



Llywodraeth Cymru
Welsh Government

Rhaglen Dystiolaeth Polisi Pridd 2020-21

Adolygiad Technegol ALC Rhan 3: Sychder

Dyddiad: Mai 2021

Cod Rhaglen: SPEP2020-21/02

Nodiadau Cyffredinol ADAS

Rhif y Prosiect: 1021536

Teitl: Adolygiad Technegol ALC Rhan 3: Sychder

Cleient: Llywodraeth Cymru; Defnydd Tir Amaethyddol a Pholisi Pridd, Is-adran Tir, Natur a Choedwigaeth, yr Adran Materion Gwledig

Dyddiad: 18 Mai 2021

Statws:

Terfynol

Awduron: Dr Alison Rollett, ADAS Gleadthorpe, Netherfield Lane, Meden Vale, Swydd Nottingham, NG20 9PD a John Williams, ADAS Boxworth, Battlegate Road, Boxworth, Swydd Gaergrawnt, CB23 4NN.

Dyddiad: 18 Mai 2021

Adolygydd technegol: John Williams

Dyddiad: 18 Mai 2021

Rheolwr prosiect ADAS: Alison Rollett

Dyddiad: 18 Mai 2021

Rheolwr Prosiect Llywodraeth Cymru: Ian Rugg

Cydnabyddiaethau: Hoffai ADAS a Llywodraeth Cymru ddiolch i John Hollis a Bob Jones (yn flaenorol o Arolwg Pridd Cymru a Lloegr/Soil Survey and Land Research Centre) am eu hadolygiadau arbenigol o'r ddogfen hon. Gwerthfawrogwyd yn fawr eu sylwadau craff.

This document is also available in English. Mae'r ddogfen hon ar gael yn Saesneg hefyd.

OGL © Hawlfraint y Goron 2020 WG41030 ISBN Digidol 978-1-80082-238-2

Cynnwys

1	Cyflwyniad	1
2	Amcanion.....	2
3	Dosbarthiad Tir Amaethyddol	2
3.1	<i>Cyfyngiadau hinsoddol ALC.....</i>	<i>5</i>
4	Setiau data hinsoddol ALC	6
4.1	<i>Ffynonellau data</i>	<i>8</i>
4.1.1	<i>Data Glawiad</i>	<i>8</i>
4.1.2	<i>Data tymheredd</i>	<i>8</i>
4.2	<i>Rhyngosod o bwyntiau grid</i>	<i>10</i>
4.2.1	<i>Rhyngosod ar gyfer diffyg lleithder (MD).....</i>	<i>11</i>
5	Addasrwydd set ddata hinsawdd bresennol yr ALC.....	13
5.1	<i>Adolygiad ADAS (2004) o ddata hinsawdd yr ALC</i>	<i>13</i>
5.1.1	<i>Newidiadau mewn tymheredd</i>	<i>13</i>
5.1.2	<i>Newidiadau mewn glawiad.....</i>	<i>14</i>
5.2	<i>Adolygiad Keay et al (2014) o newidiadau mewn ALC o ganlyniad i newid yn yr hinsawdd 14</i>	
5.2.1	<i>Glawiad a thymheredd.....</i>	<i>15</i>
5.2.2	<i>Sychder.....</i>	<i>15</i>
5.3	<i>Cymharu dulliau</i>	<i>17</i>
5.4	<i>Casgliadau ar gyfer addasrwydd data hinsawdd.....</i>	<i>22</i>
6	Digwyddiadau eithafol neu episodig	24
6.1	<i>Casgliadau ar gyfer digwyddiadau episodig ac eithafol</i>	<i>27</i>
7	Trosolwg o gyfrifiadau sychder ALC.....	30
7.1	<i>Capasiti dŵr sydd ar gael.....</i>	<i>33</i>
7.1.1	<i>Dŵr sydd ar gael yn y pridd.....</i>	<i>33</i>
7.2	<i>Data amgen ar gyfer cyfrifo'r capasiti dŵr sydd ar gael</i>	<i>37</i>
7.2.1	<i>Ffwythiannau pedo-drosglwyddo</i>	<i>38</i>
7.3	<i>Casgliadau ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn priddoedd.....</i>	<i>45</i>
7.4	<i>Capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig.....</i>	<i>46</i>
7.4.1	<i>Data arall ar y dŵr sydd ar gael mewn creigiau a cherrig</i>	<i>46</i>
7.4.2	<i>Casgliadau ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig.....</i>	<i>47</i>
7.5	<i>Cyfrifo capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP).....</i>	<i>47</i>
7.6	<i>Tybiaethau gwreiddio a chnydau cyfeirio'r ALC.....</i>	<i>50</i>

7.6.1	Trosolwg gwreiddio.....	50
7.6.2	Dyfnder gwreiddiau	51
7.6.3	Dyfnder gwreiddiau gwenith gaeaf.....	52
7.6.4	Dyfnder gwreiddiau grawnfwyd gwanwyn	54
7.6.5	Dyfnder gwreiddiau tatws.....	56
7.7	<i>Casgliadau ar gyfer dyfnder gwreiddio.....</i>	58
7.8	<i>Cyfrifo diffyg lleithder pridd ALC</i>	59
7.8.1	Trosolwg.....	59
7.8.2	Casgliadau ar gyfer diffyg lleithder	61
7.9	<i>Cydbwysedd lleithder</i>	61
7.9.1	Casgliadau ar gyfer cydbwysedd lleithder	63
8	Anwedd-drydarthiad	64
8.1	<i>Cyfrifo anwedd-drydarthiad posibl</i>	65
8.1.1	Dull Penman	65
8.1.2	Dull Penman-Monteith	66
8.2	<i>Trydarthiad cyfeirio.....</i>	67
8.2.1	Dull FAO 56 Penman-Monteith.....	67
8.2.2	Crynodeb o fodelau anwedd-drydarthiad gan Benman	68
8.2.3	Cymariaethau â dull FAO 56 Penman-Monteith.....	70
8.3	<i>Casgliadau ar gyfer cyfrifo anwedd-drydarthiad.....</i>	72
9	Sychder amaethyddol	75
9.1	<i>Mynegeion a modelau sychder</i>	75
9.2	<i>Mathau o fynegeion sychder.....</i>	77
10	Modelau gallu neu addasrwydd tir	85
10.1	<i>Casgliadau.....</i>	86
11	Yr ALC a'r newid yn yr hinsawdd	86
11.1	<i>Casgliadau.....</i>	87
12	Cynnwys glaswelltir yn yr ALC	87
12.1	<i>Sychder a glaswelltir</i>	89
12.2	<i>ALC, sychder a glaswelltir.....</i>	90
12.3	<i>Casgliadau ar gyfer glaswelltir a'r ALC</i>	90
13	Crynodeb	91
13.1	<i>Addasrwydd data hinsawdd ALC.....</i>	91

13.2	<i>Digwyddiadau episodig ac eithafol</i>	92
13.3	<i>Asesiad sychder ALC</i>	92
13.3.1	Capasiti dŵr sydd ar gael yn y pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP)	92
13.3.2	Diffyg lleithder ALC (MD)	93
13.3.3	Cydbwysedd lleithder ALC (MB).....	93
13.4	<i>Dilysrwydd data sy'n sail i asesiadau sychder</i>	94
13.4.1	Capasiti dŵr sydd ar gael	94
13.4.2	Capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig	94
13.4.3	Dyfnder gwreiddio	94
13.5	<i>Anwedd-drydarthiad</i>	95
13.6	<i>Sychder</i>	95
14	Casgliadau ac argymhellion	97
15	Cyfeiriadau	99
15.1	<i>Cyfeiriadau ar gyfer modelau a mynegeion sychder Tabl 28</i>	105

Geirfa

AAR: Glawiad Blynyddol Cyfartalog. Mae AAR yn fesur o gyfanswm y glawiad, sy'n disgyn mewn blwyddyn galendr. Mae hyn yn wahanol i hyd gwlybanaeth drwy gydol blwyddyn galendr – gweler FCD.

AE: Anwedd-drydarthiad gwirioneddol yw faint o ddŵr sy'n cael ei dynnu o arwyneb oherwydd y broses o anweddu a thrydarthu (gweler PE hefyd).

ALC: system Dosbarthiad Tir Amaethyddol. Mae hon yn system wyddonol gadarn i asesu ansawdd tir amaethyddol ar amrywiaeth o raddfeydd mapio. Yr ALC yw'r unig system gymeradwy ar gyfer graddio ansawdd tir yng Nghymru a Lloegr. (Gweler BMV hefyd)

AP: Capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP). Faint o ddŵr sydd yn y pridd y gall planhigion ei ddefnyddio, wedi'i fesur mewn milimetrau sydd ar gael. Gall mwy o ddŵr fod yn bresennol ond mae mewn mandyllau bach iawn o dan sugnedd sy'n rhy gryf i blanhigion ei dynnu. Mae AP (y dŵr sydd ar gael y gall pridd ei ddal) yn cael ei gymharu â MD (diffyg lleithder hinsoddol mewn milimetrau) i asesu gradd sychder ALC. Mynegir y dŵr sydd ar gael fel canran gyfeintiol fel bod pridd clai, er enghraifft, gyda chyfanswm dŵr sydd ar gael yn yr uwchbridd (TA_v) o 17%, yn dal 170 mm o ddŵr fesul 1 m o bridd. Ar gyfer tatws, defnyddir y TA_v ar gyfer pob haenlin i ddyfnder o 70 cm (0.7 m) ac felly, y capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) ar gyfer TA_v o 17% yw 119 mm (h.y. 0.7 m x 170 mm).

ASR: Cyfartaledd Glawiad yr Haf (Ebrill i Fedi, wedi'i fesur mewn milimetrau). Mae ASR yn mesur glawiad ar yr adeg dyngedfennol o'r flwyddyn ar gyfer twf cnydau. Ni ddefnyddir hyn fel maen prawf ynddo'i hun ond mae'n oblygedig mewn rhai cyfrifiadau cefndir.

AT0: Canolrif Tymheredd Cronedig dros 0°C (Ionawr i Fehefin). Mae hyn yn mesur cynhesrwydd ardal yn ystod cyfnod sy'n dyngedfennol ar gyfer egino a thwf planhigion. Mae AT0 yn swm o bob tymheredd dros 0°C, a gyfrifwyd bob dydd o fis Ionawr i fis Mehefin. Fe'i defnyddir wrth asesu'r hinsawdd gyffredinol. Defnyddir gwerthoedd Ebrill i Fedi o AT0 mewn rhai cyfrifiadau cefndir (gelwir hyn yn ATS, gweler isod).

ATS: Canolrif Tymheredd Cronedig dros 0°C (Ebrill i Fedi). Mae ATS yn swm o bob tymheredd dros 0°C, a gyfrifwyd bob dydd o fis Ebrill i fis Medi.

BMV: Tir Gorau a Mwyaf Amlbwrpas. Tir BMV yw ALC Gradd 1, Gradd 2 ac Is-radd 3a o'r system ALC. Mae tir BMV yn cael ei ddiogelu drwy bolisi cynllunio cenedlaethol; mae'r polisi hwn yn wahanol yng Nghymru a Lloegr. Yng Nghymru, dywed y polisi y dylid rhoi pwys sylweddol ar ddiogelu tir o'r fath rhag cael ei ddatblygu, ond yn Lloegr dylai cynllunio gydnabod 'manteision economaidd a manteision eraill' tir BMV a 'lle dangosir bod angen datblygu tir amaethyddol yn sylweddol, dylid ffafrio ardaloedd o dir o ansawdd salach i rai o ansawdd uwch'.

Sychder: Mae hyn yn digwydd pan fydd dyodiad yn gostwng i'r fath raddau fel nad oes digon o gyflenwad o ddŵr daear neu ddŵr wyneb i gynnal twf planhigion.

Sychder: O ran ALC, mae sychder yn cyfeirio at y math o bridd a'r ffactorau hinsawdd sy'n cyfyngu ar argaeledd dŵr ar gyfer twf cnydau.

EA_v: Dŵr sydd ar gael yn hawdd. Y dŵr sydd ar gael yn hawdd yw'r cynnwys dŵr pridd cyfeintiol (cymhareb cyfaint y dŵr i gyfaint uned y pridd) rhwng tensiwn o 0.05 a 2 far.

FCD: Dyddiau Capasiti'r Cae. Mae FCD yn fesur o hyd gwlybanaeth hinsoddol drwy'r flwyddyn, yn hytrach na chyfanswm y glawiad. Capasiti'r Cae (FC) yw pan fydd y pridd yn dal cymaint o ddŵr ag y

gall ei ddal dan ddisgyrchiant, h.y. y diffyg lleithder pridd yw 0. Ar lefel Capasiti'r Cae, ystyrir bod priddoedd yn rhy wlyb i'w trin. Fel arfer, dyma'r cyfnod pan fydd draeniau caeau'n llifo. Nifer y dyddiau FCD yw nifer y diwrnodau fesul blwyddyn y mae pridd ar lefel Capasiti'r Cae. Mae FCD yn faen prawf allweddol yn asesiad ALC o wlybaniaeth a natur hydrin pridd.

Cyfyngiadau rhyngweithiol. Yn y system ALC, mae'r rhain yn gyfyngiadau sy'n effeithio'n uniongyrchol ar radd yn seiliedig ar ryngweithiadau hinsawdd/pridd. Mae hyn yn bwysig ar gyfer asesu sychder pridd a gwlybaniaeth/natur hydrin pridd. Mae cyfyngiadau rhyngweithiol yn caniatáu i briddoedd tebyg gael eu hasesu'n wahanol, mewn rhannau gwlypach neu sychach o Gymru a Lloegr. Gweler hefyd gyfyngiadau Annibynnol.

LCA: Asesiad Gallu Tir ar gyfer yr Alban. Mae hyn yn debyg iawn i ALC ond mae'n wahanol mewn sawl agwedd. Mae'r LCA yn defnyddio 7 dosbarth ac mae ganddo fwy o israniadau o ardaloedd glaswelltir/rhostir nag ALC.

Cyfraith Liebig o'r lleiafswm. Os oes cyfuniad o ffactorau cyfyngol yn bodoli, *dim ond* yr un mwyaf cyfyngol sy'n pennu difrifoldeb cyffredinol y cyfyngiad. Defnyddir y term hwn yn nogfennau'r CE ac mae'n gyfystyr â'r 'ffactor mwyaf cyfyngol' yn y system ALC. (Gweler y ffactor mwyaf cyfyngol)

MAFF: MAFF oedd y Weinyddiaeth Amaethyddiaeth, Pysgodfeydd a Bwyd (DEFRA erbyn hyn).

Canllawiau MAFF 1988/y Llyfr Glas. *The Revised guidelines and criteria for grading the quality of agricultural land (MAFF 1988).* Dyma'r unig system sydd ar gael a'r unig system gymeradwy ar gyfer graddio ansawdd tir yng Nghymru a Lloegr. Daeth y canllawiau i rym ar 1 Ionawr 1989 gan ddisodli unrhyw arolygon neu ganllawiau ALC blaenorol (gweler Adroddiadau Technegol MAFF: Tech 11 ac 11/1)

MB. Cydbwysedd lleithder. Cyfrifir MB ar gyfer gwenith a thatws, h.y. MB (gwenith) ac MB (tatws). Er enghraifft, MB (gwenith) = AP (gwenith) - MD (gwenith). Defnyddir y gwerth dilynol (mewn mm) i ddyrannu'r Radd ALC ar gyfer sychder. Sylwer, mewn cysylltiadau dŵr pridd, fod mm yn cyfeirio at yr hyn sy'n cyfateb i lawiad. Er mwyn dyrannu gradd, rhaid cyfrifo MB (gwenith) ac MB (tatws).

Er enghraifft, lle mae gan bridd clai gyfanswm dŵr sydd ar gael (TA_v) o 17%, mae hyn yn cyfateb i 170 mm o ddŵr fesul 1 m o bridd. Ar gyfer tatws, defnyddir y TA_v ar gyfer pob haenlin i ddyfnder o 70 cm (0.7 m) ac felly, y capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) yw 119 mm (h.y. 0.7 m x 170 mm). Yn yr ALC, i gael yr MB, caiff yr MD ei dynnu wedyn o'r AP, er enghraifft os yw'r tatws MD yn 124 mm, yr MB sy'n deillio o hynny fydd 119 mm-124 mm = -5 mm. Mae cydbwysedd lleithder negyddol yn awgrymu nad yw argaeledd dŵr yn ddigonol i gynnal anwedd-drydarthiad ac felly gallai twf planhigion fod yn gyfyngedig. I'r gwrthwyneb, byddai gwerth cadarnhaol yn dangos absenoldeb straen lleithder.

MD: Diffyg lleithder. Mae MD yn fesur o sychder hinsoddol neu'n dueddiad i ddioddef sychder (mm). Dyma'r cyfeiriad hinsoddol ALC allweddol i asesu sychder pridd.

Y gwerth MD yw'r cydbwysedd rhwng dŵr sy'n dod i mewn i'r pridd drwy lawiad (mm) a dŵr sy'n cael ei golli drwy drydarthiad planhigion (mm). Mesurir hyn mewn diffyg milimetrau, sy'n gysylltiedig â'r cyfnod tyfu cynyddol allweddol. Mae'n mynegi faint o ddŵr sy'n cael ei ychwanegu neu ei golli mewn unedau o ddyfnder dŵr. Er enghraifft, mae colli 1 mm o ddŵr yn cyfateb i golled o 10 m³ o ddŵr yr hecтар.

Mae AP (y dŵr sydd ar gael y gall pridd ei ddal mewn mm) yn cael ei gymharu â MD (diffyg lleithder hinsoddol mewn milimetrau) i asesu gradd sychder ALC.

MDPOT: Diffyg Lleithder ar gyfer tatws prif gnwd (gweler MD).

MDWHT: Diffyg Lleithder ar gyfer gwenith gaeaf (gweler MD)

MORECS: System Cyfrifo Glawiad ac Anweddiad y Swyddfa Dywydd. Mae'n darparu amcangyfrifon o anweddiad a diffyg lleithder pridd ar gyfer y DU. Mae'n cael ei gynnal bob wythnos ac mae'n cynhyrchu gwybodaeth ddyddiol ar gyfer amrywiaeth o fathau o gnydau a phriodweddau pridd.

Priddoedd mwynol: Mae priddoedd mwynol yn briddoedd nad ydynt yn bridd organig-fwynol na mawnog ac sydd â llai na 6-10% o ddeunydd organig. Mae'r rhan fwyaf o briddoedd â'r tir isel y tu allan i dir Ffen yn fwynol. Gweler Atodiad 2 o Ganllawiau MAFF 1988 i gael diffiniadau.

Y ffactor mwyaf cyfyngol (ALC). Os oes cyfuniad o ffactorau cyfyngol yn bodoli, defnyddir yr un mwyaf cyfyngol yn unig i bennu difrifoldeb y cyfyngiad ac felly Gradd ALC. Gweler cyfraith Liebig o'r lleiafswm.

Priddoedd organig-fwynol neu fawnog. Mae gan briddoedd mwynol organig rhwng 6-25% o ddeunydd organig, yn dibynnu ar y cynnwys clai. Mae gan briddoedd mawnog 20-100% o ddeunydd organig, yn dibynnu ar gynnwys clai. Gweler Atodiad 2 o Ganllawiau MAFF 1988 i gael diffiniadau.

PE: Anwedd-drydarthiad posibl. Anwedd-drydarthiad posibl yw'r anweddu posibl o briddoedd a thrydarthu gan blanhigion. Dim ond ar y gyfradd bosibl y mae'n digwydd pan nad yw'r dŵr sydd ar gael ar gyfer y broses hon yn cyfyngu. Mae cyfradd yr anweddu'n dibynnu ar amodau hinsoddol, yn benodol ynni ymbelydrol yr haul, gwynt, diffyg anwedd yr aer, a thymheredd. Yn aml cyfrifir anweddiad posibl o'r mesuriadau hyn gan ddefnyddio hafaliad Penman Monteith. Gellir ei amcangyfrif hefyd o ddata glawiad a thymheredd sydd ar gael yn rhwydd gan ddefnyddio hafaliadau syml.

Map Rhagweld ALC: Cyflwynwyd y Map Rhagweld ALC yng Nghymru yn 2017. Mae'n fodel ar y we sy'n mireinio gradd ALC ar lefel Cymru gyfan. Mae'n defnyddio modelau hinsawdd cefndir a thir, sy'n gysylltiedig â data nodweddion pridd NATMAP. Yna mae'n calibradu'r data i'r system ALC. Gellir gweld Graddau'r Map Rhagweld ALC (gan gynnwys Isradd 3a a 3b), ynghyd â'r holl arolygon maes Ar ôl Adolygu. Mae'r Map Rhagweld ALC wedi disodli'r mapiau ALC Dros Dro yng Nghymru ac mae ar gael ar wefan Llywodraeth Cymru. Dyma'r brif ffynhonnell o wybodaeth ALC strategol yng Nghymru. (Gweler ALC Dros Dro).

<http://lle.gov.wales/catalogue/item/PredictiveAgriculturalLandClassificationALCMap2/?lang=cy>

Mapiau ALC Dros Dro: Mapiau a baratowyd rhwng 1968 a 1974, sy'n dosbarthu Cymru a Lloegr i gyd yn 5 Gradd. Bwriadwyd y mapiau fel canllaw strategol i ansawdd tir amaethyddol. Fe'u cynhyrchwyd yn wreiddiol ar raddfa o fodfedd i'r filltir (1:63 360) ond wedi hynny fe'u cyffredinolwyd i raddfa o 1:250 000. Dim ond fel canllaw strategol i ansawdd tir y dylid defnyddio'r gyfres fapiau ac ni ddylid dibynnu arnynt ar gyfer asesiadau safle-benodol. I gael gradd ddiffiniol, mae angen arolwg yn unol â chanllawiau MAFF 1988.

Disodlwyd y mapiau ALC Dros Dro yng Nghymru gan y Map Rhagweld ALC yn 2017, sydd ar gael ar wefan Llywodraeth Cymru. (Gweler Map Rhagweld ALC).

<http://lle.gov.wales/catalogue/item/PredictiveAgriculturalLandClassificationALCMap2/?lang=cy>

RE: Anwedd-drydarthiad cyfeirio. Mae anwedd-drydarthiad cyfeirio yn cyfeirio at y gyfradd anwedd-drydarthiad o gnwd glaswellt cyfeirio damcaniaethol gyda nodweddion penodol, nad yw'n brin o ddŵr.

Adeiladwaith y pridd: Adeiladwaith y pridd yw crynhoad gronynnau pridd unigol i unedau mwy ar wahân, o'r enw pedau neu unedau strwythurol. Gellir dosbarthu'r rhain yn siapiau a meintiau gwahanol ac ati. Gall gwahaniaethau rhwng y math o adeiladwaith pridd a chyflwr gael effaith fawr ar symudiad dŵr mewn pridd. Mae adeiladwaith pridd yn bwysig ar gyfer gwlybanaeth/natur hydrin pridd ac asesiad sychder.

Gwead pridd: Diffinnir gwead pridd yn ôl cyfrannau cymharol o ffracsiynau tywod, silt a chlai.

Cyfyngiadau annibynnol: Yn yr ALC, cyfyngiadau yw'r rhain sy'n effeithio'n uniongyrchol ar radd yn annibynnol ar ryngweithiadau pridd/hinsawdd – e.e. llifogydd, graddiant, cynnwys cerrig uwchbridd a'r hinsawdd gyffredinol.

SWC: Dosbarth Gwlybanaeth Pridd. SWC yw'r disgrifydd allweddol ar gyfer difrifoldeb gwlybanaeth y pridd. Mae SWC yn mesur faint o'r flwyddyn y mae pridd yn wlyb uwchben dyfnderoedd penodol ar raddfa o I – VI. SWC I yw'r sychaf, SWC VI yw'r gwlypaf. SWC I i IV yw'r rhai a welir fwyaf yn yr ALC. Ar gyfer ALC, asesir SWC gan ddefnyddio (a) dyfnder i haenlin leiog a dyfnder i haen athraidd araf – gan fesur pa mor gyflym y gall dŵr symud drwy bridd penodol – a (b) nifer Dyddiau Capasiti'r Cae (FCD) – gan fesur hyd gwlybanaeth hinsoddol. Gweler Atodiad 3 o ganllawiau MAFF 1988 am ddiffiniad llawn. (Gweler Gwlyb hefyd).

TA_v: **Cyfanswm y dŵr sydd ar gael.** Ystyrir mai cyfanswm y dŵr pridd sydd ar gael i blanhigion yw'r cynnwys dŵr pridd cyfeintiol (cymhareb cyfaint y dŵr i gyfaint uned y pridd) rhwng tensiwn o 0.05 a 15 bar (neu ar gyfer tywod a thywod lomog rhwng tensiwn o 0.10 a 15 bar). Er enghraifft, lle mae gan bridd clai gyfanswm dŵr sydd ar gael (TA_v) o 17%, mae hyn yn cyfateb i 170 mm o ddŵr fesul 1 m o bridd.

Gwlyb: Mewn asesiad dosbarth gwlybanaeth pridd, ystyr 'gwlyb' yw bod ffilmiau dŵr i'w gweld ar arwynebau grawn neu bedau. Bydd cloddio o dan haenlin wlyb yn achosi i ddŵr lifo i lawr yr wyneb agored, er y gall y llif fod yn araf iawn ac wedi'i gyfyngu i dyllau a holltau mawr. Am ddiffiniad llawn gweler y Soil Survey Field Handbook (Hodgson J.M. 1997 – diffiniad fel Hodgson J.M. 1976).

1 Cyflwyniad

- Mae Dosbarthiad Tir Amaethyddol Cymru a Lloegr (ALC) yn darparu fframwaith ar gyfer dosbarthu tir amaethyddol yn unol â'r graddau y mae ei nodweddion ffisegol neu gemegol yn cyfyngu ar ddefnydd amaethyddol. Gall y cyfyngiadau effeithio ar amrywiaeth y cnydau y gellir eu tyfu, lefel a chysondeb y cnwd a chost gysylltiedig ffermio'r tir. Mae'r radd ALC yn disgrifio gallu'r tir ar gyfer amrywiaeth o gnydau a allai fod yn addas.
- Dyfeisiwyd a chyflwynwyd yr ALC yn y 1960au yn wreiddiol ac roedd yn darparu fframwaith ar gyfer dosbarthu tir i bum dosbarth (graddau ALC 1-5) yn ôl y graddau yr oedd nodweddion hinsoddol, pridd a safle'n cyfyngu ar gynhyrchiant amaethyddol. Yn dilyn adolygiad o'r system, cafodd yr ALC ei ddiweddarau yn y 1970au i rannu tir ALC gradd 3 yn is-raddau 3a, 3b a 3c. Wedi hynny, cafodd y system ei diweddarau ymhellach yn y 1980au, pan benderfynwyd nad oedd angen israniad triphlyg ar gyfer tir Gradd 3 mwyach, a chafodd gradd 3C ei dileu. Yn ogystal, diweddarwyd y meini prawf a ddefnyddiwyd i asesu cyfyngiadau hinsoddol a rhyngweithiadau hinsawdd-pridd yn seiliedig ar yr wybodaeth orau a diweddaraf a oedd ar gael ar y pryd.
- Yn 2020, mae tir yn dal i gael ei raddio'n unol â'r canllawiau a'r meini prawf a sefydlwyd ym 1988 (MAFF, 1988). O gofio bod y canllawiau wedi'u cyhoeddi dros 30 mlynedd yn ôl, mae'n bosibl nad yw'r terfynau trothwy ar gyfer pennu graddau ar gyfer rhai ffactorau'n ddilys mwyach. Yn ogystal, gall datblygiadau mawr mewn technoleg ers 1988 ddarparu dulliau ar gyfer asesu meini prawf nad oedd yn bosibl o'r blaen (e.e. GIS neu synhwyro o bell). Datblygwyd yr ALC yn wreiddiol fel system seiliedig ar gaeau, gan gefnogi polisi cynllunio i ddiogelu tir amaethyddol o ansawdd uchel rhag cael ei golli i ddatblygiadau. Yn fwy diweddar, defnyddiwyd y system ALC fel llwyfan modelu hefyd gan ddefnyddio setiau data pridd, hinsawdd a thir cenedlaethol. Mae hyn wedi bod yn ddefnyddiol ar gyfer asesu gallu tir yn y dyfodol ac addasrwydd tir ar gyfer cnydau penodol. Mae'r adroddiad hwn yn adolygu asesiad sychder ALC o ran (a) y cymorth cynllunio gwreiddiol a (b) rolau modelu mwy diweddar. Yr hyn sy'n bwysig yw y gall y gofynion ar gyfer offeryn asesu caeau ALC a modelu gallu/addasrwydd fod yn wahanol iawn. Er enghraifft, gall ehangu'r casgliad o gnydau cyfeirio ALC ar gyfer sychder (para 13.3.1) fod yn fwy defnyddiol at ddibenion modelu nag ar gyfer arolwg caeau.
- Mae'r adroddiad hwn yn adolygu'r fethodoleg a'r data cyfredol a ddefnyddir yn yr ALC i asesu sychder. Yn yr ALC sychder yw'r duedd bod diffyg dŵr ar gael ar gyfer twf cnydau. Gall hyn fod oherwydd glawiad isel neu anwedd-drydarthiad uchel neu lle mai dim ond cronfeydd bach o leithder pridd sydd ar gael i wreiddiau planhigion y mae'r pridd yn eu dal. Bydd difrifoldeb y cyfyngiad yn dibynnu ar y berthynas rhwng priodweddau'r pridd a ffactorau hinsoddol yn ogystal â galw cnydau am leithder. Mae'r berthynas yn gymhleth, ac mae graddau'r straen lleithder yn amrywio o flwyddyn i flwyddyn yn ôl y tywydd. O'i gymharu, mae sychder yn ddigwyddiad tymor byr sy'n cael ei nodweddu gan newidiadau mewn glawiad neu dymheredd sy'n golygu nad oes digon o leithder i gynnal twf planhigion. Gellir ystyried sychder pridd yn elfen bwysig o sychder amaethyddol, os nad yn gyfystyr â hynny (Zdruli *et al.*, 2001).
- Mae'r adroddiad yn adeiladu ar waith cynharach a adolygodd y sylfaen dystiolaeth ar gyfer cyfyngiadau hinsawdd, safle a phridd ALC (Rollett a Williams, 2019, SPEP2018-19/12; Rollett a Williams, 2020, SPEP2019-20/04).

2 Amcanion

- Adolygu asesiad sychder ALC i benderfynu a yw'n dal i fod yn addas i'r diben ac i ddarparu sylfaen ar gyfer unrhyw ddiwygiadau i ganllawiau ALC yn y dyfodol. Bwriedir i'r adolygiad asesu a thrafod problemau ac nid cynhyrchu dull sychder diwygiedig ar gyfer ALC. Mae'r adroddiad hwn wedi:
 - Adolygu data hinsawdd cefndirol yn yr ALC a sut y caiff ei ddefnyddio mewn asesiad sychder,
 - Adolygu modelau/algorithmâu allweddol a'u defnydd mewn cyfrifiadau sychder,
 - Adolygu modelau eraill ar gyfer asesu sychder mewn amaethyddiaeth a mynegeion diffeithder a ddatblygwyd ar ôl 1988 ac o'i gymharu â dull yr ALC,
 - Asesu cryfderau a gwendidau pob system mewn perthynas â'r ALC
 - Asesu cryfderau a gwendidau data hinsawdd presennol yr ALC,
 - Archwilio dylanwad digwyddiadau hinsawdd eithafol episodig ar asesiad sychder yr ALC,
 - Asesu'r tybiaethau sy'n sail i gyfrifiad sychder yr ALC, h.y. rhagdybiaethau o ran gwreiddio a'r cnwd cyfeirio, modelau anwedd-drydarthiad, capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd a gwerthoedd cydbwysedd lleithder,
 - Trafod priodoldeb dull gallu tir o'i gymharu â modelau addasrwydd cnydau,
 - Gwerthuso sut y gellid gwella asesiad sychder ALC yng ngoleuni'r newid yn yr hinsawdd,
 - Ystyried sut y gellid cynnwys glaswelltiroedd yn well yn asesiad sychder yr ALC.

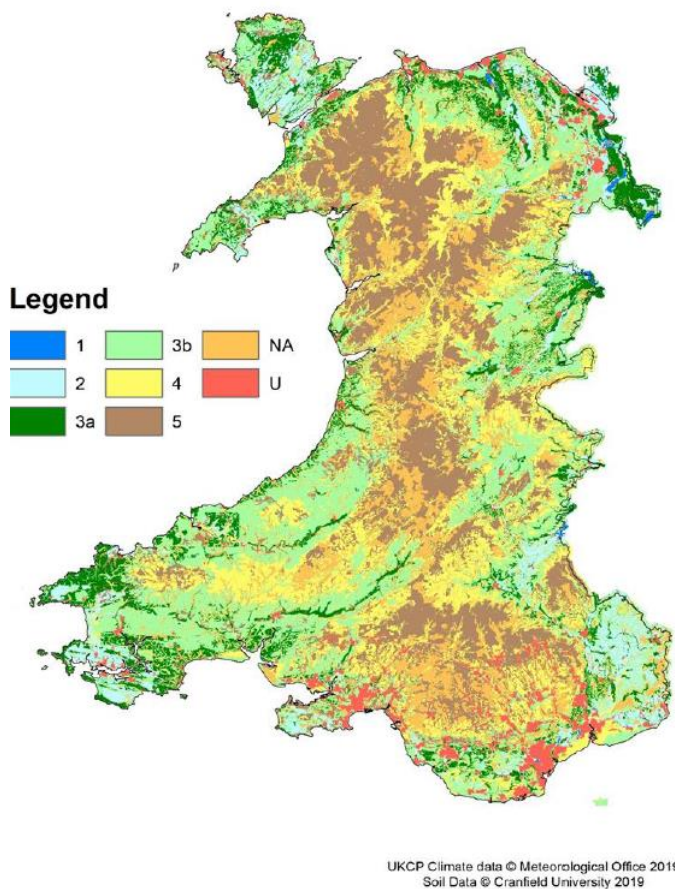
3 Dosbarthiad Tir Amaethyddol

- Y prif ffactorau ffisegol sy'n dylanwadu ar gynhyrchiant amaethyddol yw'r hinsawdd, safle (e.e. graddiant neu fân amrywiadau) a phridd. Y ffactorau hyn, ynghyd â'r rhyngweithiadau rhyngddynt, yw sail dosbarthu tir i un o chwe gradd; Gradd 1: ansawdd rhagorol i Radd 5: ansawdd gwael. Mae Gradd 3 wedi ei rhannu ymhellach yn ddwy is-radd, sef 3a a 3b (MAFF, 1988)¹. Diffinnir y tair gradd uchaf (1-3a) gan Adran 3.58 o Argraffiad 11 o Bolisi Cynllunio Cymru (Llywodraeth Cymru, 2021) a'r National Planning Policy Framework for England (Y Weinyddiaeth Dai, Cymunedau a Llywodraeth Leol, 2019) fel y tir amaethyddol 'gorau a mwyaf amlbwras' (BMV) ac sy'n addas ar gyfer tyfu amrywiaeth eang o gnydau.
- Y prif ffactorau ffisegol sy'n cael eu nodi fel y rhai sy'n cyfyngu yw: hinsawdd, gwlybanaeth pridd, sychder pridd, graddiant, llifogydd, gwead pridd, dyfnder pridd, natur garegog pridd a phriodweddau cemegol pridd. Y radd ALC derfynol a roddir i leoliad yw'r radd isaf o blith unrhyw un o'r meini prawf (h.y. mae meini prawf yn cael eu cyfuno yn unol â chyfraith agronomegol yr isafswm, cyfraith Liebig).
- Mae gan feini prawf penodol (h.y. sychder pridd, gwlybanaeth a natur hydrin pridd, graddiant, cynnwys cerrig uwchbridd a dyfnder pridd) ddulliau pwrpasol, yn y cae, i benderfynu ar Radd ALC yn uniongyrchol. Mae llifogydd yn debyg ond mae'n dibynnu ar ddata trydydd parti nad yw ar gael yn hawdd yn aml. Ystyrir meini prawf eraill (h.y. mân amrywiadau, cemegol, erydiad, rhew,

¹ <http://publications.naturalengland.org.uk/file/5526580165083136>

wynebwedd, amlygiad a dyfrhau)² yng Nghanllawiau'r ALC. Fodd bynnag, mae'r rhain fesul achos heb unrhyw werthoedd trothwy penodol i benderfynu ar Radd ALC yn uniongyrchol.

