i'r G2, roedd cyfraddau ocsideiddio – ac felly gyfraddau gostwng crynodiad –  $\text{Fe}^{2+}$  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  $1 \text{ mg L}^{-1}$  ( $3.1$  a  $1.5 \text{ mg L}^{-1}$ , 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  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  o ganlyniad i brosesau microbaidd.

## 5.0 Casgliadau

Mae'r canlyniadau'n dangos i grynodiadau uchel o Fe a  $\text{SO}_4^{2-}$  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  $\text{SO}_4^{2-}$  yn gymhleth, ac ni olygai cynnydd mewn Fe gynydd mewn  $\text{SO}_4^{2-}$ . 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  $\text{HCO}_3^-$  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 preswiliad 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 ochrous 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.

## Cyfranwyr

### ***Dr Huw Morgan***

Mae Huw Morgan yn ddarlithydd yn y Sefydliad Mathemateg a Ffiseg ym Mhrifysgol Aberystwyth. Wedi graddio mewn Cerddoriaeth ym Mhrifysgol Bangor, bu'n gweithio fel cerddor am rai blynyddoedd cyn cwblhau gradd Ffiseg gyda'r Brifysgol Agored yn 2002. Yna aeth yn ei flaen i gwblhau PhD ar gorona'r Haul ym Mhrifysgol Aberystwyth. Bu'n gweithio fel ymchwilydd uwch-ddoethurol ym Mhrifysgol Hawaii am saith mlynedd, lle llwyddodd i ennill grantiau ymchwil sylweddol gan NASA a'r NSF. Mae'n byw ar fferm fechan yn Llanbrynmair gyda Gail a thri o blant bach; Morus, Lleucu a Caio.

### ***Jeff Smith***

Ganwyd Jeff yn Swydd Caint, ac aeth ati i ddysgu Cymraeg tra oedd yn fyfyrwr Mathemateg ym Mhrifysgol Aberystwyth. Bellach, mae Jeff yn fyfyrwr uwchraddedig ym Mhrifysgol Aberystwyth, yn astudio tuag at ddoethuriaeth ac yn anelu at fodelu strwythurau mawr sydd i'w gweld ar arwyneb yr Haul – megis ffilamentau a lwpiau'r corona – er mwyn ehangu ein gwybodaeth amdanynt. Yn ystod 2013, cyflwynodd Jeff ei waith yng Nghynhadledd Wyddonol y Coleg Cymraeg Cenedlaethol ac yng nghynhadledd y Gymdeithas Frenhinol Seryddol yn St Andrews.

### ***Dr Manon Jones***

Mae Dr Manon Jones yn ddarlithydd ac yn gydlynnydd y ddarpariaeth cyfrwng Cymraeg yn yr Ysgol Seicoleg, Prifysgol Bangor, ac ariennir ei swydd gan y Coleg Cymraeg Cenedlaethol. Derbyniodd ei gradd gyntaf mewn Seicoleg ym Mhrifysgol Caerfrog yn 2001, cyn ennill gradd Meistr a PhD o Brifysgol Caeredin yn 2007. Cwblhaodd dair blynedd o waith ôl-ddoethurol, yn cynnwys cyfnod fel prif ymchwilydd drwy grant a ddyfarnwyd iddi gan gorff cyllido ESRC. Ers dechrau ei chyfnod ym Mangor yn 2010, creodd Manon labordy iaith niwrowyddonol, ac mae ar hyn o bryd yn goruchwylio dwy fyfyrwraig PhD.

### ***Nia Blackwell***

Mae Nia Blackwell yn astudio tuag at PhD yn sefydliad Daearyddiaeth a Gwyddorau Daear Prifysgol Aberystwyth. Wrth astudio ei gradd gyntaf mewn Daearyddiaeth a Chymraeg (Aberystwyth, 2009), datblygodd ddiddordeb yn neocemeg yr amgylchedd. Yn 2010, cwblhaodd radd meistr yn y Gwyddorau (Aberystwyth) gan ymchwilio i grynodiadau elfennau niweidiol mewn pridd a lyncwyd gan anifeiliaid sy'n pori ar diroedd a lygrwyd o ganlyniad i brosesau gwaith mwyngloddio. Mae ei gwaith ymchwil ar hyn o bryd yn canolbwyntio ar ddyfroedd a effeithiwyd o ganlyniad i brosesau cloddio am lo gan ddisgrifio'r dŵr a dyddodion llygredig, astudio'r gymuned microbaidd ynghyd â datblygu dulliau newydd o lanhau dŵr llygredd gan ddefnyddio bacteria a defnydd gwastraff naturiol.

---

Gwerddon

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

---

ISSN 1741-4261



9 771741 426008