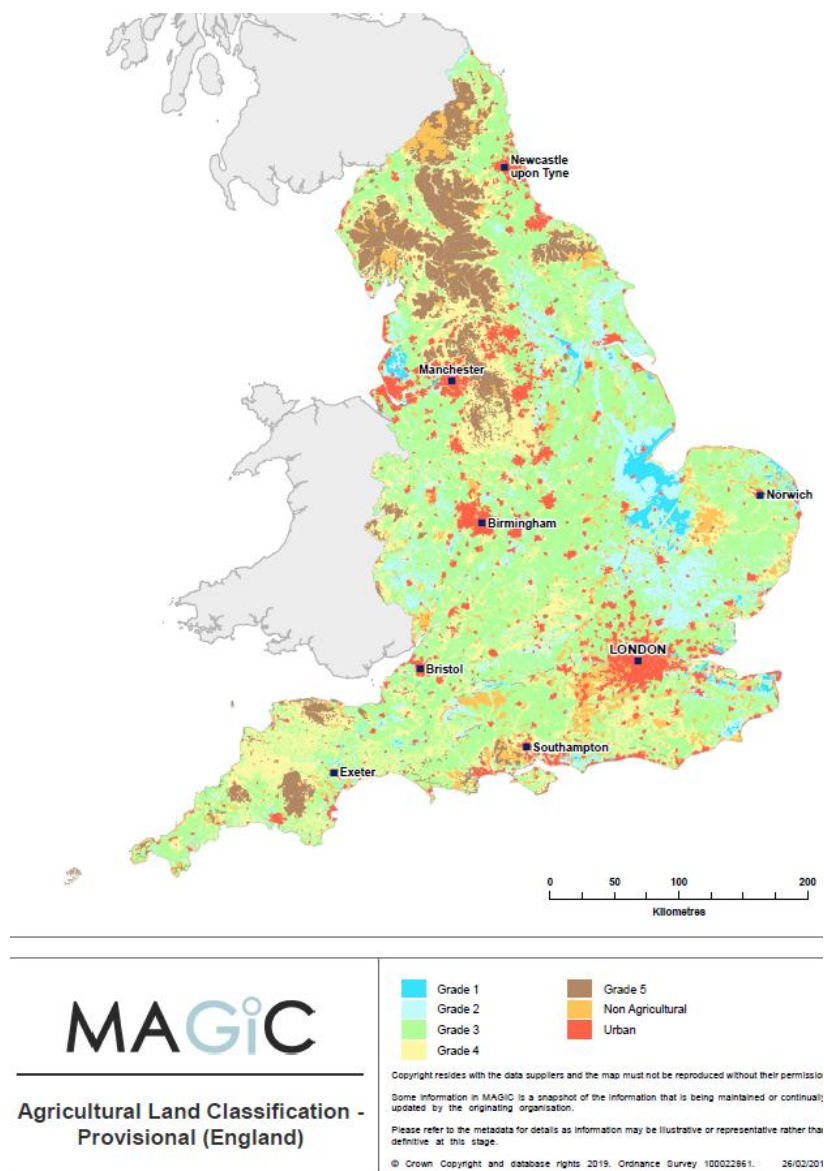
- Yng Nghymru, mae tir Gradd 1 wedi'i leoli mewn pocedi bach o dir isel yng Ngogledd-ddwyrain a De Cymru (Ffigur 1³) ac yn Lloegr, o amgylch The Wash, Vale of York, Gogledd Caint ac ar arfordir y Gogledd-orllewin ger Ormskirk (Ffigur 2). Yn yr un modd, mae tir Gradd 2 wedi'i leoli'n bennaf ar iseldir yng Ngogledd a De Cymru, Ynys Môn a Sir Benfro ac yn Nwyrain Lloegr. Mae tir Gradd 3 wedi'i ddosbarthu'n ehangach ac i'w weld mewn ardaloedd tir isel arfordirol a mewndirol yng Nghymru, mewn dyffrynnoedd afonydd (e.e. afonydd Gwy a Hafren) ac ar y gororau; yn Lloegr tir Gradd 3 sydd i'w gael yn bennaf. Yn olaf, mae tir amaethyddol Gradd 4 a Gradd 5 yn ardaloedd yr ucheldir yng nghanolbarth Cymru'n bennaf ac yn uwchdiroedd gogledd/gogledd-ddwyrain Lloegr. Dim ond tir amaethyddol Gradd 3a ac uwch fydd yn addas ar gyfer cynydau â'r fel arfer (MAFF, 1988). Fodd bynnag, gellir plannu cynydau ar dir Gradd 4 ysgafn yn Nwyrain a De-ddwyrain Lloegr er bod maint y cnwd yn debygol o fod yn wael.



Ffigur 1. Map Rhagweld Dosbarthiad Tir Amaethyddol ar gyfer Cymru (Ffynhonnell: Keay a Hannam, 2020).

² Er bod dyfrhau wedi'i gynnwys yng nghanllawiau 1988 yr ALC, fe wnaeth newidiadau 1997 i ganllawiau cynllunio cenedlaethol ddileu'r potensial i uwchraddio tir lle'r oedd dyfrhau ar gael, ac nid yw'n cael ei ddefnyddio fel ffactor wrth raddio tir mwyach.

³ Sylwer, er bod Ffigurau 1 a 2 yn dangos lleoliad tir ALC yn ôl gradd yng Nghymru a Lloegr, yn y drefn honno, nid oes modd eu cymharu'n llwyr. Ffigur 1, cyflwynwyd y map rhagweld ALC ar gyfer Cymru yn 2017, mae'n fodel ar y we sy'n defnyddio'r wybodaeth orau sydd ar gael i ragweld Gradd ALC tir. Mae Ffigur 2 yn dangos y graddau dros dro ar gyfer Lloegr yn seiliedig ar fapiau a baratowyd rhwng 1967 a 1974; mae'r mapiau'n darparu canllaw strategol ar ansawdd tir yn hytrach na chanllawiau safle-benodol.

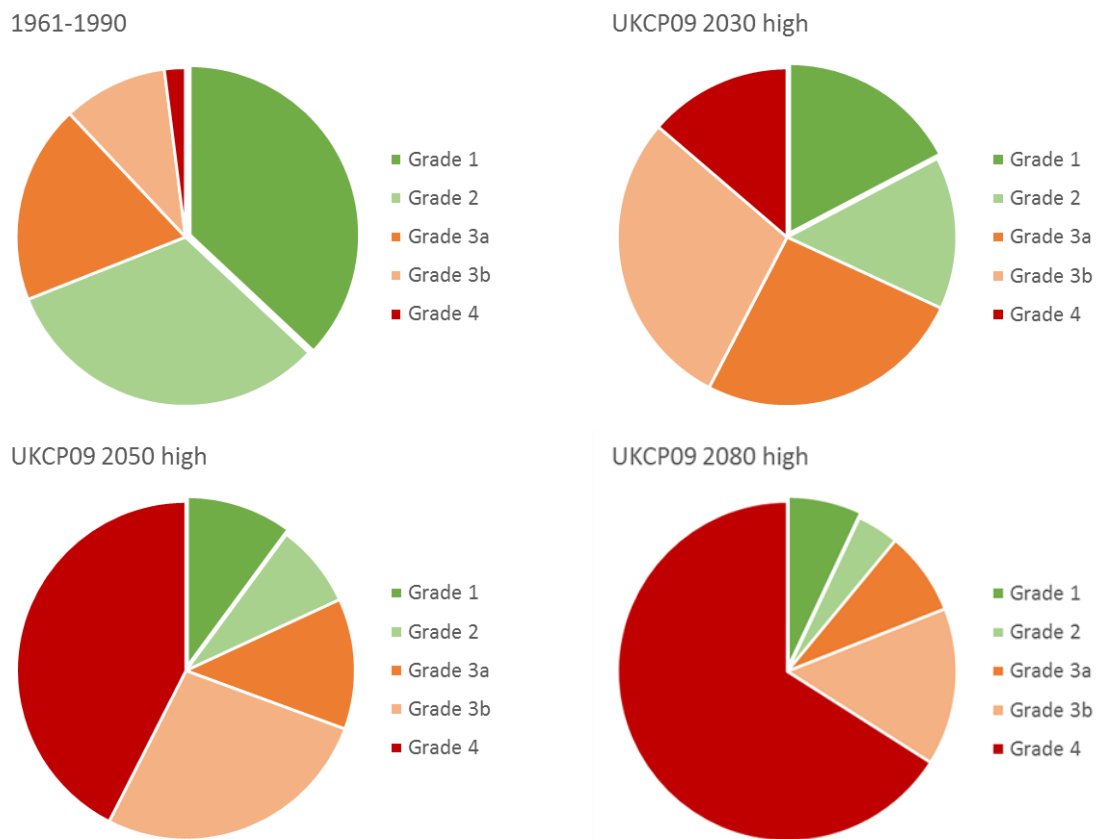


Ffigur 2. Dosbarthiad tir amaethyddol (ALC) ar gyfer Lloegr.

3.1 Cyfyngiadau hinsoddol ALC

- Mae gan yr hinsawdd ddylanwad mawr ac, mewn rhai mannau, dyna yw'r dylanwad mwyaf ar ansawdd tir drwy reoli'r mathau o ddefnydd amaethyddol a chost a lefel cynhyrchu. Mae dylanwad mwyaf sylfaenol yr hinsawdd ar y potensial ar gyfer twf planhigion, drwy bennu faint o ynni sydd ar gael ar gyfer ffotosynthesis. Fodd bynnag, mae'r hinsawdd hefyd yn dylanwadu ar leithder pridd, awyru pridd, nifer dyddiau capasiti'r cae hefyd (h.y. pan fo priddoedd yn ddigon gwlyb i ddraenio ddigwydd) a rhwyddineb mynediad i dir i gynnal gweithrediadau caeau neu ar gyfer pori gan dda byw (fel arfer mae da byw'n cael eu cadw dan do am fwy o amser pan fo'r hinsawdd yn wlypach/oerach er mwyn osgoi niweidio'r pridd/porfa ac ar gyfer iechyd/lles anifeiliaid).
- O ran yr hinsawdd, ar gyfer ALC, yr ardaloedd lle mae'r cyfyngiadau mwyaf yw'r rhai gwlypaf ac oeraf ac, i'r gwrthwyneb mae'r hinsawdd yn cael ei ystyried ar ei fwyaf ffafriol wrth i'r tymheredd godi ac wrth i'r glaw ostegu (MAFF, 1988) Y prif ffactorau hinsoddol a ystyrir ar hyn o bryd yn yr ALC yw tymheredd (tymheredd cronedig Ionawr i Fehefin-AT0) a glawiad (glawiad blynyddol cyfartalog-AAR), er bod ystyriaeth yn cael ei rhoi i ffactorau lleol hefyd fel amlygiad, wyneb wedd a risg rhew. Asesir ffactorau lleol (lle bo'n berthnasol) fesul achos. Ystyrir meini prawf hinsoddol yn gyntaf wrth ddosbarthu tir gan y bydd cyfyngiadau difrifol yn cyfyngu tir i raddau isel heb ystyried amodau pridd neu safle ffafriol.
- Y cyfyngiadau ffisegol sy'n deillio o ryngweithio rhwng yr hinsawdd, y safle a'r pridd yw gwlybanaeth pridd, sychder ac erydiad. Dengys sychder pridd i ba raddau y mae prinder dŵr pridd yn dylanwadu ar y detholiad o gnydau y gellir eu tyfu a lefel/cysondeb y cynnyrch y gellir ei gyflawni. Ar y llaw arall, mae cyfyngiad gwlybanaeth pridd yn bodoli lle mae gormod o ddŵr pridd yn cyfyngu ar dwf planhigion neu'n cyfyngu ar dyfu cnydau neu bori gan dda byw. Nid yw un cyfyngiad yn eithrio'r llall gan y gall rhai priddoedd fod yn wlyb yn y gaeaf ond yn sych yn yr haf.
- Er mwyn sicrhau potensial cynnyrch llawn, mae angen cyflenwad digonol o ddŵr ar gnwd drwy gydol y tymor tyfu. Mae gofynion dŵr yn amrywio'n sylweddol rhwng cnydau ac yn ôl y cam tyfu. Yn gyffredinol, mae'r galw posibl am ddŵr yn cynyddu wrth i orchudd dail, ac felly trydardhu, gynyddu. Yn ogystal, gall cnydau sy'n gwreiddio'n ddwfn fanteisio ar gronfeydd dŵr cyfaint mwy o bridd na chnydau sy'n gwreiddio'n fas. Felly, mae'r graddau y mae cnwd yn cael ei gyfyngu pan fo dŵr yn brin yn cael ei ddylanwadu gan y math o gnwd, maint a hyd y diffyg a'r cam tyfu y mae'n digwydd ynddo.
- Mae sychder yn fwyaf tebygol o fod yn gyfyngiad sylweddol ar dwf cnydau mewn ardaloedd sydd â glawiad cymharol isel neu anwedd-drydardhiad uchel, neu lle mae'r pridd yn dal cronfeydd bach o ddŵr yn unig sydd ar gael i wreiddiau planhigion. Mae difrifoldeb y cyfyngiad yn dibynnu ar y berthynas rhwng priodweddau'r pridd a ffactorau hinsoddol a gofynion dŵr y cnydau a dyfir. Mae'r cydberthnasau hyn yn gymhleth, ac mae graddau'r straen dŵr yn amrywio o flwyddyn i flwyddyn yn ôl gwahaniaethau tymhorol mewn glawiad a thymheredd.
- Nododd Keay *et al.* (2014) mai sychder oedd y ffactor mwyaf cyfyngol ar tua 30% o safleoedd rhwng 1921 a 2000 yn gyffredinol (ar gyfer Cymru a Lloegr); mewn cyferbyniad, gwlybanaeth oedd y ffactor mwyaf cyfyngol ar tua 55% o safleoedd. Ar hyn o bryd, anaml mai sychder yw'r ffactor mwyaf cyfyngol ar gyfer ALC yng Nghymru, er y gallai hyn newid dros amser. Rhagwelir y bydd glawiad yr haf yn gostwng yn sylweddol yn ne a dwyrain Lloegr a dwyrain Cymru. Yn ogystal, rhagwelir y bydd tymheredd yr haf yn cynyddu'n sylweddol hefyd, ac erbyn 2080, mae'r rhan fwyaf o Gymru a Lloegr yn debygol o fod yn gynhesach na'r rhan boethaf heddiw. Byddai'r

cyfuniad hwn o hafau sychach a chynhesach yn dwysáu i wneud sychder yn broblem i amaethyddiaeth yn y dyfodol. Nododd Keay *et al.* (2014), ar gyfer data hinsawdd sylfaenol ALC (1961-1990), fod bron i 70% o'r tir yn ALC Gradd 1 neu 2 o ran sychder. O'i gymharu â senario uchel UKCP09 2080 ar gyfer newid yn yr hinsawdd, rhagwelir y bydd y rhan fwyaf o dir yn ALC Gradd 4 o ran sychder; mae'r data'n awgrymu y bydd y prif newidiadau mewn gradd yn digwydd ar ôl 2030 felly ystyrir bod yr ALC yn addas i'r diben ar hyn o bryd. (Ffigur 3).



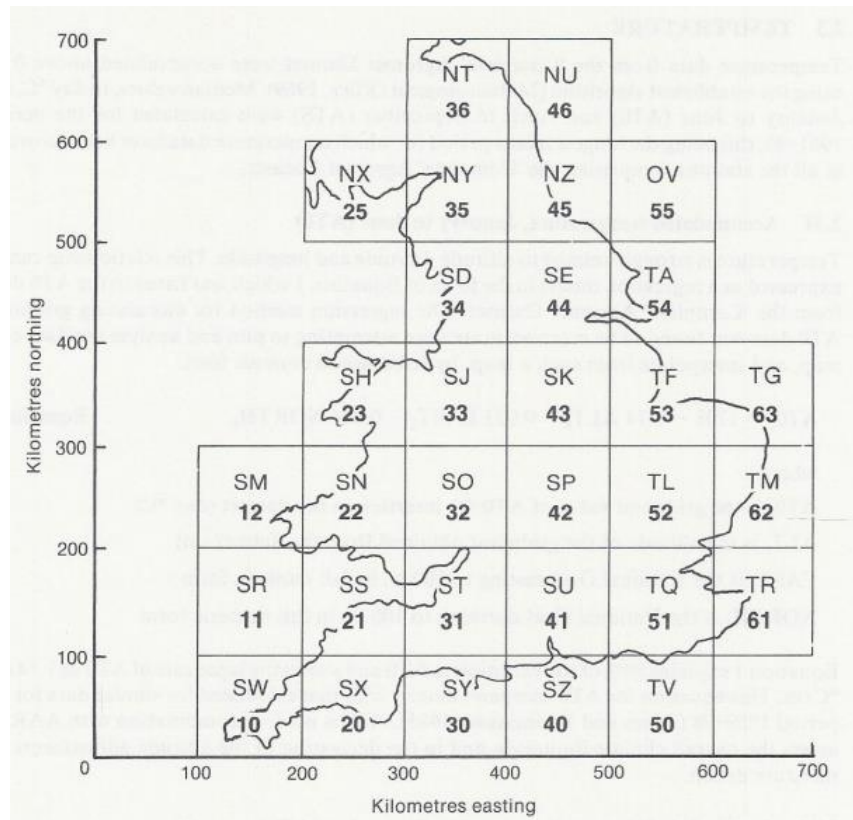
Ffigur 3. Newid mewn ALC yn ôl sychder ar gyfer safleoedd y Rhestr Bridd Genedlaethol rhwng y llinell sylfaen a 2080 (senario uchel UKCP09 2030-2080). Ffynhonnell y data: Keay *et al.*, 2014.

- Fodd bynnag, nodwch mai dim ond i nodi tueddiadau nid meintiau absoliwt neu union leoliadau unrhyw newid y gellir defnyddio gwaith Keay *et al.* (2014) ac ni ddylid dehongli'r canlyniadau ar raddfa leol. Cynhaliwyd y gwaith o fodelu effaith newid yn yr hinsawdd (gan gynnwys newidiadau i sychder) ar gyfer pwynt c.,5800 ar groestoriadau grid 5 km lle casglwyd data safle penodol o ansawdd da ar gyfer y Rhestr Bridd Genedlaethol rhwng 1978 a 1983. Nid yw'r graddau ar gyfer Cymru a Lloegr i gyd wedi'u pennu.

4 Setiau data hinsoddol ALC

- Disgrifir y data hinsoddegol sy'n sail i'r system ALC a'r tarddiad a'r fethodoleg ar gyfer cael gafael arni yng nghyhoeddiad y Swyddfa Dywydd ym 1989: 'Climatological Data for Agricultural Land Classification', a baratowyd ar y cyd â MAFF a'r Soil Survey and Land Research Centre (SSLRC). Mae'r set ddata'n cynnwys lleoliad, uchder, glawiad, tymheredd, diffyg lleithder pridd a hyd setiau data capasiti cae gyda bylchau grid o 5 km.

- Defnyddir data hinsoddol yn ALC ar gyfer asesu'r cyfyngiadau hinsawdd, sychder a gwlybanaeth. Er mwyn sicrhau cysondeb yn yr asesiadau hynny, mae angen ffynhonnell ddata safonol ar gyfer calibradu a gweithredu'r system. Neilltuwyd nifer o setiau data pwyntiau grid gyda bylchau o 5 km i Gymru a Lloegr i gyd a dyfeisiwyd dulliau safonol ar gyfer amcangyfrif gwerth pob paramedr mewn unrhyw leoliad. Mae'r grid yn cyfateb i fylchau 5 km Grid Cenedlaethol yr Arolwg Ordnans, sydd â'i darddiad i'r de-orllewin o Ynysoedd Scilly (Ffigur 4).



Ffigur 4. Llythrennau a rhifau sgwariau 100 km y Grid Cenedlaethol.

- Cedwir setiau data'r ALC yn LandIS⁴, system gwybodaeth tir gyfrifiadurol a ddatblygwyd gan yr SSLRC ac a ariannwyd gan MAFF. Gellir defnyddio LandIS i gael pwynt grid a gwerthoedd rhyngosodedig ar gyfer cyfeiriadau grid penodedig. Cyhoeddwyd y set ddata gyflawn hefyd gan y Swyddfa Dywydd ym 1989 ac esbonnir y weithdrefn ar gyfer cael gwerthoedd rhyngosodedig yn y cyhoeddiad hwnnw: "Climatological data for Agricultural Land Classification"⁵.
- Cynhelir setiau data digidol LandIS gan Brifysgol Cranfield a rheolir mynediad at ddata pridd gan gytundeb rhwng Cranfield a Defra. Fel arfer, codir tâl am ddefnyddio'r data; yr isafswm tâl safonol yw tua £600 + TAW ar gyfer set ddata ddigidol (£225 o ffioedd breindal + £375 i baratoi a gweinyddu'r set ddata)⁶. I'r gwrthwyneb, mae set ddata hinsoddegol ALC ar gael am ddim ar wefan Natural England i'w lawrlwytho.
- Y pum paramedr amaeth-hinsoddol a ddefnyddir yn y system ALC (glawiad blyneddol cyfartalog, glawiad cyfartalog yr haf, hyd canolrifol capasiti'r cae, tymheredd cronedig canolrifol >0°C, Ionawr i Fehefin a'r tymheredd cronedig canolrifol >0°C, Ebrill i Fedi) a rhestrir y ffactorau cyfyngu

⁴ <https://www.cranfield.ac.uk/themes/environment-and-agrifood/landis>

⁵ <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/6493605842649088>

⁶ <http://www.landis.org.uk/data/datapricing.cfm>

cysylltiedig yn Nhabl 1. Lluniwyd y set ddata capasiti cae gan yr SSLRC yn seiliedig ar ddata'r Swyddfa Dywydd. Lluniwyd y setiau data eraill gan y Swyddfa Dywydd a'u prosesu gan yr SSLRC cyn eu hymgorffori yn LandIS. Hefyd, cedwir setiau data o uchder a newid mewn glawiad blynyddol cyfartalog gydag uchder (h.y. cyfradd newid AAR) ar LandIS i'w defnyddio wrth ryngosod o werthoedd pwyntiau grid i werthoedd safle.

Tabl 1. Paramedrau Amaeth-hinsoddol a ddefnyddir yn y system ALC. Ffynhonnell (Y Swyddfa Dywydd, 1989)

Ffactor Cyfyngu	Paramedr	Cyfnod arsylwi
Hinsawdd	Glawiad blynyddol cyfartalog (AAR) Tymheredd cronedig canolrifol >0°C, Ionawr i Fehefin (ATO)	1941-1970 1961-1980
Gwlybanaeth pridd	Hyd canolrifol dyddiau capasiti'r cae (FCD)	1941-1970
Sychder pridd	Cyfartaledd glawiad yr haf (Ebrill i Medi) (ASR) Tymheredd cronedig canolrifol >0 °C, Ebrill i Medi (ATS)	1941-1970 1961-1980

4.1 Ffynonellau data

4.1.1 Data glawiad

- Mae'r data glawiad cyfeirio ar gyfer ALC yn seiliedig ar gofnodion o sawl mil o fesuryddion glaw ar gyfer y blynyddoedd 1941-1970, sef y cyfnod safonol rhyngwladol pan gyhoeddodd y Swyddfa Dywydd set ddata hinsoddegol yr ALC.
- Noder, fodd bynnag, er bod tua 6,000 o orsafoedd yn cofnodi glawiad yn ystod y cyfnod 1941-1970, roedd data diffyg lleithder wedi'i seilio ar y c.1,000 o orsafoedd a oedd â chofnodion parhaus ar gyfer y cyfnod 1961-1975 yn unig (Jones a Thomasson, 1985).
- Roedd gwerthoedd AAR pwynt grid (mm) wedi'u rhyngosod o fapiau glawiad heb eu cyhoeddi ar raddfa o 1:250,000, yr oedd y map 1:625,000 a gyhoeddwyd ar gyfer 1941-70 wedi'i seilio arno'n wreiddiol (Y Swyddfa Dywydd, 1977). Roedd gwerthoedd ASR (mm) pwynt grid wedi'u rhyngosod â llaw o fap graddfa 1:625,000 heb ei gyhoeddi o law cyfartalog yr haf ar gyfer 1941-70.
- Defnyddir y gyfradd y mae glawiad yn newid gydag uchder (cyfradd newid) fel y gellir rhyngosod gwerthoedd pwynt grid OAR ar gyfer lleoliadau rhwng pwyntiau grid.

4.1.2 Data tymheredd

- Mae'r set ddata ATO ar gyfer yr ALC yn seiliedig ar ddata tymheredd o'r 94 o orsafoedd yn y Gronfa Ddata Agromet Gyflawn (Field, 1983), a oedd yn cynnwys cofnodion cyflawn gydol y cyfnod o 1961-1980. Cyfrifwyd tymhereddau cronedig ar gyfer y cyfnod o fis Ionawr i fis Mehefin bob blwyddyn ar gyfer pob gorsaf o fesuriadau dyddiol o'r tymheredd uchaf ac isaf a phenderfynwyd ar werth canolrifol ATO yn y cyfnod o 1961-80. Yna, cafodd y gwerthoedd canolrifol eu hallosod i bwyntiau grid drwy hafaliad atchweliad a oedd yn ymwneud â thymheredd cronedig, uchder, lledred (gogleddiad y Grid Cenedlaethol) a hydred (dwyreiniad y Grid Cenedlaethol). Defnyddiwyd yr hafaliad canlynol sy'n esbonio tua 90% o'r amrywiad mewn ATO ar gyfer y 94 o orsafoedd cofnodi amaethfeteorolegol:

$$\circ \quad \text{ATO (dydd graddau Celsius)} = 1708 - 1.14A - 0.023E - 0.044N$$

A yw uchder uwchlaw lefel gymedrig y môr (metrau)

E yw dwyreiniad y Grid Cenedlaethol i 100 m (pedwar ffigur arwyddocaol)

N yw gogleddiad y Grid Cenedlaethol i 100 m (pedwar ffigur arwyddocaol)

- Mae'r hafaliad yn dangos cyfradd newid yr AT0 fel $1.14^{\circ}\text{C}/\text{m}$ dydd.
- Crëwyd set ddata ATS (1961-80) yn uniongyrchol o set ddata AT0 gan ddefnyddio'r atchweliad llinelllog canlynol, sy'n esbonio mwy na 90% o'r amrywiad mewn ATS ar gyfer y 94 o orsafoedd:

$$\text{ATS (dydd graddau Celsius)} = 611 + 1.11\text{AT0} + 0.042\text{E}$$

AT0 yw gwerth AT0 pwynt grid

E yw dwyreiniad y Grid Cenedlaethol i 100 m (pedwar ffigur arwyddocaol)

- Mae Tabl 2, isod, yn dangos darn o'r setiau data grid a ddarperir ar gyfer croestoriadau 5 km o'r Grid Cenedlaethol.

Tabl 2. Dyfyniad o set ddata ALC (Ffynhonnell: Y Swyddfa Dywydd (1989)).

Allwedd i'r byrfoddau: SQ. Llythrennau ar gyfer sgwâr grid 100 km; E. Dwyreiniad y Grid Cenedlaethol ($\text{m} \times 10^2$); Gogleddiad y Grid Cenedlaethol ($\text{m} \times 10^2$); ALT. Uchder uwchlaw lefel gymedrig y môr (m); AAR. Glawiad blynyddol cyfartalog (1941-70, mm); LR. Cyfradd newid AAR (mm/m); ASR. Glawiad haf cyfartalog (1941-70, mm); AT0. Tymheredd cronedig uwchben 0°C (gwerth canolrifol, Ionawr i Fehefin 1961-80, $^{\circ}\text{C}$ dydd); ATS. Tymheredd cronedig uwchben 0°C (gwerth canolrifol, Ebrill i Fedi 1961-80, $^{\circ}\text{C}$ dydd); MDW. Diffyg lleithder gwenith gaeaf (mm); MDP. Diffyg lleithder tatws (mm); FCD. Hyd capasiti'r cae (gwerth canolrifol 1941-70, diwrnodau).

SQ	E	N	MAPREF	ALT	AAR	LR	ASR	AT0	ATS	MDW	MDP	FCD
NT	550	000	35506000	398	1546	0.7	650	908	1768	11	0	317
NT	600	000	36006000	282	1390	0.3	685	1040	1917	19	0	294
NT	600	050	36006050	290	1311	0.7	570	1028	1903	31	0	282
NT	650	000	36506000	341	1396	0.3	680	971	1842	13	0	296
NT	650	050	36506050	276	1303	0.6	590	1043	1922	30	0	281
NT	700	000	37006000	532	1290	0.8	670	752	1601	0	0	281
NT	700	050	37006050	368	1367	0.7	675	937	1806	11	0	294
NT	700	100	37006100	210	960	0.5	560	1115	2004	40	12	234
NT	750	000	37506000	330	1221	1.2	660	981	1857	17	0	272
NT	750	050	37506050	432	1196	0.9	670	863	1726	5	0	268
NT	750	100	37506100	324	1097	0.8	590	984	1861	25	0	258
NT	750	150	37506150	273	978	0.8	520	1040	1923	39	9	246
NT	750	350	37506350	46	704	0.5	360	1290	2200	87	72	182
NT	800	000	38006000	238	1050	1.0	570	1085	1975	37	7	249
NT	800	050	38006050	377	1108	0.6	640	924	1796	14	0	259
NT	800	100	38006100	446	1110	0.5	635	844	1707	7	0	261
NT	800	150	38006150	334	1071	0.5	580	969	1846	25	0	259
NT	800	200	38006200	276	1010	0.6	500	1033	1917	41	12	250
NT	800	250	38006250	185	919	0.8	415	1135	2030	63	41	234
NT	800	300	38006300	192	750	0.8	385	1124	2018	68	46	196
NT	800	350	38006350	107	718	0.5	365	1219	2124	80	62	186
NT	800	400	38006400	45	640	0.6	345	1288	2200	90	76	171
NT	850	000	38506000	297	974	0.7	540	1017	1902	35	4	241
NT	850	050	38506050	343	1061	0.4	600	962	1841	22	0	257
NT	850	100	38506100	419	1017	0.3	550	873	1742	20	0	250
NT	850	150	38506150	552	1077	0.3	630	719	1571	0	0	258
NT	850	200	38506200	267	1034	0.4	540	1042	1929	37	7	253
NT	850	250	38506250	295	997	0.5	475	1008	1892	43	14	249
NT	850	300	38506300	214	829	0.5	400	1098	1991	63	39	211
NT	850	350	38506350	95	702	0.4	365	1232	2140	81	64	182
NT	850	400	38506400	15	629	0.7	340	1321	2239	94	81	171
NT	850	450	38506450	54	692	1.0	340	1274	2187	90	75	181

4.2 Rhyngosod o bwyntiau grid

- Ar gyfer safleoedd nad ydynt wedi'u lleoli'n union ar bwynt grid 5 km, mae trefniant safonol ar gael yn LandIS i gyfrifo gwerth unrhyw baramedr hinsoddol drwy ryngosod o werthoedd pwyntiau grid cyfagos. Mae'r trefniant arferol yn addasu ar gyfer gwahaniaethau o ran uchder rhwng y safle a hyd at bedwar pwynt grid cyfagos, gan ddefnyddio'r gyfradd newid neu'r ffactor cywiro uchder priodol, ac yna'n rhyngosod drwy gyfrifo cymedr pellter pwysol. Pan fo safle'n disgyn yn union ar ddwyreiniad neu ogleddiad sy'n mynd drwy ddau bwynt grid, dim ond y ddau werth pwynt grid hynny y mae'r rhyngosodiad yn eu defnyddio. Nid yw gwerthoedd rhyngosodedig yn ystyried ffactorau microhinsoddol. Disgrifir y fethodoleg ar gyfer rhyngosod isod ac er yn gymhleth gellir cyfrifo â llaw:
 - Yr addasiad i AAR yw
 - $AAR_a = AAR_g + LR_AAR_g(ALT_s - ALT_g)$
AAR_a yw gwerth pwynt grid addasedig o ran uchder AAR (mm)
AAR_g yw'r gwerth pwynt grid AAR o'r set ddata (mm)
LR_AAR_g yw'r gwerth pwynt grid ar gyfer cyfradd newid AAR o'r set ddata (mm/m)
ALT_s yw uchder y safle (m)
ALT_g yw uchder y pwynt grid o'r set ddata.
 - Ac i addasu AT0:
 - $AT0_a = AT0_g + 1.14 (ALT_g - ALT_s)$
AT0_a yw gwerth pwynt grid addasedig o ran uchder AT0 (°C dydd)
AT0_g yw gwerth pwynt grid AT0 o'r set ddata (°C dydd)
Cyfradd newid o 1.14 o AT0 (°C/m dydd)
ALT_g yw uchder y pwynt grid o'r set ddata (m)
ALT_s yw uchder y safle (m)
 - Ar ôl cael gwerth addasedig o ran uchder, cyfrifir gwerth rhyngosodedig y safle mewn pedwar cam
 - Cyfrif y pellter rhwng y safle a phob pwynt grid cyfeirio
$$D_{sg} = \sqrt{(EAST_g - EAST_s)^2 + (NORTH_g - NORTH_s)^2}$$
D_{sg} yw'r pellter rhwng y safle a'r pwynt grid
EAST/NORTH_g yw'r dwyreiniad neu'r gogleddiad grid cenedlaethol ar gyfer y pwynt grid
EAST/NORTH_s yw'r dwyreiniad neu'r gogleddiad grid cenedlaethol ar gyfer y safle
Cyfeirnodau grid cenedlaethol i 100 m ar ffurf rifol llawn
 - Cyfrifo ffactor pellter gwrthdro wedi'i sgwario pob pwynt grid cyfeirio

$$W_g = \left[\frac{1}{D_{sg}} \right]^2$$

W_g yw'r ffactor pellter gwrthdro wedi'i sgwario ar gyfer y pwynt grid

D_{sg} yw'r pellter a gyfrifwyd o'r hafaliad blaenorol

- Cyfrifo ffactor pwysoli pellter ar gyfer pob pwynt grid cyfeirio

$$W_p = \frac{W_g}{W_t}$$

W_p yw'r ffactor pwysoli pellter ar gyfer y pwynt grid

W_g yw'r ffactor pellter gwrthdro wedi'i sgwario o'r hafaliad blaenorol

W_t yw swm gwerthoedd W_g ar gyfer pob pwynt grid cyfeirio (hyd at 4)

- Cael amcangyfrif y safle ar gyfer AAR neu AT0 drwy gyfrifo cymedr pellter pwysol pwyntiau grid cyfeirio

$$V_s = V_{g1} W_{p1} + V_{g2} W_{p2} + V_{g3} W_{p3} + V_{g4} W_{p4}$$

V_s yw gwerth safle rhyngosodedig AAR neu AT0

V_{g1} - V_{g4} yw gwerthoedd pwynt grid addasedig o ran uchder AAR/AT0 ($AT0_a$, AAR_a)

W_{p1} - W_{p4} yw ffactorau pwysoli pellter ar gyfer pwyntiau grid o hafaliad blaenorol.

4.2.1 Rhyngosod ar gyfer diffyg lleithder (MD)

- Mae'r gyfradd newid ar gyfer AT0 yr un fath ag ar gyfer ATS (h.y. 1.14 diwrnod °C/m dydd); ond nid oes cyfradd newid sefydledig ar gyfer ASR, sydd ychydig yn llai dibynnol ar uchder nag AAR. Y rheswm am hyn yw bod cyfran uwch o lawiad yn yr haf yn digwydd o ganlyniad i ddarfudiad oherwydd gwres differol. O ganlyniad, mae dull y Swyddfa Dywydd ar gyfer addasu MD yn defnyddio AAR ac AT0 yn lle ASR ac ATS:

- $MD_x = B_0 + B_1 AAR_g + B_2 AT0_g$

MD_x yw'r MD sy'n deillio o AAR/AT0 ar y pwynt grid (mm)

AAR_g yw gwerth pwynt grid yr AAR a gafwyd o'r set ddata (mm)

$AT0_g$ yw gwerth pwynt grid AT0 a gafwyd o'r set ddata (°C dydd)

Mae B_0 , B_1 a B_2 yn gyson

- Yn yr un modd, ar gyfer yr un pwynt grid i addasu ar gyfer uchder y safle:

- $MD_{xa} = B_0 + B_1 [AAR_g + LR_AAR_g (ALT_s - ALT_g)] + B_2 [AT0_g + 1.14 (ALT_g - ALT_s)]$

MD_{xa} yw'r MD sy'n deillio o AAR/AT0 addasedig o ran uchder

AAR_g yw gwerth pwynt grid yr AAR a gafwyd o'r set ddata (mm)

LR_AAR_g yw gwerth pwynt grid cyfradd newid AAR o'r set ddata (mm/m)

ALT_s yw uchder y safle

ALT_g yw uchder y pwynt grid a gafwyd o'r set ddata (m)

$AT0_g$ yw gwerth pwynt grid $AT0$ a gafwyd o'r set ddata ($^{\circ}C$ dydd)

1.14 yw cyfradd newid $AT0$ ($^{\circ}C/m$ dydd)

Mae B_0 , B_1 a B_2 yn gyson

- Y gwahaniaeth rhwng y ddau hafaliad yw'r addasiad uchder (C) i'w gymhwyso i werth pwynt grid o'r set ddata:
 - $C = MD_x - MD_{xa}$. Mae'r hafaliad yn symleiddio i
 - $C = B_1 [LR_AAR_g (ALT_s - ALT_g)] + B_2 [1.14 (ALT_g - ALT_s)]$
Ar gyfer gwenith gaeaf $B_1 = -0.07$ a $B_2 = +0.09$
Ar gyfer tatws $B_1 = -0.09$ a $B_2 = +0.12$
- Yn olaf, ar gyfer gwenith gaeaf MD ($MDMWHT$) neu datws ($MDMPOT$), sef y ddau gnwd a ddefnyddir mewn cyfrifiadau sychder ALC:
 - $MDMWHT_a = MDMWHT_g + C_w$ neu $MDMPOT_a = MDMPOT_g + C_p$
 $MDMWHT_a/MDMPOT_a$ yw gwerth addasedig o ran uchder gwenith neu datws MD (mm)
 $MDMWHT_g/MDMPOT_g$ yw gwerth pwynt grid gwenith neu datws MD o'r set ddata (mm)
 C_w/C_p yw'r ffactor addasu ar gyfer y gwahaniaeth o ran uchder rhwng y pwynt grid a'r safle (mm)
 $C_w = -0.07 [LR_AAR_g (ALT_s - ALT_g)] + 0.09 [1.14 (ALT_g - ALT_s)]$
 $C_p = -0.09 [LR_AAR_g (ALT_s - ALT_g)] + 0.12 [1.14 (ALT_g - ALT_s)]$
 - LR_AAR_g yw gwerth pwynt grid cyfradd newid AAR a gafwyd o'r set ddata (mm/m)
 - ALT_s yw uchder y safle (mm).
 - ALT_g yw uchder y pwynt grid a gafwyd o'r set ddata (m)
 - 1.14 yw cyfradd newid $AT0$ ($^{\circ}C/m$ dydd)
- I grynhoi, mae'r set ddata hinsoddol ALC bresennol (er ei bod wedi'i dyddio) yn darparu ffynhonnell ddata unigol, sy'n hwyluso cymhariaeth rhwng safleoedd (h.y. mae gan bob safle sy'n ALC Gradd 1 yr un graddau o gyfyngiad, e.e. ar gyfer Gradd 1, dim cyfyngiadau neu gyfyngiadau bach iawn oherwydd yr hinsawdd). Mae profiad (o'r system ALC) dros y 30+ mlynedd diwethaf wedi cadarnhau hefyd fod y set ddata hinsoddol bresennol yn darparu mynegeion safonol ar gyfer gwlybanaeth a sychder, yn hytrach na rhagfynegi gwlybanaeth neu sychder mewn priddoedd ar gyfer unrhyw gyfnod.
- Yn y gorffennol, byddai mapiau neu ddata gorsafoedd tywydd wedi'u defnyddio i amcangyfrif paramedrau hinsoddol ar safle. Fodd bynnag, roedd y dehongliad â llaw o fapiau ac allosod data (heb ganllawiau penodol) yn dibynnu ar benderfyniadau goddrychol ac felly roeddent yn llai cywir na'r defnydd presennol o'r set ddata gyfeirio unigol. Isod, trafodir addasrwydd y set ddata gyfredol, sy'n fwy na 40 oed, o ystyried newidiadau diweddar i'r hinsawdd yng Nghymru a Lloegr.

5 Addasrwydd set ddata hinsawdd bresennol yr ALC

- Mae set ddata hinsawdd bresennol yr ALC yn seiliedig ar ddata o 1941-1970 (glawiad) neu 1961-1980 (tymheredd); o ystyried ei bod yn fwy na 40-50 oed, mae'n bosibl nad yw'n gynrychioliadol o'r amodau hinsoddol presennol. Mae setiau data'r ALC wedi'u hadolygu ar dri achlysur, yn y 1990au a 2004 gan ADAS ac yn fwy diweddar gan Keay *et al.* (2014).

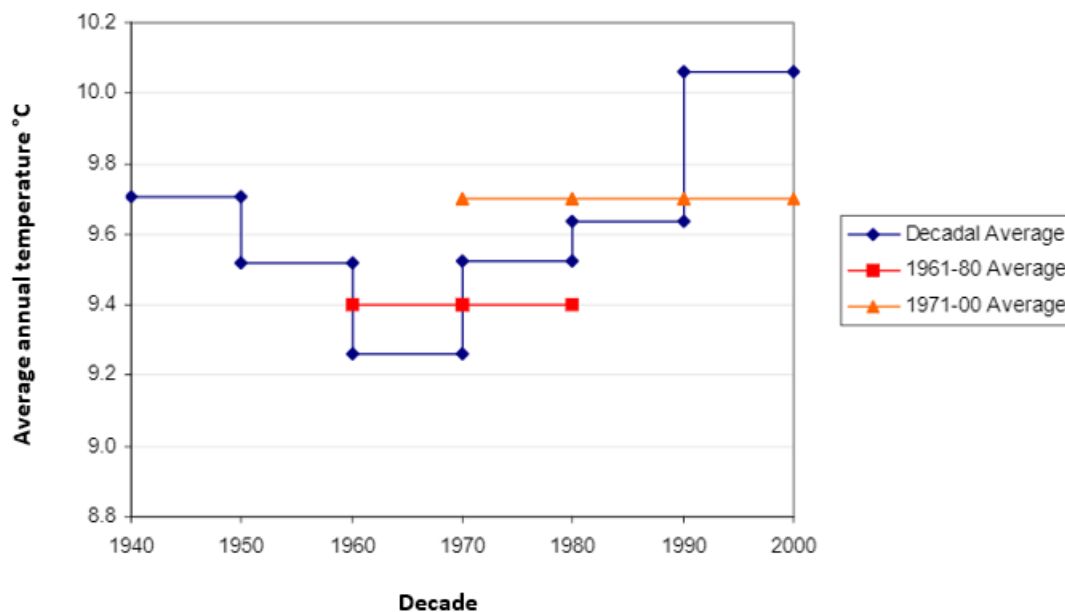
5.1 Adolygiad ADAS (2004) o ddata hinsawdd yr ALC

- Yn 2004, adolygodd ADAS y data hinsoddegol a ddefnyddir ar hyn o bryd yn yr ALC yn dilyn ail-gyfrifo'r cyfartaleddau hinsawdd yn y DU gan y Swyddfa Dywydd ar gyfer y cyfnod 1971-2000. Yn ogystal â'r cyfartaleddau yn y gorsafoedd, cyfrifodd y Swyddfa Dywydd lawiad a thymheredd misol ar grid rheolaidd gydag chroestoriadau 1 km yn cwmpasu'r DU hefyd (Perry a Hollis, 2005). Mabwysiadodd y set ddata ddiwygiedig egwyddor 'rhyngosod ac yna cyfrifo' gan wneud yr holl ryngosodiadau ar y cyfartaleddau hinsawdd. I'r gwrthwyneb, mae set ddata bresennol yr ALC (a ddisgrifir uchod) yn defnyddio egwyddor 'cyfrifo yna rhyngosod' lle cyfrifwyd AT0, er enghraifft, ar gyfer is-set o orsafoedd tywydd cyn cael eu rhyngosod ledled Cymru a Lloegr.

5.1.1 Newidiadau mewn tymheredd

- Mae cyfartaleddau tymheredd yn set ddata'r ALC yn seiliedig ar y cyfnod 1961-1980. Byddai newid yn y tymheredd yn effeithio ar sawl paramedr a ddefnyddir yn yr ALC, h.y. AT0, ATS a diffygion lleithder ar gyfer gwenith a thatws y gaeaf. Byddai cynnydd yn y tymheredd yn arwain at gynnydd net yn yr holl baramedrau sy'n gysylltiedig â'r tymheredd. Dangosodd data a adolygwyd gan ADAS (2004) fod y tymor tyfu thermol ar gyfer planhigion (nifer y diwrnodau rhwng rhew diwethaf y gwanwyn a rhew cyntaf yr hydref) yng nghanolbarth Lloegr wedi ymestyn tua mis ers 1900, roedd tonnau gwres yn yr haf yn digwydd yn amlach ac roedd gaeafau wedi troi'n wlypach o gymharu â hafau ledled y DU. Degawd 1991-2000 oedd y cynhesaf yn y cyfnod gyda thymheredd o 10.1°C (Tymheredd Canolbarth Lloegr⁷) ac roedd yn gynnydd o 0.8°C uwchlaw'r degawd oeraf (1961-70) gyda'r duedd yn dal i godi (Ffigur 5). Mae'r tymheredd cyfartalog dros ddau ddegawd neu fwy yn lleihau'r cynnydd ymddangosiadol gyda chyfnod 1971-2000 tua 0.3°C yn gynhesach na chyfnod amser presennol yr ALC yn 1961-80. Bydd hyn yn cael yr effaith fwyaf ar AT0 ac ATS gan y byddai hyd yn oed cynnydd o 0.3°C yn arwain at gynnydd o ddyddiau 55°C neu gynnydd o 4% ar gyfanswm AT0 nodweddiadol o ddyddiau 1,350°C (ADAS, 2004).

⁷ Mae Tymheredd Canolbarth Lloegr (CET) yn cynrychioli ardal drionglog o'r DU yn fras sydd wedi'i hamgáu gan Swydd Gaerhirfryn, Llundain a Bryste. Cronfa ddata CET yw'r cofnod offerynnol hwyaf o dymheredd yn y byd.



Ffigur 5. Cyfartaleddau degawdol o Dymheredd Canolbarth Lloegr (Ffynhonnell: ADAS (2004)).

- Awgrymodd ADAS (2004) ddull newydd o gael AT0 ac ATS, yn seiliedig ar y tymheredd cronedig misol cymedrig uwchben 0°C,
 - $AT_j = (0.42 + 0.49 (Tx_j) + 0.48 (Tn_j)) \times \text{diwrnod}$

Lle mai ATj yw'r tymheredd cymedrig dyddiol ar gyfer mis j, Txj a Tnj yw'r tymheredd aer cymedrig misol uchaf ac isaf ac mae a, b ac c yn gysonion atchweliad. $r^2 = 99\%$ a gwall safonol = 0.13°C.

Er mwyn cyfrifo AT0, crynhowyd yr hafaliad ar gyfer mis Ionawr i fis Mehefin ac ar gyfer ATS, ar gyfer mis Ebrill i fis Medi.

Awgrymodd ADAS (2004) fod gan y dull hwn ddwy brif fantais dros y dull ALC a ddisgrifir uchod. Yn gyntaf, gellir cymhwyso'r hafaliad yn uniongyrchol i'r gwerthoedd rhyngosodedig ar gyfer tymheredd aer cymedrig misol uchaf ac isaf. Yn ail, mae dibyniaeth flaenorol y cyfrifiad ATS ar werth AT0 wedi'i ddileu.

5.1.2 Newidiadau mewn glawiad

- Mae cyfartaleddau glawiad yn set ddata hinsawdd ALC yn seiliedig ar y cyfnod 1941-1970. Byddai amrywiadau yng nghyfanswm y glawiad yn ogystal â phatrwm y glawiad yn cael effaith ar baramedrau dibynnol y glawiad. Mae'r rhain yn cynnwys Diwrnodau Capasiti'r Cae (FCD) gan y byddai glawiad cyfartalog yr haf (ASR) a glawiad cyfartalog y gaeaf (AWR) yn arwain at newid mewn FCD. Cyfrifir diffygion lleithder gan ddefnyddio ASR ac felly byddent yn cael eu heffeithio hefyd. Dangosodd cymhariaeth o AAR 1961-1990 a 1941-1970 nad oedd llawer o amrywiad cyffredinol ($\pm 2\%$) ADAS (2004), er bod cynnydd nodedig yng nglawiad mis Mawrth (+16 i +36% yn dibynnu ar y rhanbarth) a gostyngiadau ym mis Gorffennaf/Awst (-5 i -22% yn dibynnu ar y rhanbarth).

5.2 Adolygiad Keay et al (2014) o newidiadau mewn ALC o ganlyniad i newid yn yr hinsawdd

- Asesodd Keay *et al.* (2014) sut y gallai newidiadau yn yr hinsawdd yn y dyfodol effeithio ar amaethyddiaeth yng Nghymru a Lloegr gan ddefnyddio'r system ALC fel mesur dirprwyol. Roedd yr astudiaeth yn canolbwyntio ar y cyfnod 1961-1990 i gynhyrchu llinell sylfaen a oedd yn sail i'r cydberthnasau i'w cymhwyso i'r senarios newid hinsawdd yn y dyfodol. Ymchwiliwyd i ddeuddeg senario newid hinsawdd UKCP09 sef y senarios allyriadau canolog, uchel ac isel ar gyfer y cyfnodau 2020, 2030, 2050 a 2080.
- Defnyddiodd Keay *et al.* (2014) ddata'r Swyddfa Dywydd o 1914 i 2000 i gyfrifo paramedrau hinsawdd ALC ar gyfer chwe chyfnod o 30 mlynedd, 1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990 a 1971-2000 (cyfeiriodd yr awduron at hyn fel set ddata UKCP09), Tabl 3. Yna cyfrifwyd gradd ALC ar gyfer pob cyfnod i asesu sut yr effeithiodd newidiadau ym mharamedrau'r hinsawdd ar gyfran y tir amaethyddol a ddyrannwyd i bob gradd.

5.2.1 Glawiad a thymheredd

- Roedd AAR yn amrywio, ar gyfartaledd, dim ond 30 mm (13-74 mm) dros y chwe chyfnod (1921-1950, 1931-1960, 1941-1970, 1951-1980, 1961-1990 a 1971-2000) a nododd yr awduron nad oedd y patrwm glawiad cyffredinol yng Nghymru a Lloegr wedi newid yn sylweddol dros y cyfnod hwn. O'i gymharu, dangosodd y Tymheredd Cronedig uwchben 0°C (Ionawr-Mehefin) duedd gyffredinol ar i fyny, ar gyfartaledd, 61°C (amrediad 24-104) dros y cyfnod cyfan o 1914-2000. Mae crynhoi'r hinsawdd ar gyfer yr 20 mlynedd 1981-2000, yn rhoi AAR cymedrig o 913 mm (i fyny 20 mm o 1971-2000) ac AT0 cymedrig o 1438°C o ddiwrnodau (i fyny 57°C o ddiwrnodau).
- Yn gyffredinol, rhagwelwyd y bydd yr AAR yn parhau'n sefydlog ar gyfer senarios hinsawdd yn y dyfodol. Fodd bynnag, rhagwelwyd cynnydd mewn AT0 a fyddai'n arwain at y radd ALC (yn ôl hinsawdd) yn gwella gyda chyfran Cymru a Lloegr yng ngradd 1 yn cynyddu o bosibl o 58% ym 1961-90 i dros 90% yn 2070-99.

5.2.2 Sychder

- Yn yr ALC, cyfrifir yr asesiad o sychder ar gyfer dau gnwd cynrychioliadol ar hyn o bryd: gwenith gaeaf a thatws prif gnwd. Mae swm y dŵr sydd ar gael yn y pridd (sy'n cael ei effeithio gan ddyfnder, gwead, strwythur, math (mwynol, organig neu fawnog), cynnwys o ran cerrig a deunydd organig y pridd) yn cael ei wrthbwyso gan y diffyg lleithder (MD) a gyfrifir fel y cydbwysedd rhwng y glawiad yn y pridd a'r anweddiad o'r pridd, ynghyd â'r trydarthiad o blanhigion cnydau.
- Nododd Keay *et al.* (2014) mai sychder oedd y ffactor mwyaf cyfyngol ar oddeutu 30% o safleoedd rhwng 1921 a 2000 yn gyffredinol (ar gyfer Cymru a Lloegr); mewn cyferbyniad gwlybanaeth oedd y ffactor mwyaf cyfyngol ar tua 55% o safleoedd (set ddata UKCP09). Yn yr un modd, dangosodd y set ddata wreiddiol (Y Swyddfa Dywydd, 1989) mai sychder oedd y ffactor mwyaf cyfyngol ar 27% o safleoedd o'i gymharu â 56% o safleoedd lle mai gwlybanaeth oedd y ffactor mwyaf cyfyngol.
- Ar hyn o bryd, anaml mai sychder yw'r ffactor mwyaf cyfyngol ar gyfer ALC yng Nghymru, er y gallai hyn newid dros amser. Rhagwelir y bydd glawiad yr haf yn lleihau'n sylweddol yn ne a dwyrain Lloegr a dwyrain Cymru. Yn ogystal, rhagwelir y bydd tymheredd yr haf yn cynyddu'n sylweddol ac erbyn 2080 mae'n debygol y bydd y wlad i gyd bron iawn yn gynhesach na'r rhan boethaf heddiw. Byddai'r cyfuniad hwn o hafau sychach a chynhesach yn dwysáu i gynyddu'r risg o sychder yn cyfyngu ar gynhyrchu amaethyddol yn y dyfodol. Nododd Keay *et al.* (2014), ar gyfer data hinsawdd sylfaenol ALC (1961-1990), fod bron i 70% o'r tir yn ALC Gradd 1 neu 2 o ran

sychder. O'i gymharu â senario uchel UKCP09 2080 ar gyfer newid yn yr hinsawdd, rhagwelir y bydd y rhan fwyaf o dir yn ALC Gradd 4 o ran sychder; mae'r data'n awgrymu y bydd y prif newidiadau mewn gradd yn digwydd ar ôl 2030 felly ystyrir bod yr ALC yn addas i'r diben ar hyn o bryd. (Ffigur 6). Yn seiliedig yn unig ar y meini prawf sychder, gostyngodd swm y tir yng Ngradd 1 o 37% ym 1961-1990 i 7% erbyn 2080 (senario allyriadau uchel) tra cynyddodd swm y tir yng Ngradd 4 o 2% i 66% o Gymru a Lloegr. Gan fod y radd ALC gyffredinol yn cael ei diffinio gan y ffactor mwyaf cyfyngol, y canlyniad yw bod ardal fawr iawn o Gymru a Lloegr yn cael ei hisraddio i Radd 4.

- Fodd bynnag, nodwch mai dim ond i nodi tueddiadau nid meintiau absoliwt neu union leoliadau unrhyw newid y gellir defnyddio gwaith Keay *et al.* (2014) ac ni ddylid dehongli'r canlyniadau ar raddfa leol. Cynhaliwyd y gwaith o fodelu effaith newid yn yr hinsawdd (gan gynnwys newidiadau i sychder) ar gyfer c.5800 pwynt ar groestoriadau grid 5 km lle casglwyd data safle penodol o ansawdd da ar gyfer y Rhestr Bridd Genedlaethol rhwng 1978 a 1983. Nid yw'r graddau ar gyfer Cymru a Lloegr i gyd wedi'u pennu.

Tabl 3. Ystadegau cryno o bamedrau amaeth-hinsoddol ar gyfer Cymru a Lloegr ar gyfer cyfnodau hinsoddol deng mlynedd ar hugain 1921-1950 i 1971-2000 o'i gymharu â set ddata hinsoddol ALC (data gwreiddiol). Ffynhonnell: Keay *et al.*, 2014

Agroclimatic Parameter	1921-50	1931-60	1941-70	1951-80	1961-90	1971-2000	Original data
AAR (mean) mm	909	904	899	890	879	893	907
AAR (min) mm	488	496	510	524	507	498	525
AAR (max) mm	3852	3754	3757	3854	4134	4199	3938
AAR (sd) mm	375	366	364	353	357	369	371
AT0 (mean) °C days	1381	1381	1339	1314	1321	1381	1348
AT0 (min) °C days	586	596	555	538	540	555	480
AT0 (max) °C days	1816	1814	1772	1732	1704	1767	1664
AT0 (sd) °C days	168	158	157	158	159	164	153
FCD (mean) days	190	189	188	187	186	187	190
FCD (min) days	83	85	86	86	82	81	85
FCD (max) days	365	365	365	365	365	365	365
FCD (sd) days	64	63	63	62	62	63	64
MDMWHT (mean) mm	91	92	89	89	92	96	86
MDMWHT (min) mm	0	0	0	0	0	0	0
MDMWHT (max) mm	152	153	146	139	143	148	133
MDMWHT (sd) mm	32	32	32	30	30	30	31
MDMPOT (mean) mm	80	82	78	77	81	86	73
MDMPOT (min) mm	0	0	0	0	0	0	0
MDMPOT (max) mm	160	160	152	142	145	153	133
MDMPOT (sd) mm	38	38	37	36	35	36	36
ATS (mean) °C days	2321	2342	2326	2295	2301	2338	2281
ATS (min) °C days	1374	1378	1363	1352	1343	1374	1299
ATS (max) °C days	2754	2762	2754	2714	2711	2753	2552
ATS (sd) °C days	193	191	191	188	185	189	182
RAIN Jan (mean) mm	95	91	86	86	88	92	91
RAIN Feb (mean) mm	68	67	64	65	63	66	62
RAIN Mar (mean) mm	54	57	58	64	71	72	62
RAIN Apr (mean) mm	58	54	57	55	58	59	69
RAIN May (mean) mm	63	62	65	62	62	58	67
RAIN Jun (mean) mm	55	60	60	62	62	64	62
RAIN Jul (mean) mm	78	77	72	68	60	55	70
RAIN Aug (mean) mm	80	80	88	82	74	70	80
RAIN Sep (mean) mm	76	78	81	80	76	78	84
RAIN Oct (mean) mm	93	90	82	79	84	90	75
RAIN Nov (mean) mm	100	99	96	94	89	91	99
RAIN Dec (mean) mm	88	88	89	93	93	99	87

- Y cyfnod sylfaen presennol yw 1981-2010, a fydd yn cael ei ddisodli cyn bo hir gan y cyfnod 1991-2020.

5.3 Cymharu dulliau

- Cymharodd Keay *et al.* (2014) dri dull ar gyfer cyfrifo tymereddau cronedig o fis Ionawr i fis Mehefin (AT0) ac o fis Ebrill i fis Medi (ATS) sef y dull '1988 gwreiddiol' (MAFF, 1988), 'dull 2004' (ADAS, 2004) a 'dull 2010' gwell (Tabl 4). Cymhwyswyd pob dull i'r un set ddata 1961-1990 ac i ddeuddeg senario hinsawdd UKCP09 ar gyfer 2020, 2050 a 2080 o dan senarios allyriadau isel, canolog ac uchel. Cymharwyd yr amcangyfrifon deilliedig o dymereddau cronedig â'r tymheredd cronedig a welwyd/gwirioneddol ar gyfer pob un o'r gorsafoedd ar gyfer y cyfnod rhwng 1961 a 1990. Dangosodd y gymhariaeth fod dull 1988 yn tanamcangyfrif y tymereddau cronedig ar gyfer AT0 (-102°C) ac ATS (-40°C), tra bod amcangyfrifon dull 2004 a 2010 yn agosach at y tymheredd cronedig mesuredig (Tabl 5). Roedd y gwall sgwâr cymedrig isradd (mesur o'r graddau y mae data

wedi'i grynhoi o amgylch y llinell ffit orau, mae gwerthoedd is yn dangos ffit well) fwyaf ar gyfer dull 1988 hefyd. Yn ôl y disgwyl, roedd dull '2010' yn perfformio'n well na'r dulliau eraill, gan fod y berthynas a ddefnyddiwyd yn deillio o ddata'r un 29 o orsafoedd.

Tabl 4. Dulliau ar gyfer cyfrifo tymheredd cronedig (Ffynhonnell: Keay *et al.*, 2014).

Year	Parameter	Equation	Summary
1988	Accumulated temperature (January to June)	$1708 - 1.14(A) - 0.023(E) - 0.044(N)$	A is the altitude (m) at the grid intersection E is the national grid Easting (EEEE) N is the national grid Northing (NNNN)
	Accumulated temperature (April to September)	$611 + 1.11(AT0) + 0.042(E)$	
2004	Daily Mean Accumulated Temperature	$ATj = (0.42 + 0.49(Txj) + 0.48(Tnj)) * NDIM$	ATj is the daily mean accumulated temperature for month j (°C days) Txj is mean maximum daily temperature for month j Tnj is mean minimum daily temperatures for month j NDIM is the number of days in the month
2010	Daily Mean Accumulated Temperatures	$ATj > 0^{\circ}\text{C} = (0.4476 + (0.4854 * Tmax) + (0.4804 * Tmin)) * NDIM$	ATj is mean monthly accumulated temperature above 0 °C for month j Tmax is daily mean maximum temperature for month j Tmin is the daily mean minimum temperature for month j

Tabl 5. Roedd tueddiadau cymedrig a gwallau sgwâr cymedrig isradd (RMSE) dulliau 1988, 2004 a 2010 o'u cymharu â data mesuredig o a) 29 o orsafoedd tywydd ar gyfer y cyfnod 1961-1990 a b) o'i gymharu â 7 gorsaf dywydd annibynnol (Ffynhonnell: Keay *et al.*, 2014).

	Tymheredd cronedig (Ebrill i Fedi)			Tymheredd cronedig (Ebrill i Fedi)		
	<i>Dull 2010</i>	<i>Dull 2004</i>	<i>Dull 1988</i>	<i>Dull 2010</i>	<i>Dull 2004</i>	<i>Dull 1988</i>
Tuedd gymedrig	-1.64	8.43	-101.8	-1.18	3.73	-39.8
RMSE	7.00	10.7	147.6	14.3	15.1	118.3
Tuedd gymedrig	-6.45	5.44	-363.5	-6.45	-0.57	-165.3
RMSE	18.9	16.9	449.9	14.3	12.0	201.5

- Nododd Keay *et al.* (2014) wrth allosod yr hafaliadau diffyg lleithder pridd gwreiddiol ar gyfer gwenith gaeaf a thatws prif gnwd (yn seiliedig ar ATS ac ASR) i'r dyfodol, bod y canlyniadau'n eithafol; erbyn 2080 aseswyd Cymru a Lloegr i gyd ar $\leq$ ALC Gradd 4. O ganlyniad, defnyddiodd yr awduron ddata System Cyfrifo Glawiad ac Anweddiad y Swyddfa Dywydd (MORECS) i asesu rhagfynegiadau o ddifffyg lleithder pridd yn y dyfodol. Rhoddir manylion yr hafaliadau diwygiedig yn Nhabl 6, isod.

Tabl 6. Hafaliadau ar gyfer cyfrifo diffyg lleithder pridd ar gyfer gwenith gaeaf (WWSMD) a thatws prif gnwd (MCPSMD) a thymheredd misol cyfartalog yr haf (AMST) (Ffynhonnell: Keay *et al.*, 2014).

Paramedr	Hafaliad	R ²
WWSMD	$271.4754 + (-168.802 \times \text{glawiad LOG10}) + (10.00217 \times \text{tymheredd})$	0.91
MCPSMD	$337.8238 + (-185.614 \times \text{glawiad LOG10}) + (5.849057 \times \text{tymheredd})$	0.90
AMST	$0.00547 \times \text{ATS} - 0.04$	0.999

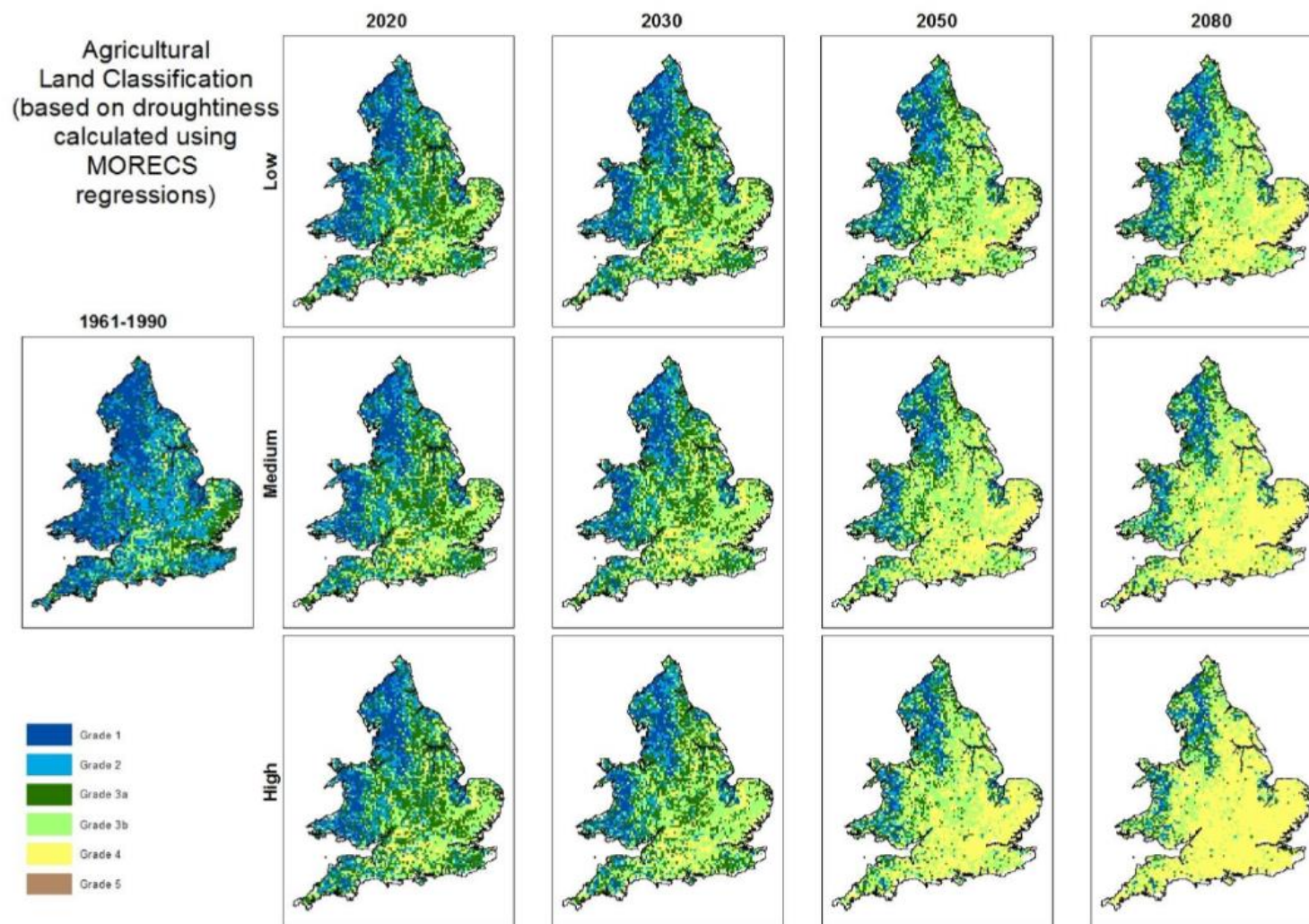
- Cyfrifwyd y newidynnau glawiad a thymheredd deilliedig a'u cymharu â'r gwerthoedd diffyg lleithder a gyhoeddwyd yn wreiddiol (Y Swyddfa Dywydd, 1989). Mae'r canlyniadau'n dangos bod gan hafaliad rhagfynegol newydd MORECS ar gyfer gwenith gaeaf r^2 cryf o 0.99. Fodd bynnag, roedd y berthynas yn llai cryf ar gyfer tatws prif gnwd (r^2 o 0.94), a fyddai'n arwain at ddefnyddio terfynau dosbarthu gwahanol ar gyfer yr un lefelau o sychder. Cafodd y dosbarthiad gwreiddiol ei ddilysu gan arbenigwyr yn y maes a dylid ystyried ei fod mor gywir ag oedd yn bosibl ar y pryd. O ganlyniad, awgrymodd Keay *et al.* (2014) ffactor cywiro i'r terfynau gradd ar gyfer tatws (Tabl 7).

Tabl 7. Gradd ALC ar gyfer sychder ar gyfer tatws (terfynau cydbwysedd lleithder, mm) fel y'u cyhoeddwyd gan MAFF, 1988 a throthwyon a gynigiwyd gan Keay *et al.* (2014).

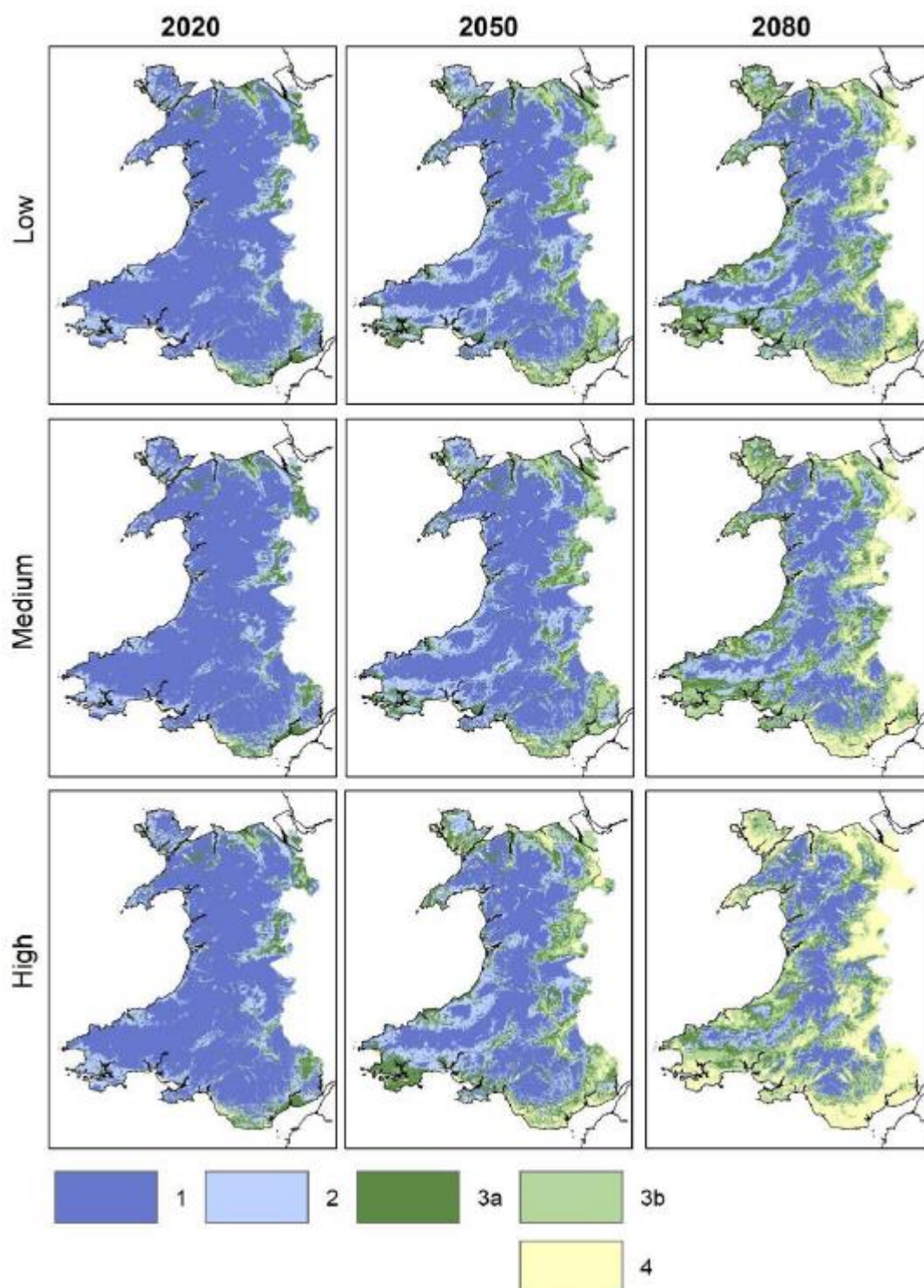
Gradd ALC	MAFF, 1988	Keay <i>et al.</i> (2014)
1	10	17
2	-10	3
3a	-30	-12
3b	-55	-30

- Yn fwy diweddar, ailadroddodd Keay a Hannam (2020) yr asesiad o effaith newid yn yr hinsawdd ar feini prawf sychder (ar gyfer Cymru yn unig) gan ddefnyddio setiau data UKCP18⁸. Fel y nodwyd o'r blaen, nid oedd y rhan fwyaf o Gymru wedi'i chyfyngu gan sychder yn yr asesiad llinell sylfaen nac wrth ddefnyddio rhagfynegiadau 2020 (Ffigur 7). Fodd bynnag, mae rhagfynegiadau'n awgrymu y byddai llawer o ardaloedd yng Nghymru yn cael eu hisraddio 1-2 ddosbarth gan gyfyngiadau sychder erbyn 2050 a 2080, yn enwedig yn y gororau, Sir Benfro, Ynys Môn a'r Gogledd (Ffigur 8).

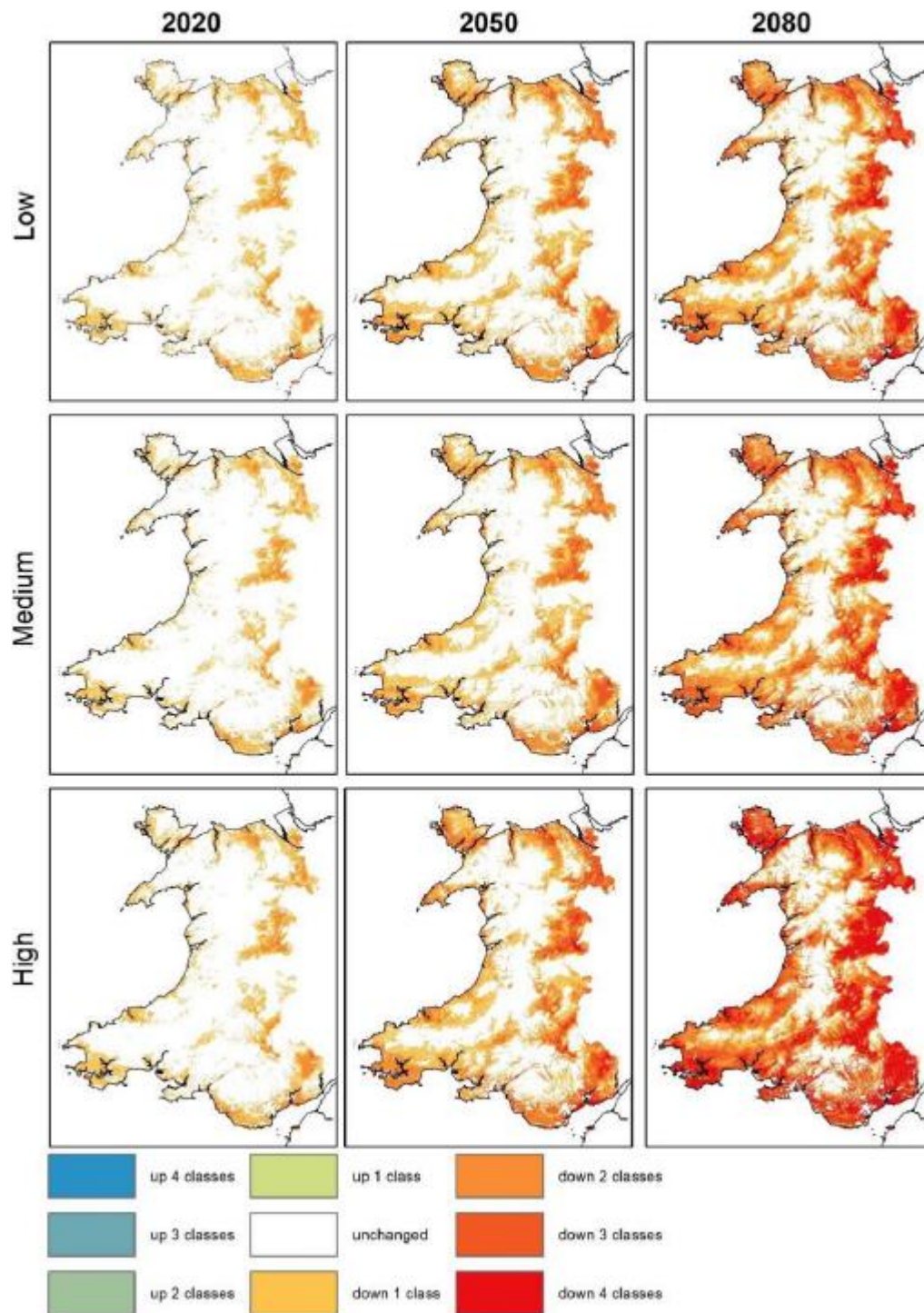
⁸ Mae rhagfynegiadau newid yn yr hinsawdd UKCP18 yn cynrychioli cyfartaledd o 30 mlynedd: mae modelau 2020 ar gyfer allyriadau isel, canolig ac uchel yn cynrychioli'r cyfnod rhwng 2010 a 2039; mae modelau 2050 yn cynrychioli 2040-2069; a 2080 yn cynrychioli'r cyfnod 2070-2099. Mae'r senario allyriadau isel yn rhagweld cynhesu o 1.8°C erbyn 2100, wedi'i fodelu o Lwybr Crynodiad Cynrychioliadol (RCP) 4.5, sy'n cynrychioli senario o allyriadau nwyon tŷ gwydr byd-eang (GHG) sy'n cyrraedd uchafbwynt oddeutu'r flwyddyn 2040, ac yna'n gostwng. Mae'r senario allyriadau canolig yn rhagweld cynhesu o 2.2°C erbyn 2100, wedi'i fodelu o RCP 6.0, sy'n cynrychioli allyriadau nwyon tŷ gwydr byd-eang yn cyrraedd uchafbwynt oddeutu'r flwyddyn 2080, ac yna'n gostwng. Mae'r senario allyriadau uchel yn rhagweld cynhesu o 3.7°C erbyn 2100, wedi'i fodelu o RCP 8.5, sy'n cynrychioli senario lle mae allyriadau nwyon tŷ gwydr yn parhau i godi drwy gydol yr 21ain Ganrif (Lowe *et al.*, 2018).



Ffigur 6. Gradd ALC yn seiliedig ar feini prawf sychder yn unig gan ddefnyddio atchweliad newydd MORECS a dosbarthiad tatws wedi'i addasu ar y safleoedd NSI ac amcanestyniadau UKCP09 ar gyfer 2020, 2030, 2050 a 2080.



Ffigur 7. Gradd ALC yn ôl sychder i Gymru o dan senarios RCP isel, canolig ac uchel UKCP18 ar gyfer 2020, 2050 a 2080 (Ffynhonnell: Keay a Hannam, 2020).



Ffigur 8. Newidiad yn y radd ALC yn ôl sychder (o'r llinell sylfaen) ar gyfer Cymru o dan senarios RCP isel, canolig ac uchel UKCP18 ar gyfer 2020, 2050 a 2080 (Ffynhonnell: Keay a Hannam, 2020).

5.4 Casgliadau ar gyfer addasrwydd data hinsawdd

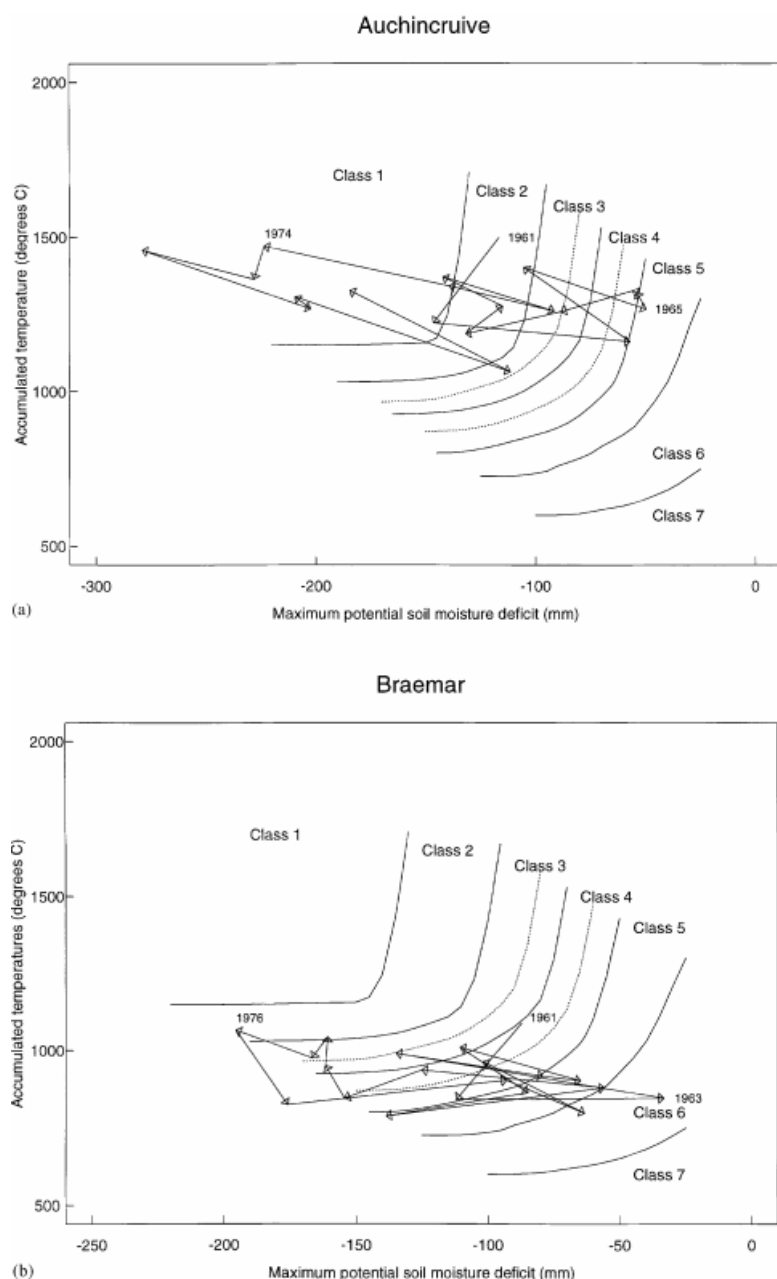
- Mae graddio ALC yn ôl ffactorau hinsoddol yn unig yn seiliedig ar y rhagdybiaeth mai po gynhesaf a sychaf yw'r hinsawdd y gorau yw'r Radd. Fodd bynnag, wrth i'r hinsawdd newid mae rhagfynegiadau UKCP yn awgrymu y gallai rhannau o Gymru a Lloegr droi'n rhy gynnes a/neu'n rhy sych. Heb addasu'n effeithiol a gwella genetig, gall ffactorau straen fel gwres a sychder

gormodol achosi colled sylweddol o ran cynnyrch, er enghraifft amcangyfrifodd Zhao *et al.* (2017) y bydd cynhyrchu gwenith yn gostwng 6% ar gyfer pob gradd C mae'r tymheredd yn codi. Byddai hyn yn awgrymu y byddai newidiadau ym mhroses raddio'r ALC yn ôl hinsawdd yn briodol, gan nad oes isafswm glawiad nac elfen tymheredd uchaf ar hyn o bryd, gan adlewyrchu'r ffaith bod gwlybanaeth yn cael ei ystyried yn benderfynydd pwysicach o ran cynnyrch na sychder pan luniwyd yr ALC yn y 1960au (h.y. ystyriwyd bod sychder yn llai cyffredin).

- Mae ADAS (2004) a Keay *et al.* (2014) wedi nodi gwahaniaethau mewn tymheredd a glawiad haf, o gymharu â'r set ddata ALC bresennol. Bydd gwerthoedd diffyg lleithder yn cael eu newid gan ASR is ac ATS uwch, sy'n dangos nad yw cyfrifiadau sy'n seiliedig ar y set ddata wreiddiol yn debygol o gynrychioli'r cyfyngiadau presennol yn gywir. Amlygwyd pwysigrwydd sychder yn y dosbarthiad tir yn y dyfodol gan Keay *et al.* (2014). Arweiniodd y dull presennol o fesur a dosbarthu sychder at leihau swm y tir Gradd 1 (yn seiliedig ar y maen prawf hwnnw'n unig) o 37% yn 1961-90 i 7% yn unig erbyn 2080 (senario allyriadau uchel) tra cynyddodd swm y tir yng Ngradd 4 o 2% i 66% o Gymru a Lloegr. Gan fod y Radd ALC gyffredinol yn cael ei diffinio gan y ffactor mwyaf cyfyngol, byddai asesu gan ddefnyddio'r dull presennol ar gyfer ALC yn golygu bod ardal fawr iawn o Gymru a Lloegr yn cael ei hisraddio i Radd 4. Fodd bynnag, sylwer bod y newid yn y radd ALC wedi'i gyfrifo ar gyfer c.5800 o safleoedd NSI yn hytrach na Chymru a Lloegr yn gyffredinol, felly, mae'r newid mewn graddau dros amser yn arwydd o duedd tuag at sychder cynyddol yn hytrach na gwerthoedd absoliwt.
- Dylid adolygu'r system ALC gan ddefnyddio ystadegau tywydd a chynnyrch cnydau cyfoes i bennu arwyddocâd y ffactor sychder wrth raddio tir amaethyddol yng Nghymru a Lloegr. Mae angen ystyried addasiadau ffermio i hinsawdd sy'n newid hefyd gan fod angen deall effaith cynyddu sychder ar allu tir.

6 Digwyddiadau eithafol neu episodig

- Wrth asesu ansawdd tir, mae newidynnau deinamig (e.e. tymheredd sy'n newid wrth i'r tymor fynd yn ei flaen) yn cael eu trosi'n newidynnau statig (h.y. gwerth unigol sy'n aros yr un fath). Felly, gwendid allweddol wrth ddefnyddio rhinweddau tir cryno yw bod llawer o'r amrywioldeb sy'n nodwedd hanfodol o'r tir yn cael ei ddileu drwy drin newidynnau deinamig mewn ffordd statig (Hudson a Birnie, 2000). Nid yw ffermwyr yn ffermio tirweddau cyfartalog o dan amodau hinsoddol cyfartalog. Felly, er bod dulliau gwerthuso tir sy'n seiliedig ar y dull hwn o werth wrth gynllunio defnydd tir, ar gyfer gwneud penderfyniadau rheoli tir, gallai fod yn fwy defnyddiol cael gwybodaeth am amrywioldeb y gellir asesu risg ohono (Hudson a Birnie, 2000).
- Mae gwaith blaenorol ar allu tir newidiol wedi'i seilio ar symudiadau mewn cyfartaleddau aml-flwyddyn hirdymor sy'n nodwedd o systemau dosbarthu sefydledig. Fodd bynnag, mae gan amrywioldeb tymor byrrach rôl bwysig iawn hefyd o ran dylanwadu ar hyfywedd cymharol gwahanol systemau defnydd tir (Hudson a Birnie 2000). Yn benodol, mae amrywioldeb rhyng-flynyddol (IAV) yn bwysig i amaethyddiaeth oherwydd rôl allweddol y cylch blynyddol o ran cynllunio a rheoli ar gyfer systemau cnydau neu dda byw (e.e. Reilly 2002).
- Cyfrifodd Hudson a Birnie (2000) y Dosbarthiad Gallu Tir (LCA) ar gyfer 23 o safleoedd yn yr Alban ar gyfer dau gyfnod gwahanol (1958-1978 a 1961-1980) i brofi cysondeb y dosbarthiad; nododd yr awduron yr amrywioldeb rhyng-flynyddol hefyd. Mae dosbarthiadau LCA ar gyfer yr hinsawdd yn seiliedig ar y berthynas rhwng y diffyg lleithder pridd mwyaf posibl a'r tymheredd cronedig $>0^{\circ}\text{C}$ (mae parthau hinsoddol yr LCA yn ehangach na'r rhai a ddefnyddir yn yr ALC sy'n defnyddio setiau data pwyntiau grid gyda bylchau o 5 km). Dangosodd y dadansoddiad fod dyraniad dosbarth hinsoddol yr LCA yn sensitif i'r cyfnod y dewiswyd y data hinsoddol ohono. Er enghraifft, roedd Braemar yn nosbarth LCA 4₁ pan ddefnyddiwyd set ddata 1958-1978 a dosbarth LCA 4₂ pan ddefnyddiwyd set ddata 1961-1980.
- Yn ogystal, mae'r awduron wedi plotio llwybr 20 mlynedd LCA hinsoddol pob gorsaf (AT0 yn erbyn y diffyg lleithder pridd posibl mwyaf posibl) rhwng 1961 a 1980. Rhoddir enghreifftiau yn Ffigur 9a a b ar gyfer Auchincruive (dosbarth LCA hinsoddol 2) a Braemar (dosbarth LCA hinsoddol 4₂). Mae'r graffiau'n dangos bod y gwerthoedd blynyddol yn dilyn llwybr cymhleth drwy'r rhaniadau dosbarth LCA hinsoddol, fel mai anaml y bydd y dosbarth LCA hinsoddol hirdymor yn digwydd mewn unrhyw flwyddyn unigol (Ffigur 9). Er enghraifft, mae Auchincruive yn cael ei ddosbarthu fel LCA 2 (ar gyfer hinsawdd) ond mewn blynyddoedd unigol mae'r dosbarthiad yn amrywio o 1 i 5 ar gyfer yr hinsawdd felly ar 9 achlysur roedd yn uwch (h.y. >2), ar 7 achlysur roedd yn is (h.y. roedd yn <2) ac ar 4 achlysur roedd yr un fath (h.y. 2). Dangosodd y rhan fwyaf o orsafoedd amrywioldeb tebyg ac eithrio gorsafoedd yn nosbarth LCA 1 a oedd yn tueddu i fod yn llai amrywiol (ni ddangosir data).



Figur 9. Llwybrau dosbarthiadau gallu tir ar gyfer yr hinsawdd dros y cyfnod o 20 mlynedd 1961-1980 ar gyfer a) Auchincruive a b) Braemar (Ffynhonnell: Hudson a Birnie, 2000).

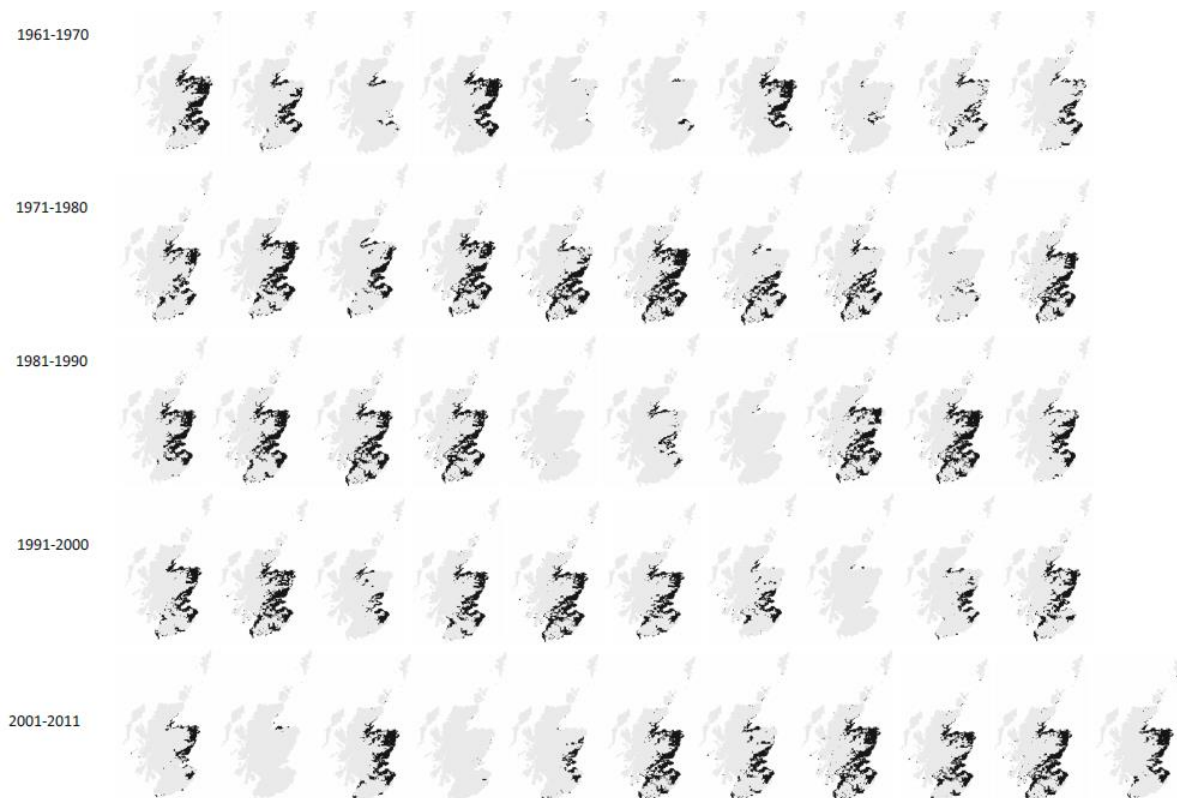
Manylion y dosbarth a ddyrannwyd (LCA) a newid dros amser (1961-1980) a nifer yr adegau y cynyddodd LCA (I), y gostyngodd LCA (D) ac yr arhosodd LCA heb newid (U) dros yr un cyfnod ar gyfer a) Auchincruive a b) Braemar.

	LCA	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	I	D	U
a)	2	2	1	5	2	5	4 ₂	4 ₂	3 ₂	2	2	1	3 ₁	1	1	1	1	1	1	3 ₂	1	9	7	4
b)	4 ₂	4 ₁	4 ₂	6	3 ₂	5	5	3 ₂	5	5	6	4 ₁	4 ₁	3 ₂	2	3 ₂	2	4 ₂	4 ₂	6	4 ₁	10	7	3

- Mae amrywioldeb tymor byrrach yn dylanwadu ar ddosbarthiadau gallu tir oherwydd, er bod y dosbarthiad sefydledig yn seiliedig ar gyfartaledd hirdymor, mae'r canlyniadau'n sensitif i'r cyfnod amser a ddefnyddir i ddiffinio'r cyfartaledd hirdymor (Hudson a Birnie 2000; Brown *et al.* 2008). Fodd bynnag, dylai tir sy'n llawer mwy amrywiol o flwyddyn i flwyddyn fod â sgôr dosbarth is o'i gymharu â thir cyfatebol gyda'r un gallu tir cyfartalog ond dosbarth blynyddol mwy sefydlog (Brown a Castellazzi, 2014). Gall amrywioldeb uchel gyfyngu ar rai opsiynau defnydd tir i bob

pwrpas oherwydd y risgiau uwch dan sylw, sy'n golygu bod y tir yn llai hyblyg o ran ei ddefnydd. Ar hyn o bryd, nid yw systemau dosbarthu sefydledig yn ymgorffori'r amrywioldeb hwn, er gwaethaf ei berthnasedd cynyddol ar gyfer rheoli adnoddau addasol mewn hinsawdd sy'n newid (Brown a Castellazzi, 2014).

- Archwiliodd Brown a Castellazzi (2014) newidiadau yn y dosbarthiadau Gallu Tir ar gyfer Amaethyddiaeth ar gyfer safleoedd yn yr Alban ar sail flynyddol a degawdol i archwilio effaith digwyddiadau episodig ar ddosbarthiadau tir. Cynhaliwyd dosbarthiad LCA ar gyfer yr Alban ar gyfer y blynyddoedd rhwng 1961 a 2011; crynhowyd cymedrau 20 mlynedd hefyd ynghyd ag amrywioldeb rhyng-flynyddol. Crynhowyd data newid hefyd gan ddefnyddio tri phrif fesur: 1) maint gofodol tir a ddiffinnir fel bod o'r radd flaenaf (dosbarthiadau 1-3) ar gyfer pob blwyddyn, 2) y tebygolrwydd y bydd cell grid 1 km yn cael ei diffinio fel rhagorol ar gyfer cyfnod cryno o 20 mlynedd a 3) mynegai ansefydlogrwydd i grynhoi IAV dosbarthiadau LCA ar gyfer cell grid 1 km yn seiliedig ar swm rhedeg cronedig o'r gwahaniaeth mewn dosbarthiadau LCA ar gyfer pob blwyddyn o'i gymharu â'r flwyddyn flaenorol.
- Dengys dadansoddiad tymor byrrach yn seiliedig ar faint blynyddol tir amaethyddol o'r radd flaenaf fod IAV sylweddol o ansawdd tir yn digwydd (Ffigur 10). Dros y cyfnod llawn rhwng 1961–2011, mae rhai blynyddoedd lle gellir ystyried bod cyfran sylweddol o'r wlad mewn cyflwr hinsoddol 'o'r radd flaenaf' (e.e. 1974, 1976, 1989 a 2008), ond ar y llaw arall, mae blynyddoedd eraill (e.e. 1985, 1987, 1998, 2004) lle nad oes bron unrhyw dir yn cael ei ddiffinio fel bod mewn cyflwr 'o'r radd flaenaf' Dangosir y tebygolrwydd y bydd tir mewn cyflwr o'r radd flaenaf dros y cyfnodau 20 mlynedd safonol yn Ffigur 11. Dangosir y mynegai ansefydlogrwydd cyfanredol ar gyfer yr un cyfnodau o 20 mlynedd yn Ffigur 12. Fel arfer, mae ardaloedd sydd â mynegai ansefydlogrwydd sy'n fwy nag 20 yn profi newid o un dosbarth LCA o leiaf rhwng blynyddoedd dilynol, tra gall y rhai dros 40 fel arfer brofi newid mewn dau ddosbarth rhwng blynyddoedd.
- Mae Brown a Castellazzi (2014) yn awgrymu y gellir defnyddio mynegai ansefydlogrwydd symlach sy'n gwahaniaethu rhwng tir o'r radd flaenaf (1) a thir nad yw o'r radd flaenaf (0) a chrynhoi'r gwahaniaeth dros 20 mlynedd, i nodi terfyn addas ar gyfer tir sy'n rhy amrywiol i'w ystyried fel tir 'o'r radd flaenaf'. Yn Ffigur 13, amlygir ardaloedd a fyddai'n cael eu diffinio'n nodweddiadol fel tir o'r radd flaenaf oherwydd eu cyfartaledd hirdymor ond sydd hefyd â mynegai ansefydlogrwydd o'r radd flaenaf/nad yw o'r radd flaenaf sy'n fwy na 10; mae'r rhain yn ardaloedd sydd â mwy na 10 o drosglwyddiadau rhyng-flynyddol o ardaloedd o'r radd flaenaf i ardaloedd nad ydynt o'r radd flaenaf dros y cyfnod o 20 mlynedd. Fel arfer, mae ardaloedd o'r fath yn y parth pontio daearyddol rhwng ardaloedd o'r radd flaenaf a rhai nad ydynt o'r radd flaenaf, ac felly'n sensitif i'r gwerth terfyn a ddewisir.
- Nid oedd Brown a Castellazzi (2014) wedi cynnwys sychder yn eu mynegai ansefydlogrwydd gan nodi bod y risg yn berthnasol i ardaloedd bach yn unig ar hyn o bryd ac nad yw'n ddylanwad mawr ar y dosbarthiad safonol gan ddefnyddio cyfartaleddau hirdymor. Roeddent yn cynnig y gellid ymchwilio ymhellach i gynnwys sychder drwy fabwysiadu dosbarth LCA tybiannol 0 i nodi lleoliadau lle mae diffygion lleithder pridd yn fwy na'r capasiti dŵr pridd sydd ar gael. Gellid cynnwys hyn wedyn yn y mynegai ansefydlogrwydd i nodi'r risg o amodau rhy sych yn ogystal â'r ffactorau gwlybanaeth amlycaf ar hyn o bryd.

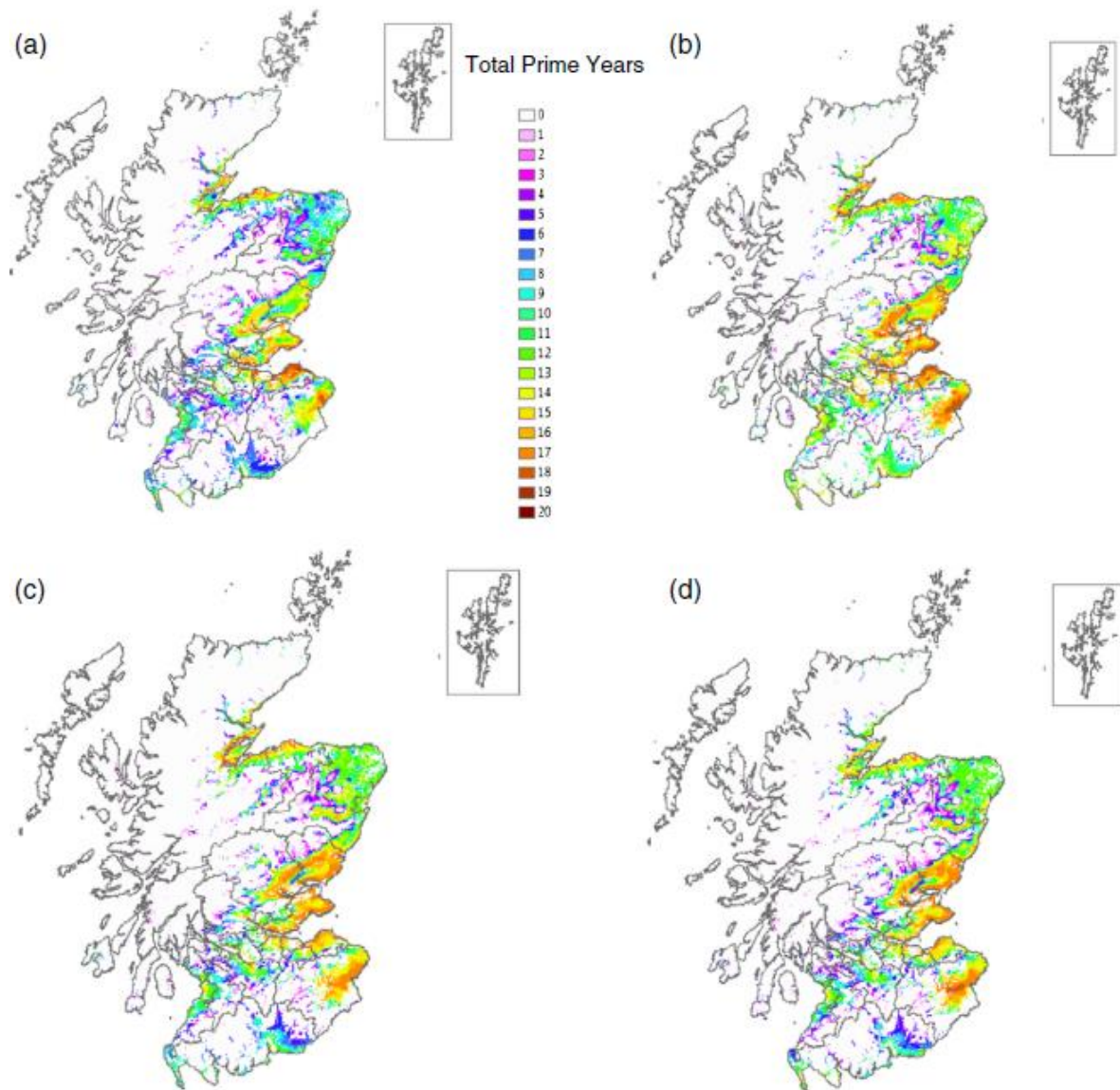


Ffigur 10. Ardal y tir o'r radd flaenaf (h.y. Dosbarthiadau Gallu Tir yr Alban 1-3 ar gyfer hinsawdd) ar gyfer y blynyddoedd 1961-2011 (Ffynhonnell: Brown a Chastellazzi, 2014).

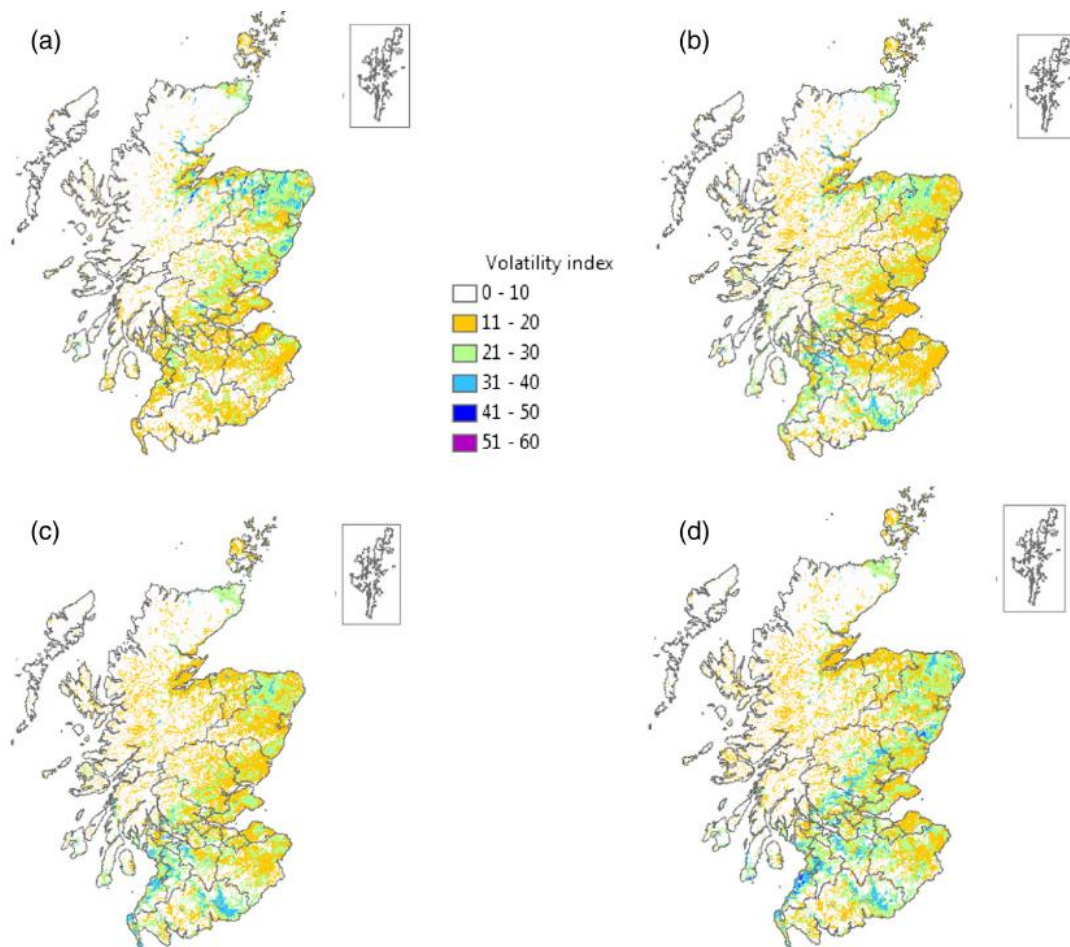
6.1 Casgliadau ar gyfer digwyddiadau episodig ac eithafol

- Mae gwaith Hudson a Birnie (2000) a Brown a Castellazzi (2014) yn tynnu sylw at ddylanwad newidiadau blynyddol yn y tywydd ar ddosbarthiadau hinsawdd LCA ar gyfer yr Alban. Mae'n anochel na fydd unrhyw systemau dosbarthu sy'n seiliedig ar ddata hinsawdd cyfartalog yn adlewyrchu eithafion yr hinsawdd a welwyd mewn rhai blynyddoedd (h.y. blynyddoedd sych iawn neu wlyb iawn). Mae dosbarthiadau LCA ar gyfer hinsawdd yn seiliedig ar y berthynas rhwng y diffyg lleithder pridd mwyaf posibl (-250 i 0 mm) a'r tymheredd cronedig $>0^{\circ}\text{C}$ (hyd at 2000 diwrnod $^{\circ}\text{C}$). O'u cymharu, mae dosbarthiadau ALC ar gyfer yr hinsawdd yn seiliedig ar y berthynas rhwng AAR (hyd at 5000 mm) ac AT0 (hyd at 2000 diwrnod $^{\circ}\text{C}$). Er bod y ddwy system yn defnyddio dangosydd gwahanol o wlybaniaeth (diffyg lleithder pridd neu lawiad) mae'r naill a'r llall yn seiliedig ar yr egwyddor y dylid graddio hinsawdd sych gynnes yn uwch na hinsawdd wlyb oer. O ganlyniad, er y bydd union natur effeithiau digwyddiadau episodig neu eithafol ar ddosbarthiad tir yn wahanol yn y naill system a'r llall (LCA ac ALC), bydd y tueddiadau cyffredinol yn debyg.
- Fel y nodwyd gan Brown a Castellazzi (2014), yn ystod blynyddoedd o dywydd gwael, bydd cyfyngiadau hinsoddol yn ffactorau pwysicach na phan fo'r tywydd yn dda. Pan fydd y tywydd yn wael (e.e. yn rhy sych neu'n rhy wlyb) gall tir yng Ngraddau 1 neu 2 ALC brofi anawsterau rheoli hyd yn oed sy'n gysylltiedig yn amlach â thir mewn Graddau is. I'r gwrthwyneb, yn ystod blynyddoedd o dywydd cymharol dda, mae'r cyfyngiadau ar allu tir yn debygol o gael ei ddominyddu gan briodweddau pridd cynhenid a fydd yn gosod y terfynau mwyaf posibl ar gyfer tir BMV er gwaethaf y tywydd ffafriol.

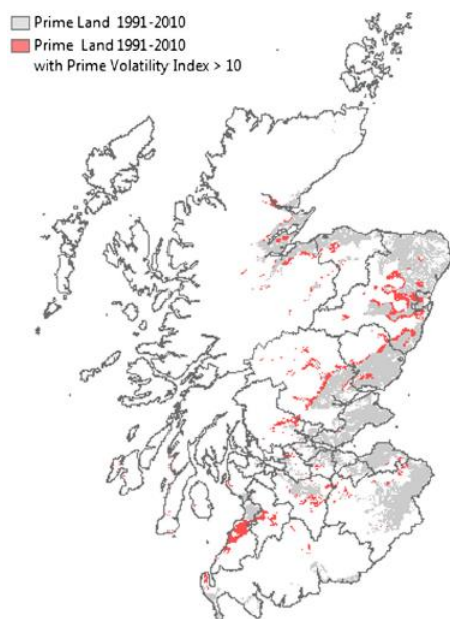
- Mae rhagfynegiadau newid hinsawdd yn awgrymu bod y tywydd yn debygol o droi'n fwy eithafol yn y dyfodol. Mae hyn yn awgrymu, yn y dyfodol, y bydd yn bwysicach ystyried nid yn unig yr amodau hinsoddol cyfartalog wrth ddyrannu gradd ALC ar gyfer hinsawdd yn y dyfodol ond yr amrywiad o amgylch y cyfartaledd hwnnw hefyd.



Ffigur 11. Nifer y blynnyddoedd a ddosberthir fel rhai o'r radd flaenaf (h.y. Tir amaethyddol Dosbarth Gallu Tir 1-3 yr Alban) yn ystod y cyfnodau cyfeirio a) 1961-1980, b) 1971-1990, c) 1981-2000 a d) 1991-2010 (Ffynhonnell: Brown a Chastellazzi, 2014).



Ffigur 12. Anwadalrwydd Dosbarth Gallu Tîr yn ystod y cyfnodau cyfeirio a) 1961-1980, b) 1971-1990, c) 1981-2000 a d) 1991-2010 (Ffynhonnell: Brown a Chastellazzi, 2014).



Ffigur 13. Tîr amaethyddol o'r radd flaenaf 1991–2010 sydd â mynegai ansefydlogrwydd uchel hefyd (Ffynhonnell: Brown a Chastellazzi, 2014).

7 Trosolwg o gyfrifiadau sychder ALC

- Yn y system ALC, mae'r dull a ddefnyddir i asesu sychder yn seiliedig ar waith gan Thomasson (1979). Mae'n rhoi syniad o'r risg sychder cyfartalog yn seiliedig ar ddau gnwd cyfeirio, gwenith gaeaf a thatws prif gnwd. Mae'r cynydau hyn wedi'u dewis oherwydd eu bod yn cael eu tyfu'n eang, mae ganddynt ddyfnder gwreiddio cyferbyniol ac, o ran eu gallu i ymdopi â sychder, maent yn cynrychioli casgliad eang o gnydau.
- Diffinnir terfynau sychder ar gyfer graddau ac israddau ALC yn nhermau balansau lleithder sy'n cael eu cyfrifo ar wahân ar gyfer gwenith gaeaf a thatws gan ddefnyddio'r fformiwlâu canlynol:
 - $MB \text{ (gwenith)} = AP \text{ (gwenith)} - MD \text{ gwenith}$
 - $MB \text{ (tatws)} = AP \text{ (tatws)} - MD \text{ (tatws)}$

Lle mae MB yn golygu cydbwysedd lleithder, mae AP yn golygu capasiti dŵr y proffil pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd ac MD yw diffyg lleithder

- Mae'r model a ddefnyddir yn symleiddio sefyllfa'r cae. Nid yw'n ystyried unrhyw wlychu tymor byr o'r pridd yn dilyn glaw yng nghyfnod yr haf ac mae'n gwneud tybiaethau syml hefyd ynghylch dyfnderau gwreiddio a graddau datblygiad systemau gwreiddiau. Tybir bod gwenith yn gwreiddio i ddyfnder o 120 cm (er y tybir bod echdynnu dŵr islaw 50 cm yn llai effeithlon) a thatws i ddyfnder o 70 cm; yn ymarferol, gall dyfnder gwreiddio fod yn ddyfnach. Felly, mae'r model yn rhoi amcangyfrif ceidwadol o gydbwysedd lleithder y pridd.
- Rhoddir trosolwg byr o'r cyfrifiad o gydbwysedd lleithder yn Tabl 8. Mae adrannau dilynol yn trafod y cyfrifiadau a'r tybiaethau sylfaenol yn fanylach.

Tabl 8. Trosolwg o asesiad sychder ALC

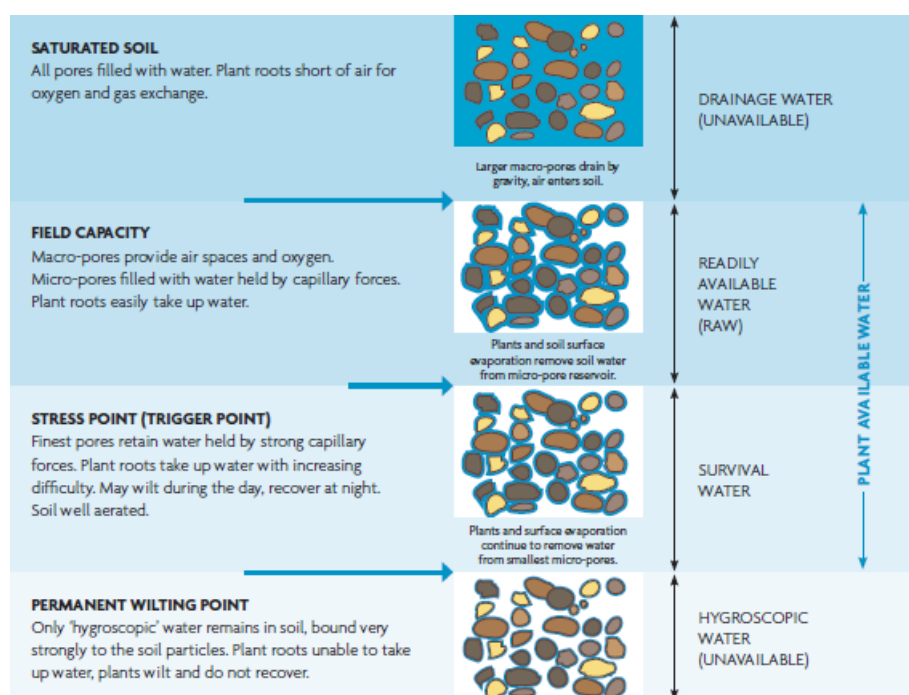
Cydran	Talfyriad ALC	Nodiadau		
Capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd	AP (mm)	Faint o ddŵr a gedwir yn y pridd y gall y cnwd penodedig ei ddefnyddio	Rhestrir gwerthoedd ar gyfer cyfuniadau penodol o strwythur a gwead pridd yn Nhabl 14 ALC. Rhoddir gwerthoedd ar gyfer cyfanswm y dŵr a dŵr sydd ar gael yn hawdd	Addasir gwerthoedd ar gyfer % cynnwys cerrig /creigiau (Tabl 15 ALC) a chynnwys deunydd organig (Gwerthoedd uwchbridd, isbridd ar wahân; hefyd, ar gyfer priddoedd cyfoethog organig). Mae AP o haenlinau isbridd yn gostwng 20% lle mae gweadau'n dywod bras, tywod canolig, gweadau tywod bras lomog neu dywod lomog canolig oherwydd bod y pwynt gwywo'n cael ei gyrraedd yn gyflym iawn oherwydd diffyg mandyllau canolig a mân.
Cyfanswm y dŵr sydd ar gael i blanhigion	TA _v	Dŵr pridd cyfeintiol rhwng sugnedd bar o 0.05 a 15	Ar gyfer tywod/tywod lomog, y dŵr pridd cyfeintiol rhwng sugnedd bar o 0.10 a 15	
Dŵr sydd ar gael yn hawdd i blanhigion	EAv	Dŵr pridd cyfeintiol rhwng sugnedd bar o 0.05 a 2		
Capasiti dŵr wedi'i addasu ar gyfer cnwd (gwenith)	AP (gwenith)	Tybiwyd dyfnder gwreiddio o 120 cm. Cyfrifir gwerthoedd i'r dyfnder hwn	Tybir bod yr holl ddŵr ar gael Defnyddir gwerth TA_v o 0-50 cm.	Islaw 50 cm defnyddir gwerth EAv (mae'n rhagdybio gwreiddio llai effeithlon islaw 50 cm).

				Nodi addasiadau ar gyfer haenlinau isbridd gwead bras
Capasiti dŵr wedi'i addasu ar gyfer cnwd (tatws)	AP (tatws)	Tybiwyd dyfnder gwreiddio o 70 cm. Cyfrifir gwerthoedd i'r dyfnder hwn	Tybir bod yr holl ddŵr ar gael hyd at 70 cm. Defnyddir gwerth TA_v o 0-70 cm.	Nodi addasiadau ar gyfer haenlinau isbridd gwead bras
Diffyg lleithder	MD	Cyfrifir yn ôl atchweliad (manylir isod). Fel arall, gellir cael y gwerthoedd o set ddata Data Climatolegol y Swyddfa Dywydd ar gyfer Dosbarthu Tir Amaethyddol.		
	MD (gwenith gaeaf)	MD (gwenith gaeaf) = $325.4 - 162.3 \log_{10} ASR + 0.08022 ATS$		
	MD (tatws)	MD (tatws) = $326.4 - 196.5 \log_{10} ASR + 0.1127 ATS$		

7.1 Capasiti dŵr sydd ar gael

7.1.1 Dŵr sydd ar gael yn y pridd

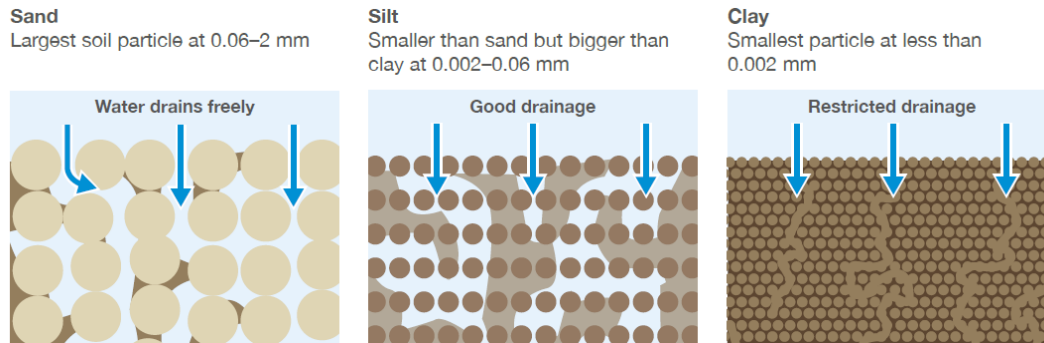
- Mae sugnedd mwyaf y rhan fwyaf o gnydau i dynnu dŵr o bridd yn amrywio gyda'r cnwd, ond mae'r gwerth a dderbynnir yn gyffredinol yn cyfateb i tua 15 gwaith pwysedd yr atmosffer (h.y. 15 bar) (Shaxson a Barber, 2003). Pan fydd dŵr pridd wedi'i ddisbyddu i lawr i densiwn o 15 bar, y dŵr sy'n weddill yn y pridd fydd yr un a gedwir mewn mandyllau llai na 0.0002 mm o ddiamedr a bydd yn cyfateb i bwynt gwywo parhaol y pridd (Ffigur 14). Nid yw dŵr a gaiff ei gadw mewn tensiynau sy'n fwy na'r pwynt gwywo parhaol ar gael ar gyfer twf planhigion. Felly, ystyrir mai cyfanswm y dŵr pridd sydd ar gael i blanhigion (a elwir yn T_A yn yr ALC) yw'r cyfaint (cymhareb cyfaint y dŵr i gyfaint uned y pridd) cynnwys dŵr pridd rhwng tensiwn o 0.05 a 15 bar (neu ar gyfer tywod a thywod lomog rhwng tensiwn o 0.10 a 15 bar). Mae'r tensiynau hyn yn cyfateb bron iawn i gapasiti'r cae a ddiffinnir fel y pwynt lle mae'r diffyg lleithder pridd yn sero, (h.y. pan fo holl fandyllau'r pridd ac eithrio'r rhai sy'n draenio o dan ddisgyrchiant yn llawn dŵr) a'r pwynt gwywo parhaol (pan na all y planhigion echdynnu mwy o leithder o'r pridd). Fodd bynnag, nodwch, yn dibynnu ar draddodiadau ac anghenion defnyddio o amgylch y byd, y gellir dewis gwerthoedd eraill i gynrychioli capasiti cae (e.e. tensiwn o 0.05, 0.06, 0.10 neu 0.33 bar) (Tóth *et al.*, 2015).



Ffigur 14. Terminoleg dŵr pridd (Ffynhonnell: Irrigation New Zealand)

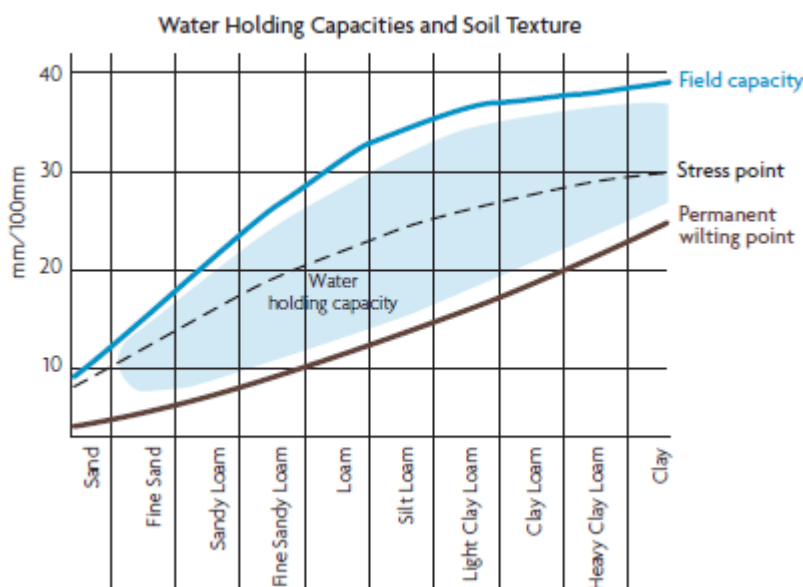
- Mae gwead pridd yn ffactor pwysig sy'n rheoli faint o ddŵr y gall pridd ei ddal (capasiti dal dŵr) (Ffigur 15) ac i ba raddau y mae ar gael i blanhigion (capasiti dŵr sydd ar gael) (AHDB, 2019). Mae cyfanswm y gofod mandyllau pridd yn amrywio rhwng gweadau pridd, er nad yw'n ffactor pwysig i ALC. Fodd bynnag, mae'r math o fandyllau'n newid pethau'n sylweddol (microfandyllau sydd mewn priddoedd gwead mân yn bennaf a mandyllau mawr sydd mewn priddoedd tywod yn bennaf). Mae hyn yn effeithio ar y dŵr sydd ar gael i blanhigion a symudiad dŵr. Gall gwella

strwythur pridd, er enghraifft, cynyddu cynnwys deunydd organig pridd, wella'r TA_v. Yn gyffredinol, mae gwead a strwythur y pridd yn effeithio ar faint mandyllau a chysylltedd mandyllau ac felly TA_v.

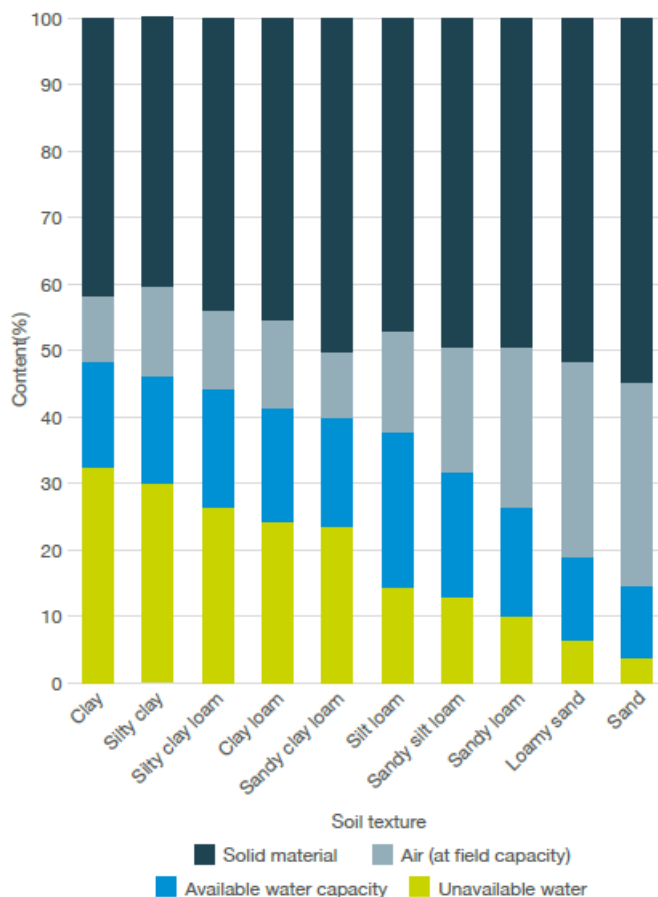


Ffigur 15. Nodweddion draenio priddoedd lle mae pob un o'r prif ronynnau'n dominyddu (Ffynhonnell: AHDB (2019)). Mae

- Ffigur 16 yn dangos galluoedd dal dŵr nodweddiadol ar gyfer gwahanol weadau pridd mewn mm o ddŵr fesul 100 mm o ddyfnder y pridd, ynghyd â'u pwyntiau gwywo parhaol nodweddiadol a chapasiti'r cae. Mae'n dangos a) bod gan dywod allu isel i storio dŵr (capasiti cae) ond y gellir echdynnu'r rhan fwyaf o ddŵr, b) mae gan lomau allu uchel i storio dŵr a lefelau uchel o ddŵr sydd ar gael i blanhigion ac c) mae gan glai allu uchel i storio dŵr sydd gyda dim ond cyfran o'r dŵr hwnnw ar gael i'r planhigyn. Dangosir hyn ymhellach yn Ffigur 17, sy'n dangos, er enghraifft, os oes gan bridd gynnwys dŵr o 25% mae'r dŵr sydd ar gael i blanhigion yn wahanol iawn felly i) mae priddoedd tywodlyd iawn yn wlypach na chapasiti'r cae a bydd draenio'n digwydd, ii) mae priddoedd clai mewn cyflwr delfrydol ar gyfer twf planhigion a iii) gallai priddoedd clai trwm fod ar bwynt gwywo parhaol (AHDB, 2019).



Ffigur 16. Y berthynas rhwng capasiti dal dŵr a gwead pridd (Ffynhonnell: Irrigation New Zealand).



Ffigur 17. Mae gwead pridd yn effeithio ar y capasiti dŵr sydd ar gael (Ffynhonnell: AHDB (2019)).

- Gan fod mesuriadau labordy o'r dŵr sydd ar gael yn cymryd llawer o amser ac yn ddrud, mae'r ALC yn cynnwys gwerthoedd tabl wedi'u seilio ar gyfuniadau o weadau a strwythur pridd (Tabl 9, isod). Mae'r gwerthoedd ar gyfer dŵr sydd ar gael yn y pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd yn seiliedig ar set ddata o tua 3,600 o fesuriadau TA o wahanol haenau mewn dros 1000 o broffiliau pridd ledled Cymru a Lloegr a gasglwyd gan staff o'r Soil Survey and Land Research Centre. Dangosodd dadansoddiad o'r data gan Hall *et al.* (1977) mai'r prif ffactorau sy'n effeithio ar TA oedd gwead, strwythur a chynnwys deunydd organig. O ganlyniad, mae gwerthoedd TA_v wedi'u haenu yn ôl a ydynt ar gyfer uwchbriddoedd neu isbriddoedd; mae isbriddoedd wedi'u hisrannu ymhellach gan amodau strwythurol (da, cymedrol neu wael). Rhoddir canllawiau yn yr ALC i ddyrannu amodau strwythurol isbridd yn gywir, gweler yr enghraifft isod ar gyfer priddoedd â gweadau isbridd lom tywodlyd, lom silt tywodlyd neu lom silt (Ffigur 18). Dim ond gwerth TA_v unigol (fesul gwead pridd) sydd ar gyfer uwchbridd (ar gyfer amodau strwythurol cymedrol) gan fod asesiadau ALC yn cymryd bod yna safon dda o reoli.
- Yn ogystal, â chyfanswm y dŵr pridd sydd ar gael i blanhigion, mae Tabl 9 yn cynnwys gwerthoedd ar gyfer dŵr sydd ar gael yn hawdd hefyd (a elwir yn EA_v yn yr ALC), sef y dŵr a gedwir yn y pridd rhwng tensiwn o 0.05 a 2.0 bar. Mae hyn yn cydnabod y gallu is sydd gan blanhigion i echdynnu dŵr ar ddyfnder lle mae gwreiddiau'n llai datblygedig neu'n brin. Mae'r capasiti dŵr sydd ar gael ynghyd â dyfnder y pridd yn pennu faint o ddŵr y gellir ei ddefnyddio gan blanhigion ar safle

penodol. Mynegir y dŵr sydd ar gael fel canran cyfeintiol fel bod hyn, er enghraifft, ar gyfer pridd clai gyda TA_v uwchbridd o 17%, yn cyfateb i 170 mm o ddŵr fesul 1 m o bridd.

Tabl 9. Amcangyfrif ALC o'r dŵr sydd ar gael (%) o'r dosbarth gwead, haenlin a'r cyflwr strwythurol (Ffynhonnell: MAFF, 1988).

Dosbarth gwead	TA_v	TA_v Isbridd (Ea_v mewn cromfachau)		
	Uwchbridd	<i>da</i>	<i>cymedrol</i>	<i>gwael</i>
Clai	17	21 (15)	16 (8)	13 (7)
Clai siltiog	17	21 (15)	15 (8)	12 (7)
Clai tywodlyd	17	19 (14)	15 (10)	13 (8)
Lôm clai tywodlyd	17	19 (14)	15 (10)	13 (8)
Lom clai	18	21 (14)	16 (10)	12 (7)
Lom clai siltiog	19	21 (12)	17 (10)	12 (6)
Lôm silt	23	23 (17)	22 (14)	15 (9)
Lom silt tywodlyd mân	22	22 (16)	21 (15)	15 (9)
Lom silt tywodlyd canolig	19	19 (13)	17 (11)	15 (9)
Lom silt tywodlyd bras	19	23 (17)	19 (11)	15 (7)
Lom tywodlyd mân	18	22 (17)	18 (13)	17 (11)
Lom tywodlyd canolig	17	17 (13)	15 (11)	11 (8)
Lom tywodlyd bras	17	22 (15)	16 (11)	11 (8)
Tywod mân lomog	18	15 (13)	15 (13)	*
Tywod canolig lomog	13	12 (9)	9 (6)	*
Tywod bras lomog	11	11 (7)	8 (6)	*
Tywod mân	*	14 (12)	14 (12)	*
Tywod canolig	12	7 (5)	7 (5)	*
Tywod bras	*	5 (4)	5 (4)	*
Siltiau ysgafn morol		33 (30)	28 (22)	*
Pob Haenlin				
Tywod organig			23 (16)	
Lomau organig			28 (20)	
Clai organig			23 (16)	
Tywod mawnog			39 (36)	
Lomau mawnog			27 (18)	
Mawn tywodlyd			45 (30)	
Mawn lomog			35 (26)	
Mawn deilbriddedig			33 (24)	
Mawnogydd ffibrog a lled-ffibrog			44	

		loose			very friable			friable			firm			very firm			extremely firm			extremely hard		
		weak	moderate	strong	weak	moderate	strong	weak	moderate	strong	weak	moderate	strong	weak	moderate	strong	weak	moderate	strong	weak	moderate	strong
single grain																						
massive																						
granular	f																					
	m																					
	c																					
	vc																					
subangular blocky	f																					
	m																					
	c																					
	vc																					
angular blocky	f																					
	m																					
	c																					
	vc																					
prismatic	f																					
	m																					
	c																					
	vc																					
platy	f																					
	m																					
	c																					
	vc																					

Good structure
 Moderate structure
 Poor structure
 Combinations which are very rare or do not occur

f fine
m medium
c coarse
vc very coarse

Ffigur 18. Asesiad o amodau strwythurol mewn haenlinau isbridd â gweadau lom tywodlyd, lom silt tywodlyd neu lom silt (Ffynhonnell: MAFF, 1988).

7.2 Data amgen ar gyfer cyfrifo'r capasiti dŵr sydd ar gael

- Cydnabyddir yn gyffredinol y berthynas rhwng gwead pridd a dŵr planhigion sydd ar gael. Dengys Tabl 10 isod gyfanswm y dŵr sydd ar gael ar gyfer gwahanol weadau pridd ar draws yr Unol Daleithiau ac ar gyfer priddoedd generig, a gyfrifwyd drwy dynnu'r dŵr sydd ar gael yn y pwynt gwywo parhaol o'r hyn sydd ar gael ar gapasiti'r cae. Noder nad yw'n cael ei nodi pa densiwn bar capasiti'r cae a phwynt gwywo parhaol a gyfrifwyd, er bod pwynt gwywo parhaol yn cael ei fesur ar 15 bar fel arfer, gellir mesur capasiti'r cae ar werthoedd amrywiol (e.e. tensiwn o 0.05, 0.06, 0.10 neu 0.33 bar). Fel cymhariaeth, dangosir gwerthoedd yr ALC ar gyfer gweadau pridd tebyg mewn cromfachau sgwâr. Yn gyffredinol, mae gwerthoedd ALC ar gyfer dŵr planhigion sydd ar gael yn uwch ar gyfer y rhan fwyaf o weadau pridd o'i gymharu â data'r UD a data Brady a Weil (2002), er bod y gwerthoedd ar gyfer lom silt, lom clai a chlai yn debyg iawn i'r rhai a ddefnyddir yn yr ALC. Fodd bynnag, sylwer nad yw ffracsiynau maint gronynnau'r DU a'r UD yn gyson ar gyfer silt (DU: silt 0.002-0.06. UD: 0.02-0.05) a thywod (DU: silt 0.06-2.0 mm. UD: 0.05-2 mm); mae

gwahaniaethau yn yr is-grwpiau tywod hefyd. Mae'r gwahaniaethau yn y ffracsiynau maint gronynnau a'r gwahaniaethau posibl yn y gwerth a ddefnyddir ar gyfer capasiti'r cae yn golygu nad yw'r gwerthoedd yn uniongyrchol gymaradwy, yn hytrach maent yn arwydd o dueddiadau yn y capasiti dŵr sydd ar gael.

Tabl 10. Dŵr sydd ar gael i blanhigion ar gyfer a) priddoedd yr UD (Ffynhonnell: Datta *et al.*, 2017) a b) ar gyfer priddoedd 'generig' yn ôl gwead (Ffynhonnell: Brady a Weil, 2002) [Gwerthoedd ALC ar gyfer gweadau pridd tebyg].

a)			
Gwead pridd	Capasiti'r cae (%)	Pwynt gwywo parhaol (%)	Cyfanswm dŵr planhigion sydd ar gael (%)
Tywod	10	4	6 [12]
Tywod lomog	16	7	9 [11-18]
Lom tywodlyd	21	9	12 [17-19]
Lom	27	12	15
Lom silt	30	15	15 [23]
Lom clai tywodlyd	36	16	20 [17]
Clai tywodlyd	32	18	14 [17]
Lom clai	29	18	11 [18]
Lom clai siltiog	28	12	13 [19]
Clai siltiog	40	20	20 [17]
Clai	40	22	18 [17]

b)			
Gwead pridd	Capasiti'r cae (%)	Pwynt gwywo parhaol (%)	Cyfanswm dŵr planhigion sydd ar gael (%)
Tywod	10	3	7 [12]
Lom tywodlyd	20	6	14 [17-18]
Lom	29	9	20
Lom silt	35	12	22 [23]
Lom clai	38	18	20 [18]
Clai	38	21	17 [17]

7.2.1 Ffwythiannau pedo-drosglwyddo

- Fel y nodwyd yn gynharach, mae mesur priodweddau hydrolog pridd yn uniongyrchol megis capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol yn cymryd llawer o amser ac yn ddrud. Fel arall, gellir amcangyfrif priodweddau hydrolog pridd gan ddefnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo yn seiliedig ar briodweddau pridd haws eu mesur fel dosbarthiad maint gronynnau pridd (PSD) neu gynnwys carbon organig pridd. Mae nifer o awduron wedi defnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo i amcangyfrif y dŵr sydd ar gael gan ddefnyddio data ar wead pridd.
- Gellir dosbarthu ffwythiannau pedo-drosglwyddo a sefydlwyd ar gyfer pennu gallu pridd i gadw dŵr yn dri grŵp (Tietje a Tapkenhinrichs, 1993): dulliau amcangyfrif pwynt, dulliau amcangyfrif paramedr, a dulliau lled-ffisegol. Ail faen prawf ar gyfer disgrifio ffwythiannau pedo-drosglwyddo yw'r math o ddata mewnbwn sydd ei angen ar y swyddogaeth: ffwythiant dosbarth neu

ffwythiannau parhaus. Mae swyddogaethau pedo-drosglwyddo dosbarth yn pennu gwerthoedd y paramedrau cromlin neu gynnwys dŵr pridd ar gyfer dosbarthiadau a ddiffinnir gan y newidynnau rhagfynegol (e.e., dosbarthiadau gwead pridd, bylchau o gynnwys deunydd organig neu ddwysedd swmp). Mae ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth yn hawdd i'w defnyddio ac yn addas iawn ar gyfer rhagweld nodweddion hydrolog pridd ar raddfa genedlaethol a chyfandirol oherwydd nad yw'r data sydd ar gael ar y graddfeydd hyn yn rhy fanwl fel arfer (Al Majou *et al.*, 2008; Wösten *et al.*, 1995). Mae ffwythiannau parhaus yn defnyddio priodweddau pridd ffisegol neu gemegol fel newidynnau mewnbwn i fodelau atchweliad aml-amrywiolyn neu fodelau dysgu peiranyddol i amcangyfrif paramedrau'r model cromlin cadw dŵr neu ddŵr pridd ar botensial dŵr penodol (Rubio *et al.*, 2008).

- Defnyddiodd Hollis *et al.* (2014) dair set ar wahân o ddata rhyddhau dŵr mesuredig sy'n cynrychioli'r DU gyfan i ddatblygu cyfres o ffwythiannau pedo-drosglwyddo ar gyfer rhagweld cynnwys dŵr cyfeintiol mewn saith pen pwysedd ar y gromlin rhyddhau dŵr yn amrywio o 0 i 15 bar. Roedd pob set ddata genedlaethol wedi'i haenu'n bedwar grŵp, 1) haenlin tywod mân iawn (er sylwer mai dim ond pedwar pwynt data oedd wedi'u cynnwys yn y grŵp hwn a chafodd ei eithrio wedyn o'r dadansoddiad), 2) haenlinau eraill o wead tywod lomog neu dywod wedi'u hisrannu'n haenlinau gyda rhywfaint o ddatblygiad strwythurol (Sy-structured) neu ddim datblygiad strwythurol (Sy-unstructured), 3) haenlinau uwchbridd eraill wedi'u trin yn rheolaidd (Ap) a 4) pob haenlin arall a gafodd eu hisrannu yn ôl eu dwysedd pacio (addasiad o ddwysedd swmp sych sy'n dileu'r effaith 'clai') – fel isel, canolig neu uchel (Ld isel, canolig neu uchel). O fewn pob grŵp, defnyddiwyd dadansoddiad atchweliad lluosog i gael hafaliadau ar gyfer rhagweld cynnwys y dŵr ym mhob pen pwysedd, yn seiliedig ar set ddedol o ragfynegwyr (Tabl 11). Mae Tabl 12 yn cynnwys cyfrifiadau enghreifftiol o werthoedd AWC ar gyfer y grwpiau 'Sy'; cyfrifwyd y gwerthoedd ar gyfer capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol o'r hafaliadau yn Nhabl 11. Mae'r hafaliadau'n cyfrifo gwerth o 13-16% ar gyfer y grŵp 'Sy' (gwead tywod lomog neu dywod). Yn yr un modd, mae gwerthoedd yr ALC ar gyfer uwchbridd tywod lomog yn amrywio o 11-18%.
- Ar gyfer pob haenlin nad yw'n destun amaethu rheolaidd (h.y. grŵp haenlinau isel, canolig neu uchel Ld yn Nhabl 11), mae PTFs ychwanegol sy'n cynnwys newidyn hinsoddol, darparodd y diffyg lleithder pridd posibl blynyddol cyfartalog (PSMD) welliant pellach mewn rhagfynegi mewn ardaloedd sychach o'r DU gyda PSMD o fwy na 130 mm.
- Datblygodd a chymharodd Román Dobarco *et al.* (2019) ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth a pharhaus ar gyfer rhagfynegiadau lleithder pridd ar gapasiti'r cae (0.10 bar) a'r pwynt gwywo parhaol (15 bar) a'r cyfrifiad dilynol o AWC ar gyfer Ffrainc (Tabl 13). Ar gyfer ffwythiannau pedo-drosglwyddo parhaus, defnyddiwyd modelau atchweliad llinelllog lluosog gyda thywod, clai, carbon organig (SOC), a dwysedd swmp fel newidynnau rhagfynegydd, tra bod ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth yn cael eu diffinio gan ddosbarth gwead, dwysedd swmp, a math o haenlin (pob haenlin, uwchbridd, isbridd). Cafodd y modelau eu dilysu gyda set ddata ddilysu annibynnol. Wrth ddilysu'n annibynnol, roedd gan ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth gwead RMSE (mesur o'r graddau mae data wedi'i grynhoi o amgylch y llinell ffit orau, mae gwerthoedd is yn dangos gwell ffit) rhwng $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ a $0.06 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ac roedd gan ffwythiannau pedo-drosglwyddo parhaus RMSE rhwng $0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ a $0.05 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$. Roedd gan ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth gwead berfformiad rhagfynegol tebyg neu well na ffwythiannau dosbarth strwythurol gwead. Roedd perfformiad rhagfynegi ffwythiannau pedo-drosglwyddo parhaus yn gwella ychydig wrth gynnwys SOC a BD yn y modelau.

- Roedd gallu rhagfynegi ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth gwead yn debyg i'r ffwythiant pedo-drosglwyddo parhaus cyfatebol (clai+tywod) yn ôl capasiti'r cae, sy'n awgrymu y gall ffwythiannau dosbarth hawdd eu defnyddio fod yn adnodd defnyddiol ar gyfer amcangyfrif lleithder pridd yn ôl capasiti'r cae. Fodd bynnag, pan fydd rhagor o wybodaeth ar gael (e.e., SOC, dwysedd swmp), neu ar gyfer amcangyfrif lleithder pridd ar y pwynt gwywo parhaol, roedd gan ffwythiannau pedo-drosglwyddo parhaus well gallu rhagfynegi na ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth (Tabl 14).
- Nid yw'n hawdd cymharu amcangyfrifon yr ALC o'r dŵr sydd ar gael gyda'r rhai a gyfrifwyd gan Román Dobarco *et al.* (2019) gan fod yr olaf yn cael eu cyfrifo ar gyfer dosbarthiadau gweadol llawer ehangach. Fodd bynnag, os tybir bod y categori mân/mân iawn yn ymwneud â phriddoedd clai, yna nid yw gwerth ALC o 17% ar gyfer uwchbridd yn annhebyg i'r gwerth a gyfrifwyd o 12-14% (Tabl 13 isod). Yn yr un modd, mae gwerth uwchbridd yr ALC ar gyfer tywod canolig (12%) yn debyg i'r gwerth a gyfrifir gan Román Dobarco *et al.* 0.11% ar gyfer uwchbriddoedd gwead bras. Hefyd, nodwch fod Román Dobarco *et al.* (2019) yn diffinio capasiti'r cae fel 0.10 bar tra bod ALC yn diffinio capasiti'r cae fel 0.05 bar, fel y bydd gwerthoedd ALC yn uwch.

Tabl 11. Ffwythiannau pedo-drosglwyddo ffit gorau o'r set ddata haenog (Ffynhonnell: Hollis *et al.*, 2014)

Structure group	Pressure head / kPa	Equation	R ²
Sy-structured	-5	$7.74 + 11.195 \times \text{Log10(OC)} + 5.019 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.094 \times \text{f sand \%}$	0.59
	-10	$8.79 + 12.322 \times \text{Log10(OC)} + 4.842 \times \sqrt{\text{clay \%}}$	0.61
	-40	$4.07 + 11.456 \times \text{Log10(OC)} + 5.086 \times \sqrt{\text{clay \%}}$	0.65
	-200	$2.04 + 9.036 \times \text{Log10(OC)} + 4.019 \times \sqrt{\text{clay \%}}$	0.61
	-1500	$1.37 + 5.33 \times \text{Log10(OC)} + 2.83 \times \sqrt{\text{clay \%}}$	0.55
Sy-un-structured	-5	$7.13 + 1.013 \times \text{silt \%} + 0.072 \times \text{f sand \%}$	0.62
	-10 ^a	$4.89 + 1.477 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.822 \times \text{silt \%}$	0.54
	-40	$0.72 + 3.189 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.515 \times \text{silt \%}$	0.49
	-200 ^a	$1.16 + 1.392 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.481 \times \text{silt \%}$	0.45
	-1500	$0.95 + 1.681 \times \text{Log10(OC)} + 1.784 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.243 \times \text{silt \%}$	0.48
Ap horizons	-5	$36.56 + 15.62 \times \text{Log10(OC)} - 8.09 \times \text{Db} + 1.209 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.053 \times \text{silt \%}$	0.59
	-10	$27.4 + 16.832 \times \text{Log10(OC)} - 4.407 \times \text{Db} + 1.57 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.073 \times \text{silt \%}$	0.58
	-40 ^b	$8.149 + 16.083 \times \text{Log10(OC)} + 3.322 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.088 \times \text{silt \%}$	0.75
	-200	$10.84 + 14.418 \times \text{Log10(OC)} + 2.261 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.049 \times \text{silt \%}$	0.55
	-1500 ^b	$6.31 + 12.643 \times \text{Log10(OC)} + 2.131 \times \sqrt{\text{clay \%}}$	0.48
Low Ld horizons	-5	$61.79 + 5.187 \times \text{Log10(OC)} - 20.588 \times \text{Db} + 1.016 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.053 \times \text{silt \%} - 0.032 \times \text{PSMD}$	0.46
	-10	$54.81 + 4.746 \times \text{Log10(OC)} - 18.416 \times \text{Db} + 1.634 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.061 \times \text{silt \%} - 0.036 \times \text{PSMD}$	0.47
	-40	$49.73 - 18.681 \times \text{Db} + 2.07 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.09 \times \text{silt \%} - 0.045 \times \text{PSMD}$	0.44
	-200	$25.53 - 6.182 \times \text{Db} + 2.969 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.085 \times \text{silt \%} - 0.049 \times \text{PSMD}$	0.36
	-1500	$22.36 - 7.566 \times \text{Db} + 2.477 \times \sqrt{\text{clay \%}} - 0.033 \times \text{PSMD}$	0.36
Medium Ld horizons	-5	$64.77 - 25.401 \times \text{Db} + 2.239 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.035 \times \text{silt \%} - 0.03 \times \text{PSMD}$	0.65
	-10	$59.34 - 23.721 \times \text{Db} + 2.519 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.052 \times \text{silt \%} - 0.032 \times \text{PSMD}$	0.64
	-40	$53.31 - 23.348 \times \text{Db} + 2.877 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.063 \times \text{silt \%} - 0.035 \times \text{PSMD}$	0.62
	-200	$36.59 - 15.695 \times \text{Db} + 3.848 \times \sqrt{\text{clay \%}} - 0.04 \times \text{PSMD}$	0.63
	-1500 ^c	$18.51 - 9.436 \times \text{Db} + 4.009 \times \sqrt{\text{clay \%}} - 0.027 \times \text{PSMD}$	0.61
High Ld/stagnic horizons	-5	$92.19 - 37.27 \times \text{Db} + 0.799 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.057 \times \text{silt \%} - 0.026 \times \text{PSMD}$	0.85
	-10	$90.52 - 37.365 \times \text{Db} + 0.952 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.061 \times \text{silt \%} - 0.026 \times \text{PSMD}$	0.84
	-40 ^c	$83.25 - 36.193 \times \text{Db} + 1.27 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.085 \times \text{silt \%} - 0.025 \times \text{PSMD}$	0.82
	-200	$76.18 - 34.189 \times \text{Db} + 1.372 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.079 \times \text{silt \%} - 0.029 \times \text{PSMD}$	0.72
	-1500 ^c	$50.18 - 24.429 \times \text{Db} + 2.023 \times \sqrt{\text{clay \%}} + 0.076 \times \text{silt \%} - 0.01 \times \text{PSMD}$	0.71

^a $\sqrt{\text{clay \%}}$ added as an extra predictor to ensure consistency of prediction between pressure heads.

^b Bulk density omitted from analysis because of a positive relationship with predictand.

^c Organic carbon % omitted from analysis because of a negative relationship with predictand.

Tabl 12. Data a ragwelwyd a data dilysu ar gyfer y grŵp gweadol 'Sy' (tywod lomog/tywod) (wedi'i gyfrifo o Hollis *et al.*, 2014).

Grŵp	Ystadegyn	Data datblygu % cyfaint cynnwys dŵr			Data dilysu % cyfaint cynnwys dŵr		
		FC	PWP	AWC	FC	PWP	AWC
Sy-strwythuredig	Nifer	85	85		71	71	
	Cymedr	23.5	7.8	15.7	24.2	8.6	15.6
	SD	7.0	3.6		7.5	3.6	
Sy-anstrwythuredig	Nifer	63	63		104	104	
	Amrediad	35.5	12.8		32.0	13.5	
	Cymedr	17.4	4.8	12.6	18.7	4.8	13.9
	SD	7.9	2.9		7.1	2.2	

Tabl 13. Ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth gwead ar gyfer capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol ac AWC a gyfrifwyd (%) (Ffynhonnell: Román Dobarco *et al.*, 2019).

Dosbarth gweadedd	Capasiti cae (0.10 bar)			Pwynt gwywo parhaol (15.8 bar)			AWC
	Nifer	Cymedr	SD	Nifer	Cymedr	SD	Cymedr
Pob un							
Bras	55	18	6	58	8	3	10
Canolig	155	30	4	194	17	5	13
Mân canolig	125	33	2	152	18	4	15
Mân	103	37	6	227	28	5	9
Mân iawn	19	42	6	58	32	3	10
Uwchbridd							
Bras	31	20	6	32	9	3	11
Canolig	41	31	4	50	16	4	15
Mân canolig	47	32	2	53	16	4	16
Mân	17	39	5	20	27	4	12
Mân iawn	2	43	6	2	29	5	14
Isbridd							
Bras	24	15	6	26	7	4	8
Canolig	114	29	4	144	17	5	12
Mân canolig	78	33	2	99	19	4	15
Mân	86	37	7	207	28	5	11
Mân iawn	17	42	6	56	32	3	10

SD = gwyrriad safonol.

Tabl 14. Cyfernodau atchweliad o'r ffwythiannau pedo-drosglwyddo parhaus ar gyfer amcangyfrif lleithder pridd yn ôl capasiti'r cae ($pF = 2.0$, sy'n cyfateb i 0.10 bar) a phwynt gwywo parhaol ($pF = 4.2$, sy'n cyfateb i 15.8 bar) (Ffynhonnell: Román Dobarco *et al.*, 2019).

All horizons						pF = 4.2				
pF = 2.0										
Model	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Clay + Sand	0.278	2.45x10 ⁻³	-1.35x10 ⁻³	-	-	0.080	4.01x10 ⁻³	-2.93x10 ⁻⁴	-	-
Clay + Sand + SOC	0.266	2.46x10 ⁻³	-1.30x10 ⁻³	1.63x10 ⁻²	-	0.074	4.12x10 ⁻³	-2.41x10 ⁻⁴	1.28x10 ⁻³	-
Clay + Sand + BD	0.394	2.29x10 ⁻³	-1.24x10 ⁻³	-	-7.58x10 ⁻²	0.056	4.06x10 ⁻³	-3.14x10 ⁻⁴	-	1.54x10 ⁻²
Clay + Sand + SOC + BD	0.361	2.32x10 ⁻³	-1.24x10 ⁻³	7.56x10 ⁻³	-5.74x10 ⁻²	0.023	4.24x10 ⁻³	-2.63x10 ⁻⁴	5.35x10 ⁻³	3.04x10 ⁻²

Topsoils						pF = 4.2				
pF = 2.0										
Model	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Clay + Sand	0.269	2.92x10 ⁻³	-1.17x10 ⁻³	-	-	0.055	4.57x10 ⁻³	-3.93x10 ⁻⁵	-	-
Clay + Sand + SOC	0.245	2.24x10 ⁻³	-1.14x10 ⁻³	3.34x10 ⁻²	-	0.047	4.31x10 ⁻³	-1.39x10 ⁻⁵	1.08x10 ⁻²	-
Clay + Sand + BD	0.249	2.97x10 ⁻³	-1.18x10 ⁻³	-	1.30x10 ⁻²	0.068	4.54x10 ⁻³	-2.49x10 ⁻⁵	-	-8.61x10 ⁻³
Clay + Sand + SOC + BD	0.127	2.29x10 ⁻³	-1.21x10 ⁻³	4.35x10 ⁻²	7.35x10 ⁻²	-0.029	4.35x10 ⁻³	-6.08x10 ⁻⁵	1.70x10 ⁻²	4.77x10 ⁻²

Subsoils						pF = 4.2				
pF = 2.0										
Model	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
Clay + Sand	0.276	2.46x10 ⁻³	-1.42x10 ⁻³	-	-	0.090	3.84x10 ⁻³	-3.94x10 ⁻⁴	-	-
Clay + Sand + SOC	0.274	2.40x10 ⁻³	-1.40x10 ⁻³	7.90x10 ⁻³	-	0.086	3.97x10 ⁻³	-3.56x10 ⁻⁴	-4.77x10 ⁻³	-
Clay + Sand + BD	0.440	2.13x10 ⁻³	-1.27x10 ⁻³	-	-1.02x10 ⁻¹	0.064	3.92x10 ⁻³	-4.15x10 ⁻⁴	-	1.59x10 ⁻²
Clay + Sand + SOC + BD	0.478	2.07x10 ⁻³	-1.27x10 ⁻³	-2.15x10 ⁻²	-1.21x10 ⁻¹	0.052	4.06x10 ⁻³	-3.69x10 ⁻⁴	-1.65x10 ⁻³	1.99x10 ⁻²

$\theta = a + b \text{ Clay} + c \text{ Sand} + d \text{ SOC} + e \text{ BD}$, where θ is the volumetric soil moisture ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) at a water potential, Clay is clay content in %, Sand is sand content in %, SOC is soil organic carbon concentration (%), and BD is bulk density (g cm^{-3}).

- Defnyddiodd Tóth *et al.* (2015) amrywiaeth o setiau data pridd Ewropeaidd i ddatblygu ffwythiannau pedo-drosglwyddo ar gyfer cyfrifo lleithder pridd yn ôl capasiti'r cae ac ar bwynt gwywo parhaol ar gyfer Ewrop. Defnyddiwyd tri dull ystadegol i gael priodweddau hydrolog meintiol gan ddefnyddio cyfres o newidynnau meintiol neu ansoddol. Dewiswyd mewnbynnau enghreifftiol gan ddefnyddio dull hierarchaidd grisiog a chymharwyd gwallau rhagfynegi i ddewis y model mwyaf dibynadwy. Lle na welwyd unrhyw wahaniaeth ystadegol rhwng modelau, ffafrwyd y model â'r mewnbynnau lleiaf.
- Ar gyfer capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol, roedd y PTFs a argymhellwyd yn seiliedig ar bwyntiau (Tabl 15). Nododd yr awduron, wrth ragfynegi capasiti'r cae, mai'r wybodaeth bwysicaf am bridd oedd PSD neu ddosbarth gwedd, yn dibynnu ar y math o wybodaeth sydd ar gael ar gyfer rhagfynegi. Nid oedd cynnwys dwysedd swmp (BD) yn gwella dibynadwyedd y rhagfynegiadau. Awgrymodd Tóth *et al.* (2015) bod hynny'n debygol o fod oherwydd y defnydd o 0.33 bar fel gwerth capasiti'r cae. Ar y potensial matrices hwnnw (y grym y mae dŵr yn cael ei ddal gan y matrices pridd) mae mandyllau rhyng-agregau ar feintiau sy'n cydberthyn yn gryf â BD wedi draenio eu cynnwys dŵr eisoes.
- Yn ogystal ag amcangyfrif capasiti'r cae, roedd dosbarthiad maint gronynnau a chynnwys carbon organig yn ddigonol i ragweld pwynt gwywo parhaol. Nid oedd cynnwys paramedrau ychwanegol fel dwysedd swmp neu pH yn gwella dibynadwyedd y modelau'n sylweddol. Pennir gwerth y pwynt gwywo parhaol yn bennaf gan ddosbarthiad maint gronynnau oherwydd pan fyddant oddeutu 15 bar mae'r mandyllau'n wag a dim ond dŵr a amsugnwyd ar wyneb gronynnau pridd sydd i'w weld yn y matrices pridd (Rajka *et al.*, 1981).
- Gan ddefnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo FAO Toth *et al.* cyfrifwyd AWC o 13% a 17% ar gyfer priddoedd bras a chanolig, yn y drefn honno. Fel cymhariaeth, mae gwerthoedd yr ALC ar gyfer uwchbridd tywod canolig (bras) a lom clai (gwedd pridd canolig) yn 12% a 18%, yn y drefn honno, yn cyd-fynd ar y cyfan â'r gwerthoedd a gyfrifir gan ddefnyddio ffwythiant pedo-drosglwyddo FAO.
- Defnyddiwyd ffwythiannau pedo-drosglwyddo USDA hefyd i gyfrifo AWC ar gyfer tywod lomog (12%) a lom clai (14%). Fel cymhariaeth, mae gwerthoedd yr ALC ar gyfer uwchbridd tywod lomog

(mân, canolig neu fras) yn 11-18% (y tywod bras lomog sydd â'r gwerth isaf, y tywod mân lomog sydd â'r gwerth uchaf) ac ar gyfer uwchbridd clai, 18%, unwaith eto, yn cyd-fynd ar y cyfan â'r gwerthoedd a gyfrifir gan ddefnyddio ffwythiant pedo-drosglwyddo USDA.

Tabl 15. a) Ffwythiannau pedo-drosglwyddo ar gyfer dosbarthiadau gweadol pridd (dosbarthiadau gwead FAO ac USDA wedi'u haddasu) a b) cyfrifiadau AWC enghreifftiol gan ddefnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo FAO a USDA (Ffynhonnell; Toth *et al.*, 2015).

a)		
Paramedr	Ffwythiannau pedo-drosglwyddo dosbarth gweadol	
	FAO wedi'i addasu	USDA
Capasiti'r cae	Rheol 1 OS FAO_MOD=bras A T/S=is $\theta_{FC} = 0.157$	Rheol 1 OS USDA=S $\theta_{FC} = 0.094$
	Rheol 2 OS FAO_MOD=bras A T/S=uwch $\theta_{FC} = 0.199$	Rheol 2 OS USDA=LS $\theta_{FC} = 0.165$
	Rheol 3 OS FAO_MOD=canolig A T/S=is $\theta_{FC} = 0.280$	Rheol 3 OS USDA=Si,SL $\theta_{FC} = 0.236$
	Rheol 4 OS FAO_MOD=canolig A T/S=uwch $\theta_{FC} = 0.308$	Rheol 4 OS USDA=SC,SCL A T/S=is $\theta_{FC} = 0.255$
	Rheol 5 OS FAO_MOD=mân canolig $\theta_{FC} = 0.326$	Rheol 5 OS USDA=SC,SCL A T/S=uwch $\theta_{FC} = 0.309$
	Rheol 6 OS FAO_MOD=mân, mân iawn $\theta_{FC} = 0.362$	Rheol 6 OS USDA=L,SiL $\theta_{FC} = 0.312$
	Rheol 7 OS FAO_MOD=organig $\theta_{FC} = 0.575$	Rheol 7 OS USDA=CL,SiCL A T/S=is $\theta_{FC} = 0.321$
		Rheol 8 OS USDA=CL,SiCL A T/S=uwch $\theta_{FC} = 0.355$
		Rheol 9 OS USDA=C,SiC $\theta_{FC} = 0.373$
		Rheol 10 OS USDA=O A T/S=uwch $\theta_{FC} = 0.503$
		Rheol 11 OS USDA=O A T/S=is $\theta_{FC} = 0.596$
Pwynt gwywo parhaol	Rheol 1 OS FAO_MOD=bras $\theta_{WP} = 0.069$	Rheol 1 OS USDA=LS,S,Si $\theta_{WP} = 0.050$
	Rheol 2 OS FAO_MOD=canolig $\theta_{WP} = 0.140$	Rheol 2 OS USDA=SL $\theta_{WP} = 0.100$
	Rheol 3 OS FAO_MOD=mân canolig $\theta_{WP} = 0.163$	Rheol 3 OS USDA=L,SiL $\theta_{WP} = 0.136$

	Rheol 4 OS FAO_MOD=mân, organig A T/S=uwch $\theta_{WP} = 0.233$ Rheol 5 OS FAO_MOD=mân, organig A T/S=is $\theta_{WP} = 0.268$ Rheol 6 OS FAO_MOD=mân iawn $\theta_{WP} = 0.325$	Rheol 4 OS USDA=SCL $\theta_{WP} = 0.164$ Rheol 5 OS USDA=CL,SC,SiCL $\theta_{WP} = 0.211$ Rheol 6 OS USDA=C,O,SiC A T/S=uwch $\theta_{WP} = 0.251$ Rheol 7 OS USDA=C,O,SiC A T/S=is $\theta_{WP} = 0.292$
	PTFs Atchweliad	
Capasiti'r cae	$\theta_{FC} = 0.2449 - 0.1887 * (1/(OC+1)) + 0.004527 * CI + 0.001535 * Si + 0.001442 * Si * (1/(OC+1)) - 0.00005110 * Si * CI + 0.0008676 * CI * (1/(OC+1))$	
PWP	$\theta_{WP} = 0.09878 + 0.002127 * CI - 0.0008366 * Si - 0.07670 * (1/(OC+1)) + 0.00003853 * Si * CI + 0.002330 * CI * (1/(OC+1)) + 0.0009498 * Si * (1/(OC+1))$	

b)	Capasiti'r cae (%)	Pwynt gwywo parhaol (%)	Capasiti dŵr sydd ar gael (%)
Data FAO			
Bras	20	7	13
Canolig	31	14	17
Data USDA			
Tywod lomog	17	5	12
Lom clai	36	22	14

7.3 Casgliadau ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn priddoedd

- Cydnabyddir yn gyffredinol y berthynas rhwng gwead pridd a dŵr planhigion sydd ar gael. Fodd bynnag, nid yw'n syml cymharu gwerthoedd AWC â setiau data tabledig eraill o werthoedd AWC bob amser oherwydd gwahaniaethau yn y categorïddio a ddefnyddir mewn systemau eraill. Lle bo cymariaethau'n bosibl, mae'n awgrymu bod gwerthoedd AWC yn yr ALC yn cyd-fynd ar y cyfan â setiau data cyhoeddus eraill.
- Defnyddiwyd ffwythiannau pedo-drosglwyddo i ragweld AWC pridd yn seiliedig ar newidynnau rhagfynegol fel gwead pridd, bylchau cynnwys deunydd organig neu ddwysedd swmp ac ati. Mae'r rhan fwyaf yn defnyddio dadansoddiad atchweliad i gael hafaliadau ar gyfer rhagweld cynnwys dŵr yn ôl, er enghraifft, capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol yn seiliedig ar set ddethol o ragfynegion. Yn yr un modd, i'r setiau data tabledig syml sy'n ymwneud â gwead pridd i AWC, mae'r ffwythiannau pedo-drosglwyddo'n rhagweld gwerthoedd AWC yn unol â'r rhai yn yr ALC. Er enghraifft, mae ffwythiant pedo-drosglwyddo Hollis *et al.* (2014) ar gyfer priddoedd tywod lomog neu dywod yn y DU yn rhagweld AWC o 13-16%, sy'n debyg i'r gwerth ALC ar gyfer uwchbridd tywod lomog sy'n amrywio o 11-18%. Hefyd, cyfrifodd Román Dobarco *et al.*, 2019, werth o 12-14% ar gyfer priddoedd clai, nad yw'n annhebyg i'r gwerth ALC o 17% ar gyfer uwchbriddoedd clai (sylwer bod Román Dobarco *et al.*, 2019, yn defnyddio 0.1 bar ar gyfer capasiti'r cae, o'i gymharu â 0.05 bar ar gyfer ALC sy'n golygu y bydd gwerthoedd ALC yn fwy).

- Yn gyffredinol, mae gwerthoedd tabledig presennol yr ALC ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn priddoedd yn cyfateb bron iawn i werthoedd a gyhoeddwyd mewn mannau eraill ac a gyfrifir mewn papurau a adolygwyd gan gymheiriaid gan ddefnyddio ffwythiannau pedodrosglwyddo, sy'n awgrymu nad oes angen diweddarau'r fethodoleg ar gyfer asesu AWC.

7.4 Capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig

- Gwneir addasiadau pellach i'r amcangyfrifon neu'r dŵr sydd ar gael i gyfrif am bresenoldeb cerrig, creigiau neu haenlin wedi'i strwythuro'n wael iawn gan ddefnyddio'r gwerthoedd yn Tabl 16, isod.

Tabl 16. Dŵr sydd ar gael mewn cerrig a chreigiau (%). (Ffynhonnell: MAFF, 1988).

Math o graig, graean neu garreg	TAV	EA _v
Pob craig neu garreg galed (h.y. y rhai na ellir eu crafu gydag ewin bys)	1	0.5
Tywodfaen graenog meddal, canolig neu fras	3	2
Creigiau neu gerrig igneaidd neu fetamorffig meddal 'hindreuliedig'	4	2
Calchfaen öolitig neu ddolomitig meddal	4	3
Tywodfeini graen mân meddal	5	3
Creigiau neu gerrig meddal cleiog neu siltio	8	5
Calch neu gerrig calch	10	7
Graean ¹ gyda cherrig caled nad ydynt yn fandylllog	2	1
Graean ¹ gyda cherrig mandyllog (mathau o gerrig meddal yn bennaf a restrir uchod)	5	3

¹Graean gydag o leiaf 70% o gerrig crwn yn ôl cyfaint

- Mae cerrig yn lleihau'n uniongyrchol y cyfaint o bridd y gall gwreiddiau ei ddefnyddio, gan leihau capasiti dal dŵr a chyflenwad maetholion ac, wrth i gynnwys cerrig pridd gynyddu, bydd cynnydd cydamserol mewn sychder. Mae Van Orshoven *et al.* (2014) yn adrodd bod >15% o ddarnau bras (a ddiffinnir fel >2 mm) yn lleihau capasiti dal dŵr o leiaf 40%, gan waethygu sychderau tymhorol yn y rhan fwyaf o hinsoddau Ewropeaidd. Yn fwy diweddar, dywedodd Hlaváčiková *et al.* (2018) fod presenoldeb darnau o greigiau mewn pridd cymedrol-i-garegog yn gostwng gallu storio dŵr pridd 23% neu fwy ac yn effeithio ar ddeinameg dŵr y pridd. Mewn cyferbyniad, gall gallu'r pridd i gadw dŵr gynyddu'n sylweddol gyda chyfaint cynyddol o gerrig yn arddangos mandylledd uchel megis gyda chalch (Parajuli, 2018).

7.4.1 Data arall ar y dŵr sydd ar gael mewn creigiau a cherrig

- Mae'r gwerthoedd awgrymedig ar gyfer y dŵr sydd ar gael mewn gwahanol fathau o graig a gyhoeddwyd yn ALC yn amhendant ac yn seiliedig ar dystiolaeth gyfyngedig (MAFF, 1988). Roedd cyfanswm y dŵr a oedd ar gael mewn cerrig a chreigiau yn amrywio o 1% (creigiau neu gerrig caled) i 10% (calch neu gerrig calch); ar gyfer yr un mathau o greigiau, mae'r dŵr sydd ar gael yn rhwydd yn amrywio o 0.5 i 7% (MAFF, 1988). Yn fwy diweddar, dadansoddodd Tetegan *et al.*, 2011, tua 1,900 o samplau cerigos/graeen o wahanol leoliadau, yn bennaf yn rhan ganolog Ffrainc, i bennu priodweddau ffisegol a hydric. Cyfrifwyd y cynnwys dŵr a oedd ar gael ym mhob cerigyn drwy ddefnyddio'r gwahaniaeth rhwng y cynnwys dŵr yn ôl capasiti'r cae a chynnwys dŵr y pwynt gwywo.

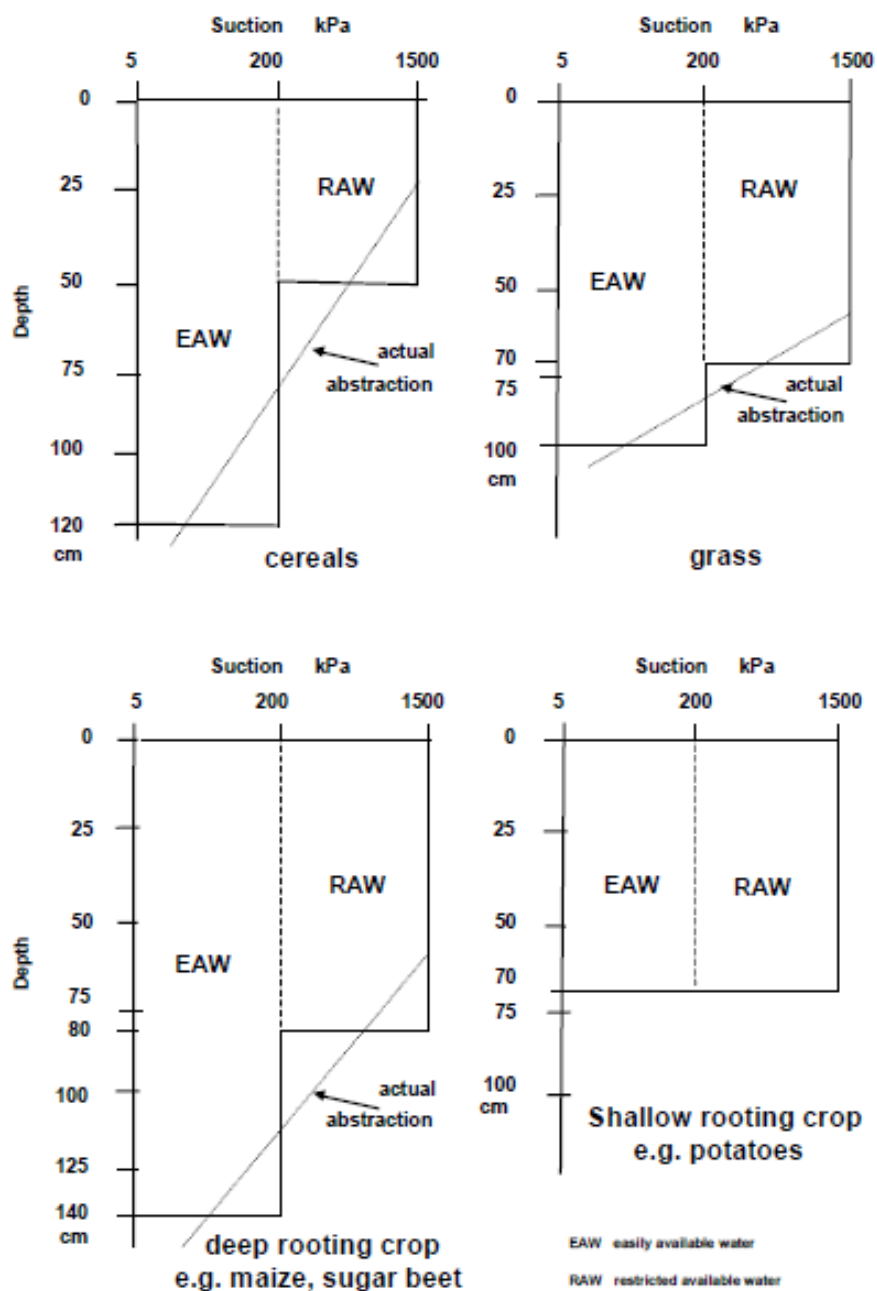
- Dywedodd Tetegan *et al.*, 2011 mai cynnwys dŵr y gwahanol fathau o greigiau yn ôl capasiti'r cae oedd: calch (21%), cornfaen (13%), fflint (6%), *gaize* (31%) a chalchfaen (9%). Defnyddiwyd perthynas linol rhwng W-0.1 bar A bar W-15 (pwynt gwywo) i gael y cynnwys dŵr a oedd ar gael yn y graig. Er enghraifft, cyfrifwyd mai 14% oedd AWC calch. Nid yw hyn yn annhebyg i'r gwerth o 10% a ddefnyddir yn yr ALC.
- Yn ogystal, mae Rempe a Dietrich (2018) wedi awgrymu bod craigwely hindreuliedig dwfn sy'n gallu storio lleithder sydd ar gael i blanhigion yn gyffredin ond heb ei feintoli. Adroddwyd bod hyd at 27% o'r glawiad blynyddol ar safle yng ngogledd California yn cael ei storio fel lleithder creigiau (a ddiffinnir fel: y dŵr cyfnewidadwy sydd wedi'i storio yn y parth annirlawn o graigwely hindreuliedig).

7.4.2 *Casgliadau ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig*

- Er y gall AWC rhai cerrig fod yn >10% (e.e. calch), mae llawer o gerrig caled yn annhebygol o gyfrannu'n sylweddol at y dŵr sydd ar gael mewn pridd gan nad ydynt yn cynnwys unrhyw fandyllau sy'n gallu dal dŵr. Er hynny, mae rhywfaint o ymchwil mewn gwledydd eraill (e.e. Tetegan *et al.*, 2011; Rempe a Dietrich, 2018 a adroddwyd uchod) wedi awgrymu y gallai AWC rhai mathau o greigiau fod yn uwch na'r hyn a adroddwyd gan MAFF (1988), ond nid yw hyn wedi'i fesur ar gyfer creigiau yng Nghymru. Ar hyn o bryd, nid oes digon o dystiolaeth i ddiweddu'r gwerthoedd AWC ar gyfer creigiau a restrir yn y canllawiau ALC.

7.5 *Cyfrifo capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP)*

- Mae'r cyflenwad dŵr sydd ar gael mewn pridd ar gyfer cnydau'n dibynnu ar briodweddau'r pridd a phatrymau gwreiddio cnydau. Diffiniodd Thomasson (1979) y dŵr sydd ar gael mewn pridd i blanhigion (SWAP) fel cyfanswm y dŵr y gellir ei echdynnu gan wreiddiau planhigion. Mae Ffigur 19 yn gynrychiolaeth raffigol o'r modelau gwreiddio cnydau wedi'u symleiddio a gynigiwyd yn wreiddiol gan Thomasson (1979). Maent yn seiliedig ar batrymau dyfnder gwreiddio delfrydol ar gyfer cnydau â'r (glaswellt, grawnfwydydd, betys siwgr a thatws) yng ngogledd Ewrop. Mae'r modelau'n tybio bod cyfran uchel o wreiddiau planhigion, mewn rhai achosion cymaint â 70%, i'w gweld yn rhan uchaf o broffil y pridd (0-50 cm). Byddai disgwyl i wreiddiau yn yr uwchbridd echdynnu'r holl ddŵr sy'n cael ei ddal gan ronynnau pridd mewn tensiynau yn yr amrediad 0.05-15 bar. Fodd bynnag, mae dwyseddau gwraidd planhigion yn llawer llai yn aml yn yr isbridd dyfnach ac yn llai effeithlon wrth echdynnu dŵr (e.e. >50 cm o ddyfnder) lle, yn ymarferol, mai dim ond y dŵr sydd ar gael yn hawdd (0.05-2.0 bar) sy'n cael ei echdynnu.



Figur 19. Modelau tynnu dŵr gwreiddiau ar gyfer cynydu â'r tymherus yng ngogledd Ewrop.

D.S. EAW: dŵr sydd ar gael yn hawdd, dŵr a gaiff ei ddal yn 0.05-2.0 bar; RAW: dŵr cyfyngedig sydd ar gael, dŵr a gaiff ei ddal yn 2-15 bar; TAW: cyfanswm y dŵr sydd ar gael yw EAW + RAW. Ffynhonnell: Jones *et al.* (2000) yn seiliedig ar Thomasson (1979).

- Yn unol â Thomasson (1979) mae'r canllawiau yn yr ALC yn tybio bod gwreiddiau grawnfwyd yn tyfu i c.120 cm a thatws i c.70 cm o dan amodau ffafriol. Fodd bynnag, mae systemau gwreiddiau grawnfwydydd yn llai datblygedig islaw 50 cm ac felly maent yn llai abl i echdynnu dŵr y tu hwnt i'r dyfnder hwnnw. Ar hyn o bryd, nid oes canllawiau yn yr ALC ar gyfer cyfrifo capasiti dŵr wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer glaswellt na betys siwgr. Fodd bynnag, mae Thomasson (1979) yn awgrymu y dylid cyfrifo'r dŵr sydd ar gael yn y pridd i laswellt parhaol i 100 cm gan ystyried cyfanswm y dŵr sydd ar gael (0.05-15 bar) i 70 cm a'r dŵr sydd ar gael yn hawdd (0.05-2.0 bar) o

70-100 cm. Ac ar gyfer betys siwgr, dylid cyfrifo'r dŵr sydd ar gael yn y pridd i 130 cm gan ystyried cyfanswm y dŵr sydd ar gael (0.05-15 bar) i 80 cm a'r dŵr sydd ar gael yn hawdd (0.05-2.0 bar) o 80-130 cm (Ffigur 19). Sylwer mai dim ond canllawiau ar gyfrifo'r AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith a thatws y mae'r ALC yn ei gynnwys ar hyn o bryd.

- Er mwyn cyfrifo capasiti dŵr sydd ar gael yn y pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) (mm) yr ALC ar gyfer gwenith neu datws, mae cyfanswm y dŵr sydd ar gael (TA_v) neu ddŵr sydd ar gael yn hawdd (EA_v) ym mhob haen bridd yn cael ei luosi â thrwch yr haen. Ar gyfer gwenith, ychwanegir gwerth pob haen at ddyfnder o 120 cm a'i addasu gan ddefnyddio EA_v fel y bo'n berthnasol; ar gyfer tatws nid oes angen unrhyw addasiadau gan ddefnyddio EA_v . Dengys Tabl 17 y cyfrifiadau capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) ar gyfer gwenith a thatws.

$$AP \text{ wheat (mm)} = \frac{TA_{vt} \times LT_t + \sum (TA_{vs} \times LT_{50}) + \sum (EA_{vs} \times LT_{50-120})}{10}$$

TA_{vt} yw Cyfanswm y dŵr sydd ar gael (TA_v) ar gyfer gwead yr uwchbridd

TA_{vs} yw Cyfanswm y dŵr sydd ar gael (TA_v) ar gyfer pob haen o isbridd

Mae EA_{vs} yn ddŵr sydd ar gael yn hawdd (EA_v) ar gyfer pob haen o isbridd

LT_t yw trwch (cm) haen o uwchbridd

LT_{50} yw trwch (cm) pob haen o isbridd i ddyfnder 50 cm

LT_{50-120} yw trwch (cm) pob haen o isbridd i ddyfnder o rhwng 50 a 120 cm

Ystyr Σ yw 'swm'.

$$AP \text{ potatoes (mm)} = \frac{TA_{vt} \times LT_t + \sum (TA_{vs} \times LT_{70})}{10}$$

Lt_{70} yw trwch (cm) pob haen o isbridd i ddyfnder o 70 cm

Tabl 17. Cyfrifiad yr ALC o'r capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd-AP (mm) ar gyfer gwenith a thatws (Ffynhonnell MAFF, 1988).

- Dengys Tabl 18 y capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith ar gyfer dosbarthiadau gwead pridd yr ALC. Yn seiliedig ar fodel gwreiddio Thomasson (1979) tybir bod dyfnder yr uwchbridd yn 0-30 cm a dyfnder yr isbridd yn 30-120 cm. Mae'r TA_v uwchbridd (Tabl 18) wedi'i ddefnyddio ar gyfer yr haen 0-30 cm, y TA_v isbridd ar gyfer yr haen 30-50 cm a'r EA_v isbridd ar gyfer yr haen 50-120 cm. Yn gyffredinol, mae'r gwenith AP (yn seiliedig ar wead pridd unigol yn y proffil pridd drwyddo draw a chyflwr isbridd cymedrol) yn amrywio o 78 i 213 mm, er bod y gwenith AP yn >150 mm ar gyfer y rhan fwyaf o ddosbarthiadau gweadol. Mynegir y dŵr sydd ar gael fel canran cyfeintiol fel, er enghraifft, ar gyfer uwchbridd clai yn Nhabl 18 gyda chyfanswm y dŵr sydd ar gael yn yr uwchbridd (TA_v) o 17%, bod hyn yn cyfateb i 170 mm o ddŵr fesul 1 m o bridd, sy'n cyfateb i 51mm i ddyfnder o 30 cm (h. y. 30% o 170 mm).
- Gwneir addasiadau pellach i'r gwerthoedd i gyfrif am bresenoldeb cerrig, craig neu haenlin wedi'i strwythuro'n wael iawn a haenlinau isbridd gyda gweadau tywod bras (gweler Adran 7.4).

Tabl 18. Capasiti dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) ar gyfer gwenith yn nosbarthiadau gweadol pridd yr ALC. Mae pob cyfrifiad yn seiliedig ar fath unigol o bridd i 1.2 m (cyflwr isbridd: cymedrol).

Pridd	Dyfnder	TA _v	EA _v	Cyfrifiad	Cyfanswm AP (mm)
Clai (cyfrifiad estynedig)					
Uwchbridd	0-30	17%		300 x 17% = 51 mm	139
Isbridd 1	30-50	16%		200 x 16% = 32 mm	
Isbridd 2	50-120		8%	700 x 8% = 56 mm	
Gweadau pridd eraill					
	Uwchbridd	Isbridd			
Clai siltiog	17	15	8		137
Clai tywodlyd	17	15	10		151
Lom clai tywodlyd	17	15	10		151
Lom clai	18	16	10		156
Lom clai siltiog	19	17	10		161
Lom silt	23	22	14		211
Lom siltiog tywodlyd mân	22	21	15		213
Lom silt tywodlyd canolig	19	17	11		168
Lom silt tywodlyd bras	19	19	11		172
Lom tywodlyd mân	18	18	13		181
Lom tywodlyd canolig	17	15	11		158
Lom tywodlyd bras	17	16	11		160
Tywod lomog mân	18	15	13		175
Tywod lomog canolig	13	9	6 (4.8)*		91
Tywod lomog bras	11	8	6 (4.8)*		83
Tywod canolig	12	7	5 (4)*		78

*Mae gwerthoedd ar gyfer tywod lomog canolig, tywod lomog bras a haenlinau isbridd tywod canolig wedi'u gostwng 20% yn unol â chanllawiau'r ALC

7.6 Tybiaethau gwreiddio a chnydau cyfeirio'r ALC

- Mae'r tybiaethau ar gyfer dyfnder gwreiddio a ddefnyddir yn yr ALC wedi'u hamlinellu yn yr adran flaenorol. Fodd bynnag, maent yn seiliedig ar y data sydd c.40 oed ac mae'n hanfodol sefydlu a yw'r data'n dal i fod yn gynrychioliadol o fathau modern o wenith a thatws.

7.6.1 Trosolwg gwreiddio

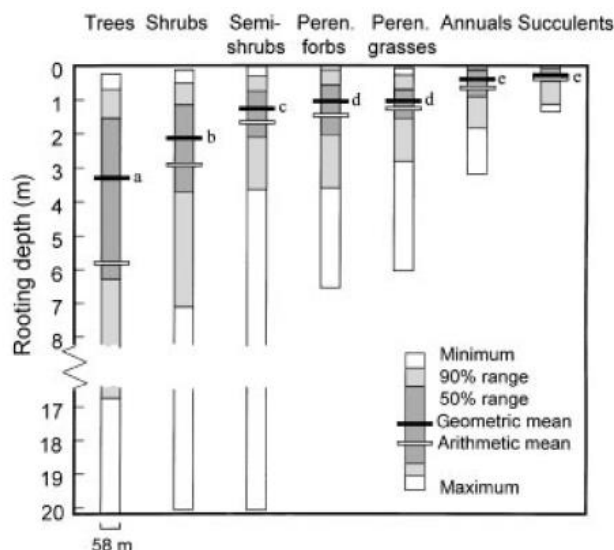
- Mae gwreiddiau planhigion yn hanfodol ar gyfer mewnlifiad dŵr a maetholion sy'n rheoli cynnyrch ac ansawdd deunydd sych. Mae twf gwreiddiau'n dymhorol iawn ond yn cael ei gyfyngu gan ffactorau eraill, megis nodweddion lleithder pridd (sychder neu ddyfrlawnder) neu argaeledd maetholion. Mae nodweddion gwreiddio yn bwysig gan eu bod yn pennu'r cyfaint o bridd sy'n cael ei ddefnyddio gan wreiddiau a pha mor effeithlon y mae dŵr yn cael ei echdynnu o'r pridd hwnnw. Mae faint o ddŵr sydd ar gael i'r cnwd yn dibynnu ar wead y pridd (yn uwch mewn

priddoedd clai a silt), y cynnwys deunydd organig, y dyfnder gwreiddio (dyfnder i haen sy'n rhwystro) a'r cynnwys cerrig.

- Mae dyfnder gwreiddio planhigion yn effeithio ar allu ecosystemau i wrthsefyll straen amgylcheddol fel sychder (Fan *et al.*, 2017). Fodd bynnag, nid yw dyfnder gwreiddio'n nodwedd sefydlog o rywogaethau neu gyltffarau planhigion unigol o reidrwydd a bydd twf gwreiddiau'n amrywio yn dibynnu ar amodau'r pridd a'r hinsawdd. Er enghraifft, mae lluosogiad gwreiddiau mewn micro-safleoedd pridd sy'n llawn maetholion yn ffenomenon sydd wedi'i chofnodi'n dda (Hodge 2004). Gall sychu mewn pridd achosi lluosogiad gwreiddiau ar ddyfnderoedd is hefyd lle mae lleithder yn dal i fod yn helaeth (Skinner *et al.*, 1998; Skinner, 2008).
- Mae dyfnder gwreiddio, morffoleg gwreiddiau a phensaerniaeth gwreiddiau i gyd yn dylanwadu ar allu planhigion i gael gafael ar ddŵr a maetholion (Nichols *et al.*, 2016). Mae cyfran uwch o fâs gwreiddiau mewn haenau pridd dyfnach, neu uchafswm dyfnder gwreiddio mwy, yn debygol o gynyddu mynediad i ddŵr yn yr isbridd (Grieu *et al.*, 2001) a chynyddu'r gallu i ddal maetholion symudol fel nitrad, (Dunbabin *et al.*, 2003).
- Mae'r canllawiau presennol yn yr ALC ar gyfer cyfrifo AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd yn seiliedig ar ddyfnder gwreiddio o 120 cm ar gyfer gwenith gaeaf a 70 cm ar gyfer tatws a chaiff gwerthoedd haenlinau eu crynhoi i'r dyfnderoedd hynny. Fodd bynnag, mae'r tybiaethau hyn yn seiliedig ar fodelau gwreiddio Thomasson (1979) ac felly'n ymwneud â mathau o wenith a thatws a dyfwyd yn gyffredin dros 40 mlynedd yn ôl. O ganlyniad, mae angen asesu a yw'r dyfnderoedd gwreiddio hyn yn dal i fod yn berthnasol ar gyfer mathau mwy modern.

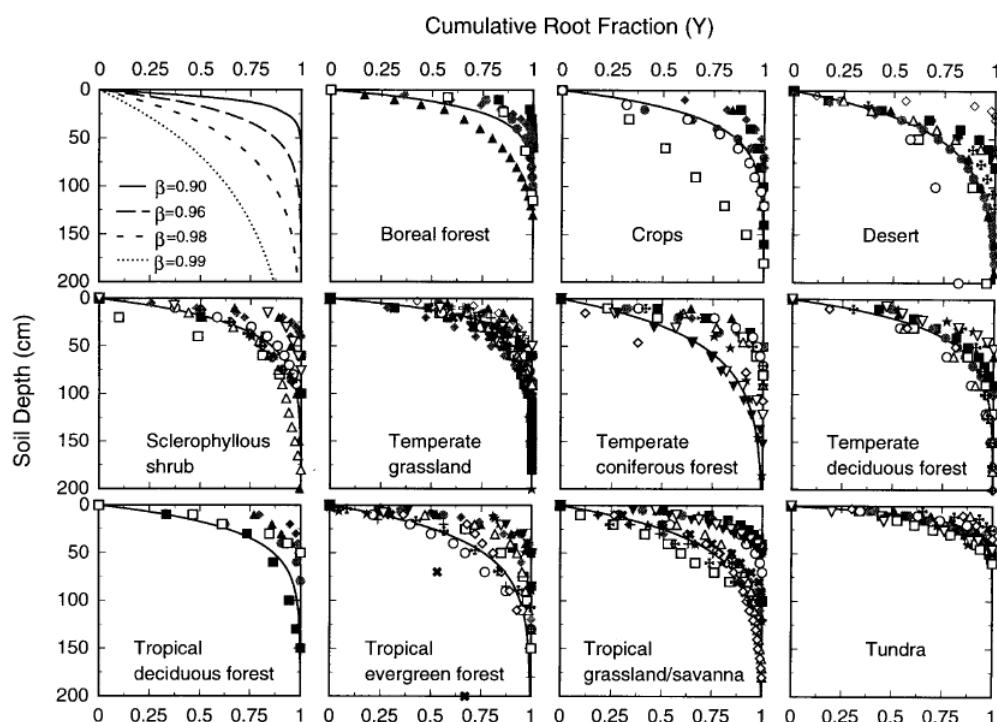
7.6.2 Dyfnder gwreiddiau

- Mewn dadansoddiad byd-eang, canfu Canadell *et al.* (1996) uchafswm dyfnder gwreiddio o 2.1 ± 0.2 m ar gyfer tir dan gnwd; ar gyfer gwenith, roedd y dyfnder mwyaf a gofnodwyd yn amrywio o 1 i 3 m yn Lloegr ac Awstralia, yn y drefn honno. Fel cymhariaeth, adroddodd Schenk a Jackson (2002) uchafswm dyfnder cymedrig o 0.6 m ar gyfer cnydau blynyddol, er bod amrywiad mawr o amgylch y gwerth cymedrig (Ffigur 20).



Ffigur 20. Dyfnder gwreiddio mwyaf ffurfiau twf planhigion. (Ffynhonnell: Schenk a Jackson, 2002).

- Awgrymodd Schenk (2008) fod nifer o ffactorau ecolegol yn ffafrio gwreiddiau bas yn hytrach na gwreiddiau dwfn a bod proffiliau gwreiddiau'n tueddu i fod mor fas â phosibl. Mae'r rhan fwyaf o wreiddiau i'w gweld mewn dyfnderoedd llawer mwy bas lle mae crynodiadau o nitrogen, ffosfforws a photasiwm yn tueddu i fod ar eu uchaf (Jobbágy a Jackson, 2001); mae diffygion ocsigen leiaf tebygol mewn haenau pridd bas hefyd. Adroddodd Jackson *et al.*, 1996 fod 70% o wreiddiau 'cnwd' a reolir ar gyfartaledd gan gynnwys gwenith, haid, India corn, ffa soia a phys i'w gweld yn y 30 cm uchaf (Ffigur 21).

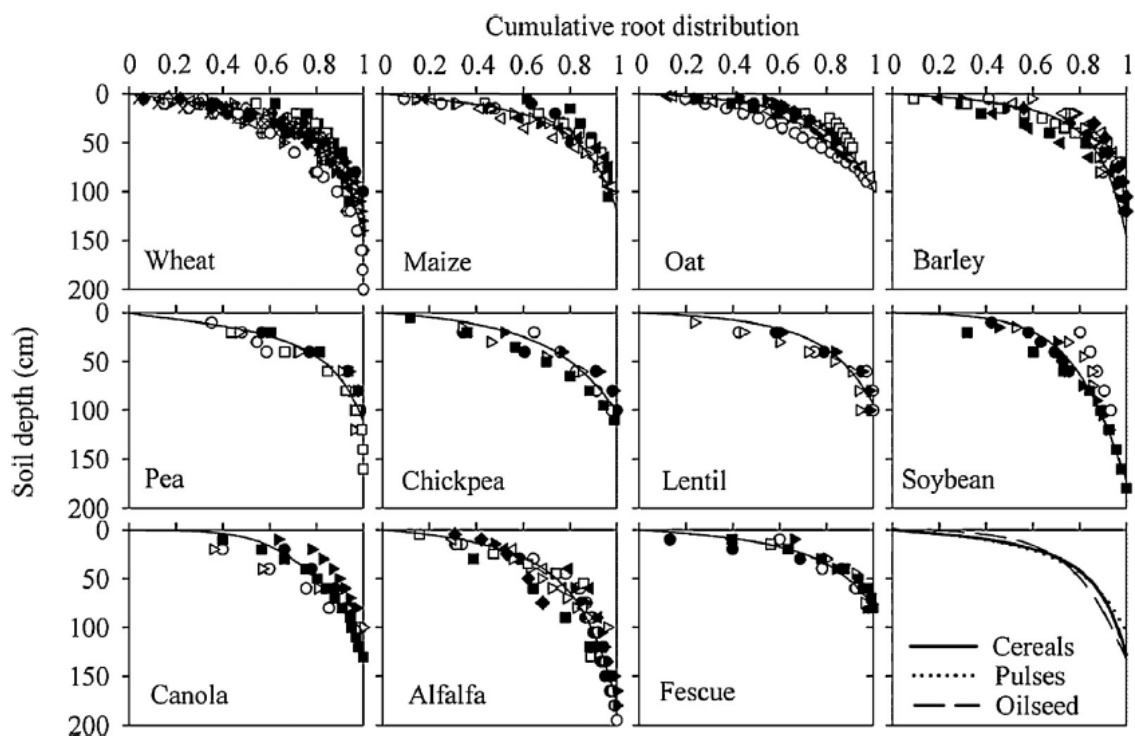


Ffigur 21. Dosbarthiad gwreiddiau cronus fel ffwythiant o ddyfnder pridd ar gyfer un ar ddeg o fïomau daearol.

7.6.3 Dyfnder gwreiddiau gwenith gaeaf

- Mae dyfnder gwreiddio effeithiol (h.y., lle mae mewnlifiad dŵr a maetholion sylweddol yn digwydd) y cnydau a dyfir amlaf rhwng 0.5 ac 1.5 m fel arfer (Fan *et al.*, 2016). India corn, gwenith, reis a ffa soia yw'r cnydau a dyfir fwyaf ar gyfer cynhyrchu bwyd y fyd-eang a dim ond gwenith gaeaf sy'n cyrraedd dyfnderoedd gwreiddio sy'n fwy nag 1.5 m (Thorup Kristensen *et al.*, 2020).
- Lluniodd Fan *et al.* (2016) gronfa ddata o 96 o broffiliau a phatrwm dosbarthu gwreiddiau ar gyfer 11 cnwd tymherus. Roedd y data wedi'i ffio i gromlin ymateb dos logistaidd wedi'i haddasu i amcangyfrif y proffil dosbarthu gwreiddiau'n fanwl. Ar gyfer gwenith, digwyddodd 95% o wreiddiau gwenith yn yr 1.04 m uchaf gydag uchafswm dyfnder gwreiddio o 1.50 m; y dyfnder amcangyfrifedig lle'r oedd 50% o gyfanswm y gwreiddiau wedi'u cronni oedd 16 cm. Daeth yr awduron i'r casgliad mai'r parth gwraidd effeithiol ar gyfer gwenith (y dyfnder lle mae'r rhan fwyaf o wreiddiau wedi'u crynhoi) oedd 0.50-1 m, Ffigur 22. Nododd Fan *et al.* (2016) fod yr amcangyfrif o'r dyfnder gwreiddio mwyaf (o'u hafaliad) yn fwy bas fel arfer na'r dyfnderoedd gwreiddio dyfnaf a welwyd a gafwyd o lenyddiaeth (3 m). Mae sawl ffactor yn gallu cyfyngu ar ddyfnder twf gwreiddiau, megis dwysedd swmp y pridd, strwythur y pridd, statws ocsigen, creigwely, lefel trwythiad, felly mae'r arsylwadau dyfnaf o wreiddiau i'w gweld yn bennaf mewn

priddoedd tywodlyd llac, lle mae rhwystriant mecanyddol i dreiddiad gwreiddiau'n llai na mewn llawer o briddoedd eraill (Canadell *et al.*, 1996).



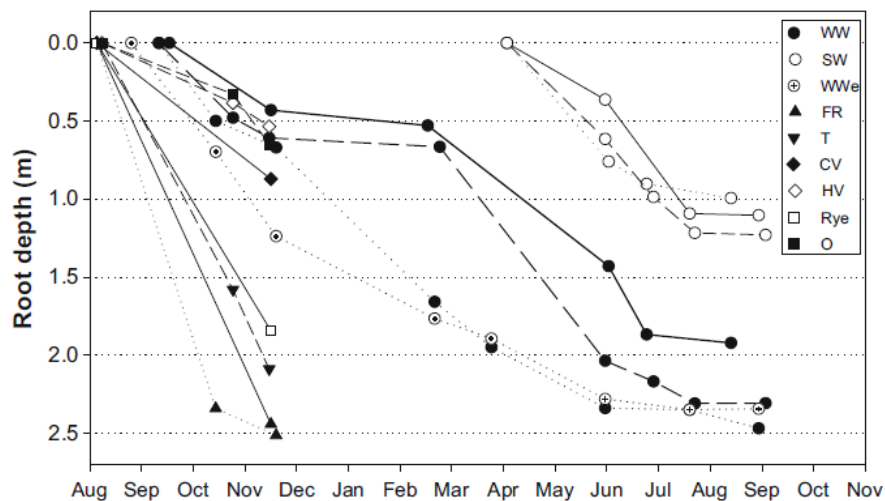
Ffigur 22. Dosbarthiad gwreiddiau cronus fel ffwythiant o ddyfnder pridd ar gyfer 11 cnwd (Fan *et al.*, 2016).

- Yn y DU, adroddir yn aml mai tua 2 m yw dyfnder gwreiddio mwyaf grawnfwydydd y *gaeaf*, (Gregory *et al.*, 1978; Gales, 1983; Lucas *et al.*, 2000) gyda thwf gwraidd yn parhau hyd at flodeuo (Lucas *et al.*, 2000). Fodd bynnag, fel y nodwyd gan Fan *et al.* (2016) mae'r rhan fwyaf o'r gwreiddiau'n llawer mwy bas; adroddodd Barraclough (1984) ar gyfer system gwreiddiau gwenith aeddfed: roedd 60-70% o hyd y gwraidd i'w weld yn y 0.3 m uchaf, 20-25% arall o fewn y 0.3 m nesaf a llai nag 1-2% islaw 1 m. Fodd bynnag, mae llawer o amodau twf yn newid y dosbarthiad gwreiddiau'n sylweddol o'r patrwm cyffredinol. Dylanwadir ar y dyfnder gwreiddiau mwyaf gan ddyfnder gwlychu pridd, math o bridd a hyd y cyfnod llystyfol (hau i flodeuo) fel y'i pennwyd gan ryngweithiadau dyddiad hau, mathau ac amodau tymhorol (Kirkegaard a Lilley, 2007).
- Nid oes tystiolaeth gref ar gyfer gwahaniaethau mawr o ran dyfnder gwreiddio rhwng y mathau o wenith a dyfir yn fasnachol yn y DU ar hyn o bryd (Bai *et al.* 2019; Hodgkinson *et al.* 2017; White *et al.* 2015). Fodd bynnag, mae rhywfaint o dystiolaeth bod rhai mathau'n fwy effeithiol o ran cael gafael ar ddŵr dwfn nag eraill (Whalley *et al.* 2017) a all fod yn gysylltiedig â dwysedd hyd gwraidd (RLD, hyd gwraidd fesul uned cyfaint pridd)., Adroddodd White *et al.* (2015) bod dwysedd hyd gwraidd brig RLD yn fwy bas mewn cyltifarau gwenith gaeaf modern yn y DU ar 0.36 m nag mewn cyltifarau hŷn a ryddhawyd yn y 1970au a'r 1980au ar 0.86 m, gan awgrymu y gallai mathau modern fod yn llai effeithlon o bosibl o ran cael gafael ar ddŵr ar ddyfnderoedd is.
- Nododd Barraclough (1989) fod sychder yn lleihau twf gwreiddiau yn yr uwchbridd er bod rhywfaint o dwf cydadferol yn yr isbridd pe bai nitrogen ar gael. Roedd sychder yn cynyddu dyfnder gwreiddio o 1.4 m i 1.6 m er bod dwysedd y gwreiddiau mewn dyfnder yn isel (<0.1

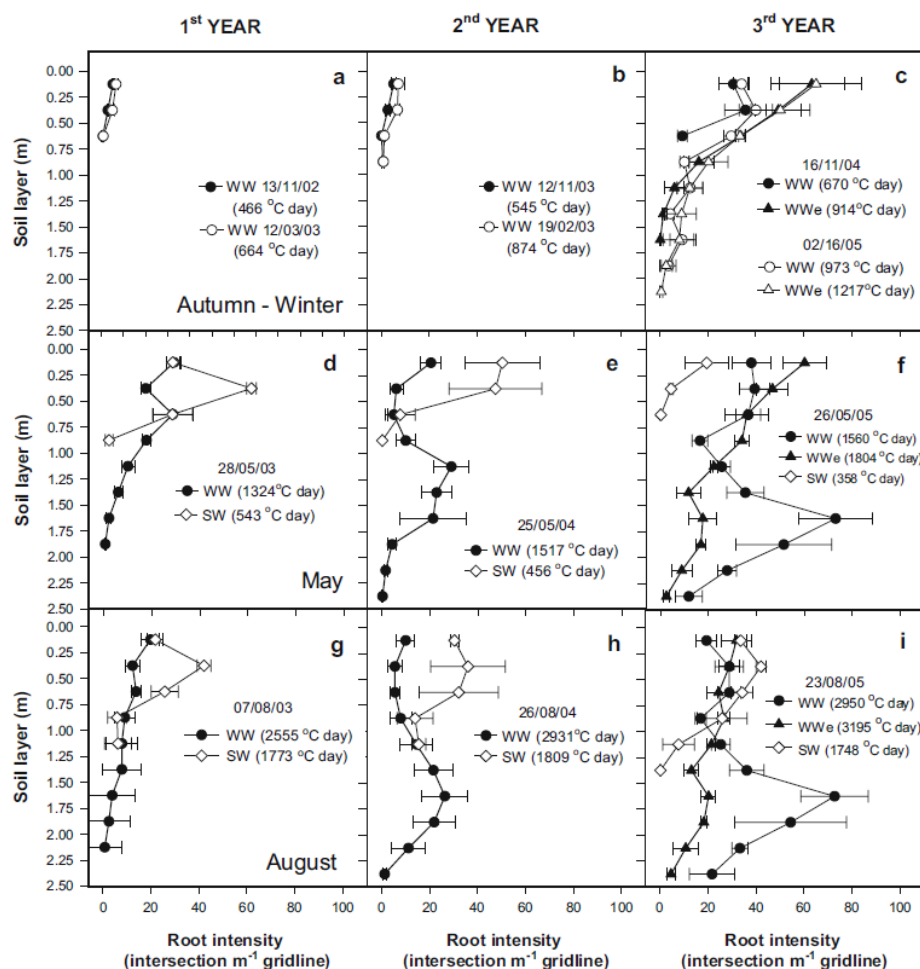
cm/cm³) o'i gymharu â'r uwchbridd (5-9 cm/cm³). Mewn amodau sychder a chyda chyflenwad o nitrogen, canfuwyd bod dwysedd gwreiddio o 1 cm/cm³ yn ddigonol i ganiatáu i'r holl ddŵr sydd ar gael gael ei echdynnu i ddyfnder o 0.8 m. Islaw'r dyfnder hwn, roedd mewnlifiad dŵr wedi'i gyfyngu gan dwf gwreiddiau.

7.6.4 Dyfnder gwreiddiau grawnfwyd gwanwyn

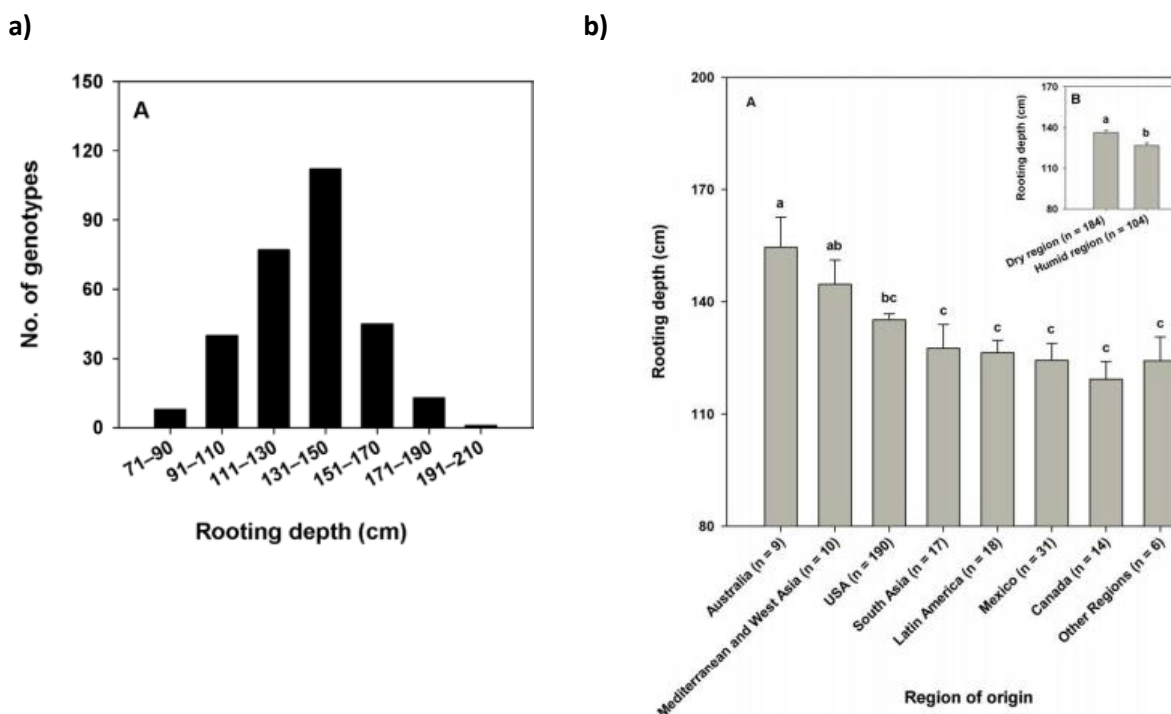
- Mesurodd Thorup-Kristensen *et al.* (2009) wahaniaethau mawr rhwng dyfnder a dosbarthiad gwreiddiau gwenith gwanwyn a gwenith gaeaf. Er bod gwenith gaeaf a gwanwyn yn tyfu ar gyfradd debyg (1.3 mm/°C y dydd) roedd y cyfnod tyfu hwy ar gyfer gwenith gaeaf yn golygu ei fod yn cyrraedd dyfnder o 2.2 m, ddwywaith cymaint â gwenith gwanwyn (1.1 m). Hefyd, pan heuwyd gwenith gaeaf yn gynnar ym mis Awst, mesurwyd datblygiad gwreiddiau llawer dyfnach erbyn mis Tachwedd o'i gymharu â gwenith gaeaf a heuwyd ym mis Medi (Ffigur 23). Erbyn y gwanwyn, a fesurir ym mis Mai, roedd gwenith gaeaf wedi cyrraedd y dyfnder mesur mwyaf o 2.5 m, tra bod gan wenith gwanwyn a heuwyd ddiwedd mis Mawrth wreiddiau hyd at 0.75 m erbyn mis Mai. Yn ystod camau twf cynnar, dangosodd gwenith ei ddwysedd gwreiddiau mwyaf yn yr uwchbridd, ond mesurwyd y dwysedd gwreiddiau mwyaf o dan 1 m ym mis Mai ac adeg cynhaeaf (Ffigur 24). Roedd dwysedd gwreiddiau gwenith gwanwyn yn yr haenau pridd uchaf (0–0.75 m) yn uwch na dwysedd gwreiddiau gwenith gaeaf fel arfer.
- Ymchwiliodd Narayanan *et al.* (2014) i amrywioldeb 297 genoteip o wenith gwanwyn a chanfu bod y dyfnder gwreiddio mwyaf yn amrywio o <1 m i bron i 2 m (roedd y rhan fwyaf yn gwreiddio i rhwng 1.3 a 1.5 m), Ffigur 25. Roedd gan y rhanbarth tarddiad effaith sylweddol ar ddyfnder gwreiddio. Roedd gan genoteipiau a ddeilliiodd o ranbarthau sych (Awstralia, Mediteranaidd a gorllewin Asia) ddyfnder gwreiddio mwy na'r rhai o ranbarthau llaith (de Asia, America Ladin, Mecsico, a Chanada). Awgrymodd yr awduron y gallai genoteipiau gwenith gwanwyn a ddatblygodd yn yr ardaloedd sychach hynny fod wedi addasu drwy gynyddu dyfnder gwreiddio i ddal dŵr o haenau dyfnach y pridd.



Ffigur 23. Treiddiad dyfnder dros amser gan wenith gaeaf (WW), gwenith gaeaf a heuwyd yn gynnar (WWe) gwenith gwanwyn (SW) a gwreiddiau byrnnyddau. Llinellau solid yw'r flwyddyn 1^{af}, llinellau toredig yw'r 2^{il} flwyddyn a llinellau dotiog yw'r 3^{edd} flwyddyn (Ffynhonnell: Thorup-Kristensen *et al.*, 2009).



Ffigur 24. Dosbarthiad dyfnder dwysedd gwreiddiau ar gyfer gwenith gaeaf (WW), gwenith gaeaf a heuwyd yn gynnar (WWe) a gwenith gwanwyn (SW). Daw'r data o flwyddyn 1 (a, d ac e), blwyddyn 2 (b, e ac h) a blwyddyn 3 (c, f ac i). Mae'r dyddiad yn dangos y diwrnod mesur a dangosir y tymheredd thermol cronedig ers hau mewn cromfachau. Mae bariau gwallau yn cynrychioli gwallau safonol ($n = 3$) (Ffynhonnell. Thorup-Kristensen *et al.*, 2009).



Ffigur 25. Dosbarthiad dyfnder gwreiddio ymhlith 297 o genoteipiau gwenith gwanwyn yn ôl a) dyfnder (cm) a b) rhanbarth tarddiad (Ffynhonnell: Narayanan *et al.*, 2014).

7.6.5 Dyfnder gwreiddiau tatws

- Archwiliodd Stalham ac Allen (2001) effaith gwahanol arferion rheoli ar ddyfnder, cyfradd, hyd a dwysedd twf gwreiddiau mewn tatws. Roedd y dyfnder gwreiddio mwyaf yn amrywio o 0.59 i 1.4 m, gan ddangos y gall tatws wreiddio i ddyfnderoedd sylweddol a chael mynediad i gyfeintiau mawr o ddŵr (Tabl 19). Y ffordd orau o ddisgrifio estyniad gwreiddiau'n fertigol drwy'r proffil pridd oedd fel proses tri cham: cyfnod cyflym cychwynnol sy'n para 3–5 wythnos gyda chyfraddau twf c. 1.2 cm/dydd, ail gyfnod o dwf arafach (c. 0.8 cm/dydd), ac yna rhoi'r gorau i estyniad gwreiddiau am weddill oes y cnwd. Cafodd y math ddylanwad mawr ar ddyfnder y gwreiddiau yn y pen draw, yn bennaf oherwydd amrywiadau yn hyd y gwahanol gyfnodau o wreiddio yn hytrach na'r gyfradd ym mhob cyfnod. Roedd gan Cara systemau gwreiddio dyfnach yn gyson na mathau eraill (>1m) tra bod gan Estima'r gwreiddiau mwyaf bas yn gyson (<0.9 m). Effeithiwyd ar ddyfnder gwreiddio pob math gan batrwm dŵr y pridd mewn llawer o arbrofion (Tabl 20).

Tabl 19. Effaith y tymor, safle, dyddiad plannu a phatrwm dyfrhau ar y dyfnder gwreiddio mwyaf (cm) yn y Cofnod mathau (arbrofion 1–6) (Ffynhonnell: Stalham ac Allen, 2001).

Arbrawf	Blwyddyn	Safle	Dyddiad plannu	Patrwm dyfrhau	Dyfnder mwyaf (cm)	SE (DF)*
1	1987	CUF	15 Ebrill	Dim	90	1.2 (21)
				Hwyr	87	
			6 Mai	Dim	87	
				Hwyr	88	
2		Gleadthorpe	6 Ebrill	Cynnar	59	8.8 (9)
				Hwyr	71	
			5 Mai	Cynnar	93	
				Hwyr	106	
3	Terrington	5 Mai	-	117	12.1 (7)	
4	1988	CUF	8 Ebrill	Cynnar	89	0.8 (21)
				Hwyr	88	
			6 Mai	Cynnar	88	
				Hwyr	90	
5		Gleadthorpe	11 Ebrill	Cynnar	105	9.2 (9)
				Hwyr	127	
			5 Mai	Cynnar	100	
				Hwyr	102	
6	Terrington	6 Mai	-	109	8.9 (7)	

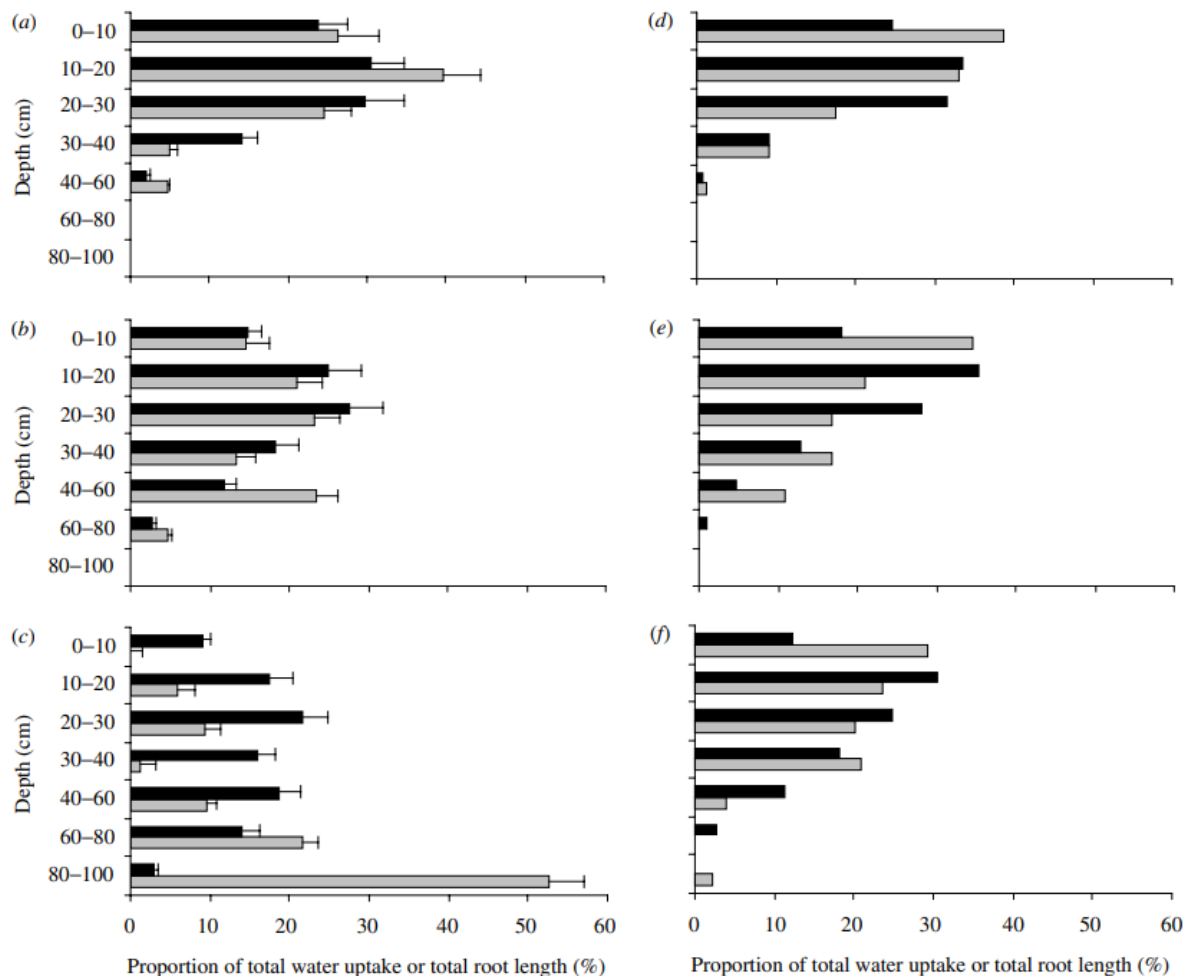
*SE: gwall safonol y cymedr. DF: graddau o ryddid

Tabl 20 Effaith y patrwm dyfrhau a mathau ar y dyfnder gwreiddio mwyaf (cm) yn arbrofion 7, 8, 9 ac 11 (Ffynhonnell: Stalham ac Allen, 2001).

Arbrawf	Math	Patrwm dyfrhau	Dyfnder mwyaf (cm)	SE (DF)*
7	Record	Sych	118	8.4 (6)
		Llaith	99	
		Gwlyb	88	
8	Cara	Sych-Sych	140	8.3 (6)
		Sych-Gwlyb	115	
		Gwlyb-Sych	120	
9	Estima	Sych	90	3.1 (10)
		Gwlyb	88	
	Record	Sych	100	
		Gwlyb	97	
	Cara	Sych	110	
		Gwlyb	104	
11	Estima	Sych	88	4.5 (10)
		Llaith	89	
		Gwlyb	80	
	Cara	Sych	118	
		Llaith	115	
		Gwlyb	105	

*SE: gwall safonol y cymedr. DF: graddau o ryddid

- Archwiliodd Stalham ac Allen (2004) effaith y patrwm dyfrhau ar fewnlifiad dŵr gan gnydau tatws. Roedd yr holl gnydau wedi gwreiddio i ddyfnder sylweddol ac roedd yr amrywiad yn y dyfnder terfynol yn gysylltiedig ag amodau'r pridd. Roedd cyfraniad y gwreiddiau dyfnaf o dan bob patrwm dŵr yn sylweddol ac yn llawer mwy na'r hyn a ddisgwyliwyd gan yr awduron. Y dyfnderoedd echdynnu mwyaf a oedd 90-120 cm a chyrrhaeddwyd y dyfnderoedd echdynnu hyn yn gyflym, 55-75 diwrnod ar ôl ymddangos fel arfer ac felly ymhell cyn dechrau'r heneiddiad yn y prif fathau o gnydau a dyfir yn y DU (Ffigur 26. Canfuwyd bod gwreiddiau mewn haenlinau dwfn yn gallu cymryd dŵr ar yr un pryd â'r rhai yn yr haenlinau wyneb waeth beth fo cynnwys dŵr y pridd mewn haenlin fwy arwynebol.



Ffigur 26. Cyfran cyfanswm hyd y gwraidd a chyfanswm mewnlifiad dŵr mewn gwahanol haenlinau ar gyfer tatws Cara o dan batrymau dyfrhau sych a gwlyb: a) sych, 18-25 diwrnod ar ôl ymddangos (DAE; b) sych, 34-41 DAE; c) sych, 76-83 DAE; d) gwlyb, 18-25 DAE; e) gwlyb, 34-41 DAE ac f) gwlyb, 76-83 DAE. Hyd y gwraidd. Bariau du: hyd y gwraidd; bariau llwyd: mewnlifiad dŵr (Ffynhonnell: Stalham ac Allen, 2004).

7.7 Casgliadau ar gyfer dyfnder gwreiddio

- Yn y DU, adroddir yn aml mai tua 2m yw dyfnder gwreiddio mwyaf grawnfwydydd gaeaf er bod y parth gwreiddiau effeithiol (y dyfnder lle mae'r rhan fwyaf o wreiddiau wedi'u crynhoi) yn fwy bas ar 0.50-1 m. Adroddodd Barraclough (1984) ar gyfer system gwreiddiau gwenith aeddfed: roedd 60-70% o hyd y gwraidd i'w weld yn y 0.3 m uchaf, 20-25% arall o fewn y 0.3 m nesaf a llai nag 1-2% islaw 1 m. Yn gyffredinol, po hiraf y mae cnwd yn tyfu po hiraf yw'r system wreiddiau. Felly, mae'n debygol y bydd gan gnydau dyrnwr medi a heuir yn y gwanwyn lawer llai o hyd gwraidd ac na fyddant yn archwilio'r un dyfnder pridd â chnydau a dyfir yn yr hydref (e.e. Thorup-Kristensen *et al.*, 2009).
- Mae rhywfaint o dystiolaeth bod rhai mathau modern o wenith gaeaf yn fwy effeithiol o ran cael gafael ar ddŵr dwfn nag eraill a allai fod yn gysylltiedig â dwysedd hyd gwreiddiau (hyd gwraidd fesul uned cyfaint pridd). Fodd bynnag, adroddwyd bod dwysedd hyd gwraidd yn fwy bas mewn cyltifarau gwenith gaeaf modern yn y DU ar 0.36 m nag mewn cyltifarau hŷn a ryddhawyd yn y 1970au a'r 1980au ar 0.86 m (White *et al.*, 2015). Mae hyn yn awgrymu y gallai mathau modern fod yn llai effeithlon o bosibl o ran cael gafael ar ddŵr ar ddyfnderoedd is. Fodd bynnag, mae'n debygol y bydd effeithiau amgylchedd y pridd (e.e. cynnwys dŵr y pridd) ar hyd y gwraidd yn fwy nag unrhyw effaith sydd gan wahanol fathau (Hodgkinson *et al.*, 2017).
- Mae'r canllawiau ALC presennol ar gyfer cyfrifo'r dŵr sydd ar gael wedi' addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith yn seiliedig ar ddyfnder gwreiddiau mwyaf o 120 cm (yn seiliedig ar TA_v i 50 cm ac EA_v o 50-120 cm). Yn seiliedig ar y data sydd wedi'i adolygu, mae'r dyfnderoedd hyn yn parhau i gynrychioli gwerthoedd priodol ar gyfer gwenith gaeaf.
- Ar gyfer tatws, adroddodd Stalham ac Allen (2001) ddyfnder gwreiddio mwyaf yn amrywio o 0.59 i 1.4 m, sy'n dangos y gall tatws wreiddio i ddyfnderoedd sylweddol a chael mynediad i lawer iawn o ddŵr. Cafodd y math ddylanwad mawr ar ddyfnder y gwreiddiau yn y pen draw. Roedd gan Cara systemau gwreiddio dyfnach yn gyson na mathau eraill (>1m) tra bod gan Estima y gwreiddiau mwyaf bas yn gyson (<0.9 m). Fodd bynnag, er bod hyd gwreiddiau mwyaf yn ymestyn y tu hwnt i'r dyfnder o 70 cm a ddefnyddiwyd yn yr ALC i gyfrifo tatws dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd, roedd y rhan fwyaf o'r gwreiddiau o fewn yr amrediad dyfnder hwn. Mae hyn yn awgrymu bod y canllawiau presennol i gyfrifo dŵr wedi'i addasu ar gyfer tatws i 70 cm yn ddilys.
- Dim ond canllawiau ar gyfrifo'r AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith a thatws mae'r ALC yn ei gynnwys ar hyn o bryd. Fodd bynnag, gallai fod gwerth mewn ehangu'r canllawiau i gynnwys casgliad ehangach o gnydau. Er enghraifft, roedd Thomasson (1979), yr oedd ei fodelau gwreiddio'n sail i ganllawiau AP ALC, yn cynnwys canllawiau hefyd ar gyfer cnydau gwreiddio dwfn fel betys siwgr neu India corn. Byddai angen ymchwil bellach i ganfod a yw'r gwerthoedd a awgrymwyd gan Thomasson (1979) (tudalen 47) yn briodol ar gyfer y cnydau hyn. Fodd bynnag, byddai ychwanegu cnydau ychwanegol yn cynyddu nifer y cyfuniadau o gyfyngiadau sychder gan gynyddu'r tebygolrwydd o anghysondeb annisgwyl rhwng cyfyngiadau ar gyfer cnydau unigol. O ganlyniad, gallai'r dull hwn fod o fwy o fudd at ddibenion modelu nag asesiadau caeau ALC.

7.8 Cyfrifo diffyg lleithder pridd ALC

7.8.1 Trosolwg

- Cyfrifo'r diffyg lleithder pridd yw'r ail elfen allweddol o asesu sychder pridd ar gyfer ALC. Diffyg lleithder yw'r cydbwysedd rhwng glawiad ac anwedd-drydarthiad. Diffiniwyd y cysyniad o

anwedd-drydarthiad posibl (PE) gan Penman (1948) fel y dŵr sy'n cael ei drydarthu gan gnwd gwyrdd byr, megis glaswellt, sy'n gorchuddio'r ddaear yn llwyr ac sy'n cael digonedd o ddŵr i'w wreiddiau. O ystyried yr amodau hyn, mae PE yn amrywio gydag amodau meteorolegol. Mae PE yn amrywio llai na glawiad ac felly mae glawiad yn cael mwy o effaith ar ddiffyg lleithder. Ar gyfer cyfnodau pan fo PE yn fwy na glawiad (R) gellir cyfrifo'r diffyg lleithder pridd posibl (PSMD) fel $PSMD = \sum (R-PE)$; Cyfrifir R-PE bob dydd a'i grynhoi ar gyfer cyfnod diffiniedig. Pan fydd y cyfanswm PSMD yn dod yn bositif, caiff ei osod ar sero.

- Wrth ddatblygu set ddata diffyg lleithder ar gyfer ALC defnyddiwyd dau amcangyfrif o'r PSMD mwyaf:
 1. Canolrif uchafswm PSMD, PSMDM, 1961-1980 o gydbwysedd lleithder dyddiol R-PE mewn 94 o orsafoedd agromet yn ôl y system MORECs
 2. Cymedr uchafswm PSMD, PSMDS, 1961-75 o falansau lleithder misol R-PT mewn 970 o orsafoedd gyda'r un glawiad ag 1 ond gan ddefnyddio PT (anwedd-drydarthiad posibl wedi'i gyfrifo gan ddefnyddio dull Grindley (1967), a ddefnyddiwyd cyn y dull MORECs).
- Adroddodd Jones (1987) ar hafaliadau atchweliad y gellid eu defnyddio i gyfrifo'r PSMD o ASR ac ATS, a oedd yn cyfrif am 85 a 75%, yn y drefn honno o'r amrywiad yn y PSMD. Cynyddodd ychwanegu newidynnau ychwanegol (uchder, lledred a hydred) fanwl gywirdeb yr amcangyfrif ryw ychydig ar gyfer PSMDS nid ar gyfer PSMDM. Yr hafaliadau ar gyfer PSMDS a PSMDM (h.y. yn seiliedig ar setiau data 1 a 2 uchod) yw:
 - $PSMDS = -94.9 - 0.3177 \text{ ASR} + 0.1539 \text{ ATS}$ neu
 - $PSMDM = -106.5 - 0.2055 \text{ ASR} + 0.1435 \text{ ATS}$
- Mae diffygion posibl o dan laswellt yn fwy nag ar gyfer cnydau â'r nad ydynt yn gorchuddio tir yn llawn yn gynnar yn y tymor tyfu. Mae MDs wedi'u haddasu ar gyfer cnydau'n llai na PSMD felly yn ystod mis Mehefin neu fis Gorffennaf sych lle mae nifer o gnydau'n tyfu yn yr un math o bridd mae diffygion lleithder pridd yn dilyn y dilyniant cnydau gwraidd < grawnfwydydd < glaswellt. Er enghraifft, y PSMD cyfartalog wedi'i addasu ar gyfer twf a gorchudd cnydau (h.y. MD wedi'i addasu ar gyfer cnwd) yn Gleadthorpe oedd 90 mm ar gyfer tatws, 98 mm ar gyfer haidd gwanwyn, 103 mm ar gyfer gwenith gaeaf a 152 m ar gyfer glaswellt (Tabl 21, a gyfrifwyd gan Thomasson, 1979).

Tabl 21. Diffygion lleithder ar gyfer gwenith gaeaf, haidd gwanwyn, betys siwgr, tatws a glaswellt parhaol (Ffynhonnell: Thomasson, 1979).

Safle	Gwenith gaeaf	Haidd gwanwyn	Bety siwgr a thatws	Glaswellt
Newport (Swydd Amwythig)	90	82	85	146
Melton Mowbray (Swydd Gaerlŷr)	109	102	91	152
Gleadthorpe (Swydd Nottingham)	103	98	90	152
Caergrawnt	110	104	106	188
Lowestoft (Suffolk)	121	114	122	208

- Er mwyn cyfrifo diffygion lleithder penodol cnydau ar gyfer gwenith a thatws, addasodd Jones (1987) y PSMD wedyn (a gyfrifwyd gan ddefnyddio'r dull MORECs) fel a ganlyn:

- MD (gwenith gaeaf) = PSMD canol Gorffennaf-1/3 PSMD Ebrill
- MD (tatws) = PSMD Awst – 1/3 PSMD Mehefin – 1/3 PSMD canol Mai
- Cynlluniwyd y dull i adlewyrchu patrymau twf cnydau drwy gydol y tymor gydag addasiadau wedi'u gwneud i adlewyrchu gorchudd cnydau neu gam twf cnydau/galw am ddŵr (Thomasson, 1979). Ar gyfer gwenith gaeaf, mae'r didyniad o draean o'r PSMD ym mis Ebrill yn tybio nad yw'r gorchudd tir llawn wedi'i gyflawni eto; ar ôl canol Gorffennaf, nid oes angen dŵr o'r ddaear ar y cnwd fel arfer. Ar gyfer tatws, tybir bod y cnwd mewn tir moel tan ganol Mai gyda gorchudd cnwd llawn yn cael ei gyflawni tua diwedd mis Mehefin. Tybir bod twf yn parhau tan ddiwedd mis Awst. Noder bod Thomasson (1979) yn cynnwys canllawiau ar sut i gyfrifo MD ar gyfer haidd gwanwyn hefyd, i adlewyrchu dyddiad diweddarach y gorchudd tir llawn:
 - MD (haidd gwanwyn) = PSMD canol Gorffennaf-1/3 PSMD Mai
- Yn olaf, er mwyn rhagweld MD penodol i gnwd, cafwyd model atchweliad ffit gorau yn seiliedig ar ASR ac ATS o'r set ddata agromet. Defnyddiwyd y model atchweliad hwn wedyn i gael y set ddata 5 x 5 km a ddefnyddiwyd yn yr ALC (Y Swyddfa Dywydd, 1989) yn seiliedig ar y data glawiad/tymheredd sydd ar gael yn llawer mwy eang o'r 970 o safleoedd
 - MD (gwenith gaeaf) = $325.4 - 162.3 \log_{10} \text{ASR} + 0.08022 \text{ATS}$
 - MD (tatws) = $326.4 - 196.5 \log_{10} \text{ASR} + 0.1127 \text{ATS}$.
- Ceir gwerthoedd MD wedi'u haddasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith a thatws a ddefnyddir yn yr asesiad sychder yn yr ALC gan ddefnyddio'r hafaliadau atchweliad uchod.
- Ar hyn o bryd, nid yw'r system ALC yn rhoi unrhyw ganllawiau penodol ar gyfer cyfrifo'r diffyg lleithder o dan laswellt, sy'n canolbwyntio ar ddiffygion lleithder wedi'u haddasu ar gyfer cnydau. I bob pwrpas, y PSMD, yw'r gwerth y dylid ei ddefnyddio ar gyfer glaswellt er nad yw hyn yn glir yng nghanllawiau'r ALC.

7.8.2 Casgliadau ar gyfer diffyg lleithder

- Bydd newidiadau i lawiad ac effeithiau tymheredd ar anweddiad yn dylanwadu ar lefelau lleithder pridd fel y bydd gwerthoedd diffyg lleithder yn cael eu newid gan ASR is ac ATS uwch. Mae hyn yn awgrymu bod cyfrifiadau diffyg lleithder yn seiliedig ar set ddata hinsoddol wedi'u diweddarau yn fwy tebygol o gynrychioli'r cyfyngiadau presennol yn gywir. Byddai hyn yn gofyn am ddiweddarau'r hafaliad a ddefnyddir ar hyn o bryd i gyfrifo diffyg lleithder. Fodd bynnag, nid yw'n glir a yw unrhyw ddiweddariadau i'r setiau data ASR/ATS (a diweddariadau dilynol i fethodoleg cyfrifo'r MD) yn debygol o arwain at unrhyw newidiadau i'r radd ALC gyffredinol ar gyfer sychder; Dim ond un rhan o'r asesiad sychder yw MD. Yr ardaloedd a allai weld newid mewn Gradd yw'r rhai sydd ag AWC pridd isel lle mae MD yn cynyddu'n sylweddol.

7.9 Cydbwysedd lleithder

- Cam olaf asesiad sychder yr ALC yw cyfrifo'r cydbwysedd lleithder (MB).
- Mae terfynau sychder ar gyfer graddau ALC yn cael eu diffinio yn ôl cydbwysedd lleithder (mm) ar gyfer gwenith a thatws, sy'n cael eu cyfrifo fel a ganlyn:
 - MB (gwenith) = AP (gwenith) – MD (gwenith)
 - MB (tatws) = AP (tatws) – MD (tatws)

- Mae Tabl 22 yn dangos cyfrifiadau cydbwysedd lleithder enghreifftiol ar gyfer priddoedd clai/lom clai a phriddoedd tywodlyd ar gyfer yr un pum safle yn Tabl 21 (Thomasson, 1979). Yn gyffredinol, mae'r AP a addaswyd ar gyfer tatws yn llai nag ar gyfer y cnydau eraill; glaswellt yw'r uchaf fel arfer ac eithrio mewn priddoedd tywodlyd lle mae dyfnder gwreiddio mwy grawnfwydydd a betys siwgr yn golygu bod yr AP ar ei uchaf. Pan gyfunir y ddau werth (h.y. AP - MD) mae'r cydbwysedd lleithder leiaf mewn glaswellt (h.y. y mwyaf negyddol) ac uchaf (h.y. y mwyaf cadarnhaol) fel arfer ar gyfer betys siwgr.
- Cyfrifir AP ac MD fel y nodir uchod a dyrennir y radd sychder ar gyfer ALC yn ôl Tabl 23 isod. Dengys gwerthoedd cadarnhaol nad oes straen lleithder ac awgryma gwerthoedd negyddol nad yw argaeledd dŵr yn ddigonol i gynnal anwedd-drydarthiad ac felly cyfyngir ar dwf planhigion. Mae gwerth +30 mm (Gradd 1 ar gyfer gwenith) yn dangos bod gan y pridd gronfeydd dŵr dros ben mewn tymor nodweddiadol ac mae'n debygol o allu gwrthsefyll straen sychder hyd yn oed mewn blynyddoedd sych. Mae gwerth islaw -50 mm yn awgrymu prinder dŵr ym mhob haf heblaw'r gwlypaf.
- I fod yn gymwys i fod yn dir Graddau 1 i 3b, mae'n rhaid i'r MB gyfateb i, neu fod yn fwy na'r gwerthoedd lleiaf ar gyfer gwenith a thatws. Er mwyn i dir gael ei ddosbarthu fel ALC Gradd 1, rhaid i'r cydbwysedd lleithder fod yn positif ar gyfer y cnydau dangosol (gwenith a thatws). Mae tir yn cael ei israddio wrth i'r cydbwysedd lleithder leihau ac i risg sychder gynyddu. Ar gyfer dosbarthiadau ALC 3a ac is, gall y cydbwysedd lleithder ar gyfer y naill gnwd a'r llall fod yn negyddol, gan awgrymu risg bosibl o sychder. Mae cyfyngiadau sychder yn effeithio ar gnydau â'r ar y tir gradd uwch yn bennaf (1-3a).

Tabl 22. Balansau lleithder (dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd-AP minws diffyg lleithder-MD) ar gyfer gwenith gaeaf, haidd gwanwyn, tatws, betys siwgr a glaswellt parhaol (Ffynhonnell: Thomasson, 1979).

	Gwenith gaeaf	Haidd gwanwyn	Tatws	Betyd siwgr	Glaswellt
<i>Pridd clai/lom clai</i>					
AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd	118	118	75	120	128
Melton Mowbray (Swydd Gaerlŷr)	+9 (118-109)	+16 (118-102)	-19 (75-91)	+29 (120-91)	-24 (128-152)
Caergrawnt	+8 (118-110)	+14 (118-104)	-31 (75-106)	+14 (120-106)	-60 (128-188)
Lowestoft (Suffolk)	-3 (118-121)	+4 (118-114)	-48 (75-122)	-2 (120-122)	-80 (128-208)
<i>Pridd tywodlyd</i>					
AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd	99	99	68	113	95
Newport (Swydd Amwythig)	+9 (99-90)	+17 (99-82)	-17 (68-85)	+28 (113-85)	-51 (95-146)

Gleadthorpe (Swydd Nottingham)	-4 (99-103)	+1 (99-98)	-22 (68-90)	+23 (113-90)	-57 (95-152)
-----------------------------------	----------------	---------------	----------------	-----------------	-----------------

Tabl 23. Gradd ALC yn ôl sychder (Ffynhonnell: MAFF, 1988).

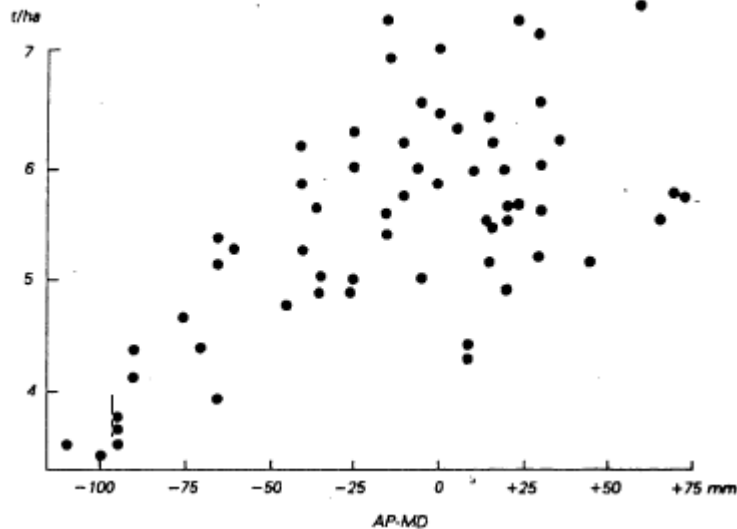
Gradd	Terfynau cydbwysedd lleithder (mm)		
	<i>Gwenith</i>		<i>Tatws</i>
1	+30	A	+10
2	+5	A	-10
3a	-20	A	-30
3b	-50	A	-55
4	<-50	Neu	<-55

- Er bod y broses o gyfrifo'r cydbwysedd lleithder yn cael ei disgrifio yn nogfen ganllawiau'r ALC, nid yw'r sail ar gyfer terfyn gradd yn cael ei hesbonio. Mae gwaith cynharach gan Thomasson (1979) yn defnyddio dosbarthiadau sychder gwahanol i'r rhai yn yr ALC, h.y. dosbarthiadau a (heb fod yn sych), b (ychydig yn sych), c (cymharol sych) a d (sych iawn) sy'n cyfateb i falansau lleithder o +50 i -50 mm. Yn ogystal, mae tystiolaeth bod terfynau gradd eraill yn cael eu defnyddio yn y maes cyn cyhoeddi'r ALC gan wyddonwyr pridd rhanbarthol MAFF. Mae gohebiaeth fewnol (MAFF, 1983), yn diffinio pedwar dosbarth sychder, h.y. 1 (heb fod yn sych, MB ≤0 mm), 2 (ychydig yn sych, MB 0 i -20 mm), 3 (cymharol sych, MB -20 i -40 mm) a 4 (sych iawn, ≥-40 mm). Credir bod y terfynau gradd ALC yn seiliedig ar farn arbenigol y rhai oedd yn gweithio yn y maes ar y pryd (e.e. arbenigwyr draenio a syrfëwr pridd). Fodd bynnag, nid yw'r rhesymeg y tu ôl i'r terfynau gradd wedi'i chofnodi'n llawn.
- Yn yr Alban, mae'r trothwyon ar gyfer risg sychder yn y Land Capability Classification for Agriculture (Bibby *et al.*, 1991) yn wahanol i'r rhai a ddefnyddir yn yr ALC gyda'r dosbarthiadau wedi'u nodi fel a ganlyn: 1) >+50 mm, heb fod yn sych; 2) >0 mm, ychydig yn sych; 3) >-50 mm, cymharol sych a 4) <-50 mm, sych iawn. Mae'r terfynau gradd yn debyg iawn i'r rhai a gynigiwyd gan Thomasson (1979). Mae'n rhaid bod gan dir o'r radd flaenaf (h.y. dosbarthiadau tir 1-3 yr Alban) MB o >0 mm (h.y. mae'n fwy llym na'r ALC, lle mae'r terfyn ar gyfer Gradd 3a yn -20 mm). Yn ôl Bibby *et al.* (1991) mae dosbarth 1 heb fod yn sych ar gyfer tatws a gwenith gaeaf, nid yw dosbarth 2 ddim gwaeth nag ychydig yn sych ar gyfer tatws, gwenith gaeaf neu haidd gwanwyn, nid yw dosbarth 3 ddim gwaeth na chymharol sych ar gyfer tatws, gwenith gaeaf neu haidd gwanwyn a dosbarth 4 yw unrhyw bridd sy'n sych iawn ar gyfer gwenith gaeaf neu haidd gwanwyn. Os nad yw pridd yn sych ar gyfer tatws, ni fydd yn sych ar gyfer gwenith a barlys chwaith.

7.9.1 Casgliadau ar gyfer cydbwysedd lleithder

- Yn yr asesiad gwreiddiol o sychder a pherfformiad cnydau, nododd Jones (1987) nad oedd AP yn unig yn esbonio fawr ddim o'r amrywiad mewn cynnyrch, roedd MD yn esbonio 23% a chydbwysedd lleithder (AP-MD) yn esbonio 33% o'r amrywiad (arwyddocaol ar lefel 0.1%), Ffigur 27. Roedd y set ddata'n cynnwys cynnyrch o 1973-1981 ond roedd y gydberthynas yn deillio'n bennaf o ddylanwad sychder ym 1975 a 1976 pan oedd swm yr AP-MD yn <-40 mm. Mewn blynyddoedd nad ydynt yn sych, achosodd ffactorau eraill fel gwahaniaethau mewn rheoli neu

glefydau wahaniaethau eang mewn cynnyrch ar lefelau tebyg o MB. Fodd bynnag, dangosodd atchweliad o ddata lleiniau unigol duedd gyffredinol i'r cynnyrch ostwng wrth i MB ddod yn fwy negyddol.



Ffigur 27. Cynnyrch cyfartalog gwenith gaeaf mewn perthynas â chydbwysedd lleithder (AP-MD) (Ffynhonnell: Jones, 1987).

- Byddai o werth archwilio'r berthynas rhwng MB a chynnyrch cynydau ar gyfer set ddata fwy diweddar i benderfynu a yw'r pwyntiau terfyn ar gyfer y Graddau ALC sy'n cael eu defnyddio ar hyn o bryd yn dal i fod yn ddilys.

8 Anwedd-drydarthiad

- Mae anwedd-drydarthiad yn allweddol yn natblygiad sychder amaethyddol ac felly yn ei ddiffiniad hefyd. Cydnabyddir hyn yn yr ALC, lle mae'r cyfrifiad o ddiffyg lleithder yn seiliedig ar y cydbwysedd rhwng glawiad ac anwedd-drydarthiad posibl.
- Wrth i'r cnwd dyfu, mae dŵr yn cael ei echdynnu o'r pridd, a'i golli drwy drydarthu o'r dail ac anweddu o arwynebau'r pridd a'r dail. Gelwir yr effaith gyfunol yn anwedd-drydarthiad. Mae cyfraddau anwedd-drydarthiad yn adlewyrchu'r patrwm ynni a'r patrwm dŵr sy'n dylanwadu ar golli dŵr o'r pridd a'r cnwd.
- Anweddu yw'r broses lle mae dŵr hylif yn cael ei droi'n anwedd dŵr (anweddiad) a'i dynnu o'r arwyneb anweddu (tynnu anwedd) (Allen, 1998). Mae angen ynni i newid cyflwr moleciwlau dŵr o hylif i anwedd. Pelydriad solar uniongyrchol ac, i raddau llai, tymheredd amgylchynol yr aer sy'n darparu'r ynni hwn.
- Lle gall y pridd gyflenwi dŵr yn ddigon cyflym i fodloni'r galw am anweddiad, dim ond yr amodau meteorolegol sy'n pennu anweddiad o'r pridd. Fodd bynnag, lle mae'r bwlch rhwng glaw a dyfrhau yn mynd yn fawr a gallu'r pridd i ddargludo lleithder i'r wyneb yn fach, mae'r cynnwys dŵr yn niferion yr uwchbridd a'r arwyneb pridd yn sychu. O dan yr amgylchiadau hyn, mae argaeledd cyfyngedig dŵr yn dylanwadu mewn modd sy'n rheoli anweddiad pridd. Yn absenoldeb

unrhyw gyflenwad o ddŵr i wyneb y pridd, mae anweddiad yn gostwng yn gyflym a gall ddod i ben bron yn gyfan gwbl o fewn ychydig ddyddiau.

- Anweddiad dŵr hylif sydd ym meinweoedd planhigion a thynnu'r anwedd i'r atmosffer yw trydarthu (Allen, 1998). Yn bennaf, mae cynydau'n colli eu dŵr drwy stomata (agoriadau bach ar ddail planhigion y mae nwyon ac anwedd dŵr yn mynd drwyddynt). Mae'r dŵr, ynghyd â rhai maetholion, yn cael eu defnyddio gan y gwreiddiau a'u cludo drwy'r planhigyn. Fodd bynnag, nid yw ymhell dros 90% o'r dŵr sydd ei angen ar blanhigion daearol yn cael ei 'ddefnyddio' mewn unrhyw ffordd biocemegol, mae'n cael ei golli trwy drydarthiad (Morison *et al.*, 2008).
- Mae anweddu a thrydarthu'n digwydd ar yr un pryd ac nid oes ffordd hawdd o wahaniaethu rhwng y ddwy broses. Ar wahân i'r dŵr sydd ar gael yn yr uwchbridd, mae anweddiad o bridd dan gnwd yn cael ei bennu'n bennaf gan y ffractsiwn o'r pelydriad solar sy'n cyrraedd wyneb y pridd (gall gwynt fod yn ffactor pwysig hefyd a gall fod gan leoliadau arfordirol gwyntog werthoedd MD arbennig o uchel). Mae'r ffractsiwn hwn yn gostwng yn ystod y cyfnod tyfu wrth i'r cnwd ddatblygu ac mae canopi'r cnwd yn cysgodi mwy a mwy o arwynebedd y ddaear. Pan fo'r cnwd yn fach, mae dŵr yn cael ei golli drwy anweddiad pridd yn bennaf, ond unwaith y bydd y cnwd wedi datblygu'n dda ac yn gorchuddio'r pridd yn llwyr, trydarthu yw'r brif broses. Ar adeg hau daw bron i 100% o'r anwedd-drydarthiad o anweddiad, tra bod mwy na 90% o'r anwedd-drydarthiad yn dod o drydarthiad pan fo'r cnwd wedi tyfu'n llawn (Allen, 1998).

8.1 Cyfrifo anwedd-drydarthiad posibl

- Yn sgil ei ddiffiniad, mae anwedd-drydarthiad posibl (PE) yn gysyniad damcaniaethol sy'n anodd ei fesur, felly mae hafaliadau sy'n cael PE o newidynnau hinsawdd mesuradwy wedi'u datblygu dros sawl degawd gan hydrolegwyr ac agronomegwyr i asesu argaeledd dŵr ac anghenion dyfrhau (Prudhomme a Williamson, 2013). Yn y rhan fwyaf o amgylcheddau, mae lleithder pridd yn cael effaith gyfyngol ar drydarthiad, gan achosi straen planhigion a dechrau mecanweithiau arbed dŵr fel cau stomataidd, a gelwir y golled wirioneddol o ddŵr i'r atmosffer yn anwedd-drydarthiad gwirioneddol (AE). Dim ond y dŵr sydd ar gael iddynt y gall planhigion ei drydarthu felly gall AE amrywio o 0 (dim dŵr ar gael) i uchafswm sy'n cyfateb i'r PE (Prudhomme a Williamson, 2013).
- Y sbardun y tu ôl i drosglwyddo moleciwlau dŵr o arwyneb y planhigyn/pridd/dŵr i'r atmosffer yw'r gwahaniaeth mewn pwysedd anwedd dŵr rhwng y ddau (Allen *et al.*, 1998), ac wrth i anweddiad ddigwydd, bydd yr aer cyfagos ddod yn llawn dŵr yn raddol nes y daw'r anweddiad i ben (Allen *et al.*, 1998). Mewn gwirionedd, mae aer sychach yn cymryd lle'r aer ar y rhyngwyneb ar gyfradd sy'n dibynnu ar gyflymder y gwynt. Mae hyn yn golygu mai'r paramedrau hinsoddegol sylfaenol i'w hystyried wrth amcangyfrif PE yw pelydriad, cyflymder gwynt, lleithder a thymheredd yr aer (Allen *et al.*, 1998), gyda chyflymder gwynt yn dangos mwy o reolaeth dros PE ar raddfeydd amser bob awr a thymheredd a lleithder cymharol yn dangos mwy o bwysigrwydd ar raddfeydd amser hwy (Xu a Singh, 1998).

8.1.1 Dull Penman

- O'r lluo o ddulliau empirig a ddatblygwyd dros y 50 mlynedd diwethaf i amcangyfrif anwedd-drydarthiad o wahanol hinsoddau, mae nifer yn deillio o hafaliad Penman sy'n adnabyddus bellach (Penman, 1948) sy'n pennu anweddiad o ddŵr agored, pridd moel a glaswellt (a elwir yn anwedd-drydarthiad bellach). Cyfunodd Penman (1948) egwyddorion ffisegol trosglwyddo màs (trosglwyddir màs rhwng arwyneb ac amgylchedd a yrrir gan raddiant pwysedd anwedd a chyflymder/tyrfedd y gwynt) a chyllideb ynni (pelydriad solar, fflwcs gwres daear, tymheredd a

phwysedd) i gael hafaliad i gyfrifo'r anweddiad o arwyneb dŵr agored o gofnodion hinsoddegol safonol o heulwen, tymheredd, lleithder a chyflymder gwynt. Caiff hyn ei alw'n hafaliad cyfunol:

$$\lambda ET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

Lle mai R_n yw'r pelydriad net, G yw'r fflwcs gwres pridd, Δ yw gogwydd y gromlin pwysedd anwedd dirlawn, γ yw'r cysonyn seicrometrig, ac E_a yw "pŵer sychu aer" (ffwythiant amcangyfrifon cyflymder gwynt, lleithder cymharol, swyddogaeth gwynt (yn seiliedig ar gyfrifyddu gerwinder neu dyrfedd wyneb), tymheredd, a phwysedd atmosfferig).

- Yn asesiad sychder yr ALC defnyddir PE ar y cyd â glawiad i gyfrifo'r diffyg lleithder pridd posibl, h.y. $PSMD = \sum(R-PE)$, lle mai R yw'r glawiad ac mae $R-PE$ yn cael ei gyfrifo'n ddyddiol a'i grynhoi ar gyfer cyfnod diffiniedig. Yn ôl Jones (1987), cyfrifir PE ar gyfer yr ALC fel arfer gan ddefnyddio hafaliad Penman sy'n ymgorffori'r gwelliannau a wnaed gan Penman 1962, Monteith, 1965 a Thom ac Oliver, 1977. Mae Jones (1987) yn rhoi'r hafaliad fel a ganlyn:

$$PE = \frac{\Delta Q + m\gamma E_{ap}}{\Delta + (1+n)\gamma} \quad (\text{mm of water per day})$$

Lle mae Δ (mb/°C), gogwydd y diffyg pwysedd anwedd dirlawn v cromlin tymheredd yn cael ei werthuso ar gyfer y tymheredd aer dyddiol cymedrig, T_m °C wedi'i fesur mewn sgrin; Q (mm/dydd), fflwcs net o ynni pelydrol fel cyfwerthydd anweddiad; m , dangosydd o erwinder aerodynamig y cnwd; γ (mb/°C), cysonyn seicrometrig (0.66); E_{ap} (mm/dydd) term aerodynamig 'Penman', swyddogaeth o ddiffyg pwysedd anwedd dwrlawn a chyflymder gwynt, fel cyfwerthydd anweddiad; n , cymhareb ymwrthedd stomataidd ac aerodynamig.

8.1.2 Dull Penman-Monteith

- Addaswyd y dull Penman wedyn gan ymchwilyr amrywiol a'i ymestyn i arwynebau dan gnwd drwy gyflwyno ffactorau ymwrthedd. Fel arfer, mae ffactorau ymwrthedd yn gwahaniaethu rhwng ffactorau ymwrthedd aerodynamig (ffrithiant o aer sy'n llifo dros lystyfiant) ac ymwrthedd arwyneb (ymwrthedd llif anwedd drwy agoriadau stomata, cyfanswm arwynebedd dail ac arwyneb y pridd) (Allen *et al*, 1995).
- Ffurf Penman-Monteith o'r hafaliad yw:

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Lle mai R_n yw'r pelydriad net, G yw'r fflwcs gwres pridd, $(e_s - e_a)$ yn cynrychioli diffyg pwysedd anwedd yr aer, P_a yw'r dwysedd aer cymedrig ar bwysedd cyson, c_p yw gwres penodol yr aer, mae Δ yn cynrychioli gogwydd y berthynas tymheredd pwysedd anwedd dirlawn, γ yw'r cysonyn seicrometrig, ac r_s ac r_a yw'r arwyneb (swmp) a'r ymwrthedd aerodynamig.

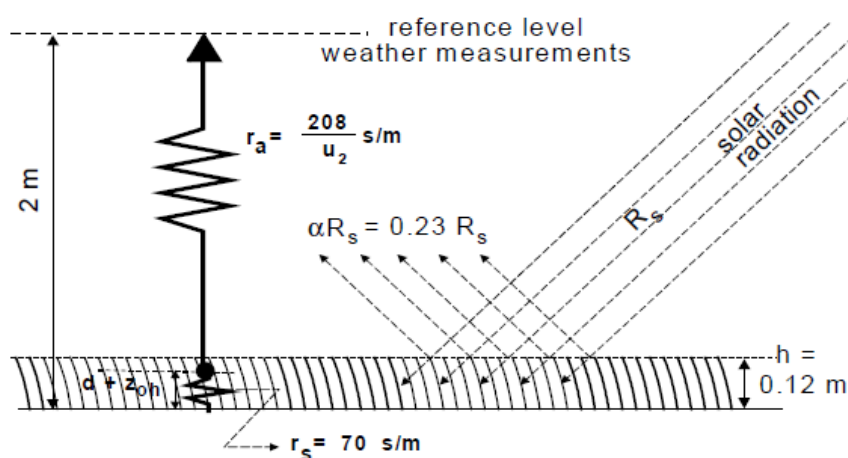
Mae dull Penman-Monteith yn cynnwys pob paramedr sy'n rheoli cyfnewid ynni ac anweddiad cyfatebol o ehangder unfurf o lystyfiant. Gellir cyfrifo'r rhan fwyaf o'r paramedrau'n hawdd o ddata tywydd. Gellir defnyddio'r hafaliad ar gyfer cyfrifo unrhyw anwedd-drydarthiad cynydu'n uniongyrchol gan fod yr wyneb a'r ymwrthedd aerodynamig yn benodol i gnwd.

8.2 Trydarthiad cyfeirio

- Mae'r FAO yn gwrthod y term anwedd-drydarthiad posibl oherwydd amwysedd o ran diffiniad ac yn hytrach yn diffinio anwedd-drydarthiad cyfeirio (Allen *et al*, 1998). Mae anwedd-drydarthiad cyfeirio yn cyfeirio at y gyfradd anwedd-drydarthu o gnwd glaswellt cyfeirio damcaniaethol â nodweddion penodol (manylir isod), nad yw'n brin o ddŵr.
- Cyflwynwyd y cysyniad o anwedd-drydarthiad cyfeirio i astudio galw anweddol yr atmosffer yn annibynnol ar baramedrau cnydau. Gan fod dŵr ar gael yn helaeth ar yr arwyneb cyfeirio, nid yw ffactorau pridd yn effeithio ar anwedd-drydarthiad. Mae'r unig ffactorau sy'n effeithio ar drydarthiad cyfeirio yn hinsoddol. Mae'r FAO yn argymhell dull FAO 56 Penman-Monteith (addasiad o ddull Penman-Monteith) fel yr unig ddull ar gyfer pennu anwedd-drydarthiad cyfeirio.

8.2.1 Dull FAO 56 Penman-Monteith

- Mae dull FAO 56 Penman-Monteith yn symleiddio dull Penman-Monteith drwy ddefnyddio rhai paramedrau cyson tybiedig ar gyfer cnwd cyfeirio glaswellt byr yn hytrach na gwerthoedd penodol i gnwd ar gyfer ymwrthedd arwyneb ac aerodynamig. Mae'r cnwd cyfeirio glaswellt damcaniaethol yn tybio uchder cnwd o 0.12 m, ymwrthedd arwyneb sefydlog o 70 s/m ac albedo o 0.23 (h.y. cyfran y golau a adlewyrchir gan wyneb y ddeilen) (Ffigur 28). Mae'r arwyneb cyfeirio yn debyg iawn i arwyneb helaeth o laswellt gwyrdd o uchder unffurf, wedi'i ddyfrhau'n dda, yn tyfu'n weithredol ac yn cysgodi'r ddaear yn llwyr. Mae ymwrthedd arwyneb sefydlog o 70 s/m yn awgrymu arwyneb pridd cymharol sych sy'n deillio o amlder dyfrhau wythnosol.



Ffigur 28. Nodweddion y cnwd cyfeirio damcaniaethol (Ffynhonnell: Allen *et al*, 1998).

- Yn dilyn ymgynghoriad arbenigol a gynhaliwyd ym mis Mai 1990, argymhellodd yr FAO ddull FAO 56 Penman-Monteith fel yr unig ddull safonol ar gyfer diffinio a chyfrifo trydarthiad cyfeirio.

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

ET_o anwedd-drydarthiad cyfeirio (mm/day)

R_n pelydriad net ar wyneb y cnwd ($\text{MJ m}^2/\text{dydd}$)

G dwysedd fflwcs gwres pridd ($\text{MJ m}^2/\text{dydd}$)

Mae T yn golygu tymheredd aer dyddiol ar uchder o 2 m ($^{\circ}\text{C}$)

u_2 cyflymder gwynt ar uchder o 2 m (m/s)

e_s pwysedd anwedd dirlawn (kPa)

e_a pwysedd anwedd gwirioneddol (kPa)

$e_s - e_a$ diffyg pwysedd anwedd dirlawn

Δ cromlin gogwydd pwysedd anwedd ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

y cysonyn seicrometrig ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

- Mae Ffigur 29 yn rhoi manylion deilliad yr hafaliad ar gyfer y cnwd glaswellt cyfeirio.
- Mae'r hafaliad yn defnyddio cofnodion hinsoddegol safonol o belydriad solar (heulwen), tymheredd aer, lleithder a chyflymder gwynt. Er mwyn sicrhau dilysrwydd data i'w ddefnyddio yn yr hafaliad uchod, dylid gwneud y mesuriadau tywydd 2 m (neu eu trosi i'r uchder hwnnw) uwchben arwyneb helaeth o laswellt gwyrdd, sy'n cysgodi'r ddaear ac nad yn brin o ddŵr.
- Ar wahân i leoliad y safle, mae hafaliad FAO 56 Penman-Monteith yn gofyn am ddata tymheredd aer, lleithder, pelydriad a chyflymder gwynt ar gyfer cyfrifiadau dyddiol, wythnosol, deg diwrnod neu fisol. Mae angen uchder uwchben lefel y môr (m) a lledred (graddau i'r gogledd neu'r de) i addasu rhai paramedrau tywydd ar gyfer gwerth cyfartalog lleol pwysedd atmosfferig (ffwythiant uchder y safle uwchben lefel cymedrig y môr)
- Lle nad oes data ar gyfer rhai o'r newidynnau ar gael, mae'r FAO yn rhoi canllawiau ar sut y gellir defnyddio data haws cael gafael arno yn lle hynny. Er enghraifft, mae angen y pelydriad net dyddiol (cyfartalog) (MJ (R_n yn yr hafaliad uchod) ond nid yw ar gael yn gyffredin. Fodd bynnag, gellir ei gael o hyd dyddiol (cyfartalog) heulwen ddisglair (oriau'r dydd) a fesurir gan ddefnyddio cofnodwr heulwen. Nid yw'r fethodoleg drosi'n syml ac mae'n gofyn am gyfrifo nifer o baramedrau.

8.2.2 Crynodeb o fodelau anwedd-drydarthiad gan Benman

- Ym 1948, disgrifiodd Penman ei hafaliad i bennu 'anweddiad ar gyfer dŵr agored, pridd moel a glaswellt' yn seiliedig ar gyfuniad o gydbwysedd ynni a fformiwla aerodynamig. Addaswyd hyn wedyn gan Monteith (1965) drwy gynnwys term ymwrthedd arwyneb a ddaeth i gael ei adnabod fel hafaliad Penman-Monteith. Yn dilyn hynny, argymhellwyd hafaliad wedi'i ddiweddarau (yn seiliedig ar hafaliad Penman-Monteith) gan yr FAO, h.y. hafaliad FAO-56 Penman-Monteith. Mae hyn yn symleiddio hafaliad Penman-Monteith drwy gymryd rhai paramedrau cyson ar gyfer cnwd cyfeirio glaswellt byr yn ganiataol.
- Mae anwedd-drydarthiad posibl yn amrywio llai na glawiad; dywed Jones (1987) bod amrywiad o flwyddyn i flwyddyn mewn PE o 25-30 mm, tra bod gwyriadau ar gyfer glawiad blynyddol yn >100 mm. Felly mae glawiad yn cael effaith fwy ar ddiffyg lleithder na PE. O ganlyniad, mae unrhyw newidiadau i'r fethodoleg a ddefnyddir i gyfrifo PE yn yr ALC yn annhebygol o gael effaith sylweddol ar gyfrifiadau diffyg lleithder.

With standardized height for wind speed, temperature and humidity measurements at 2 m ($z_m = z_h = 2$ m) and the crop height $h = 0.12$ m, the aerodynamic and surface resistances become (Boxes 4 & 5):

$$r_a = 208/u_2 \text{ s m}^{-1}, \text{ (with } u_2 \text{ wind speed at 2 m height)}$$

$$r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$$

$$(1 + r_s/r_a) = (1 + 0.34 u_2)$$

R_a and G is energy available per unit area and expressed in $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. To convert the energy units for radiation to equivalent water depths (mm) the latent heat of vaporization, λ is used as a conversion factor (Chapter 1). The conversion from energy values to equivalent depths of water or vice versa is given by (Eq. 20):

$$\text{Radiation [mm day}^{-1}] \approx \frac{\text{Radiation [MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}]}{2.45} = 0.408 \text{ Radiation [MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}]$$

By substituting c_p with a rearrangement of Eq. 8:

$$c_p = \frac{\gamma \epsilon \lambda}{P}$$

and considering the ideal gas law for ρ_a :

$$\rho_a = \frac{P}{T_{Kv} R}$$

where T_{Kv} , the virtual temperature, may be substituted by:

$$T_{Kv} = 1.01(T+273)$$

results in:

$$\frac{c_p \rho_a}{r_a} = \frac{\gamma \epsilon \lambda}{1.01(T+273)R(208)} u_2 \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ s}^{-1}]$$

where c_p specific heat at constant pressure [$\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$],
 ρ_a mean air density at constant pressure [kg m^{-3}],
 r_a aerodynamic resistance [s m^{-1}],
 γ psychrometric constant [$\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$],
 ϵ ratio molecular weight of water vapour/dry air = 0.622,
 λ latent heat of vaporization [MJ kg^{-1}],
 u_2 wind speed at 2 m [m s^{-1}],
 R specific gas constant = $0.287 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$,
 T air temperature [$^\circ\text{C}$],
 P atmospheric pressure [kPa],

$$= 86400 \frac{\gamma (0.622) \lambda}{1.01(T+273)(0.287)(208)} u_2 \quad [\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1}]$$

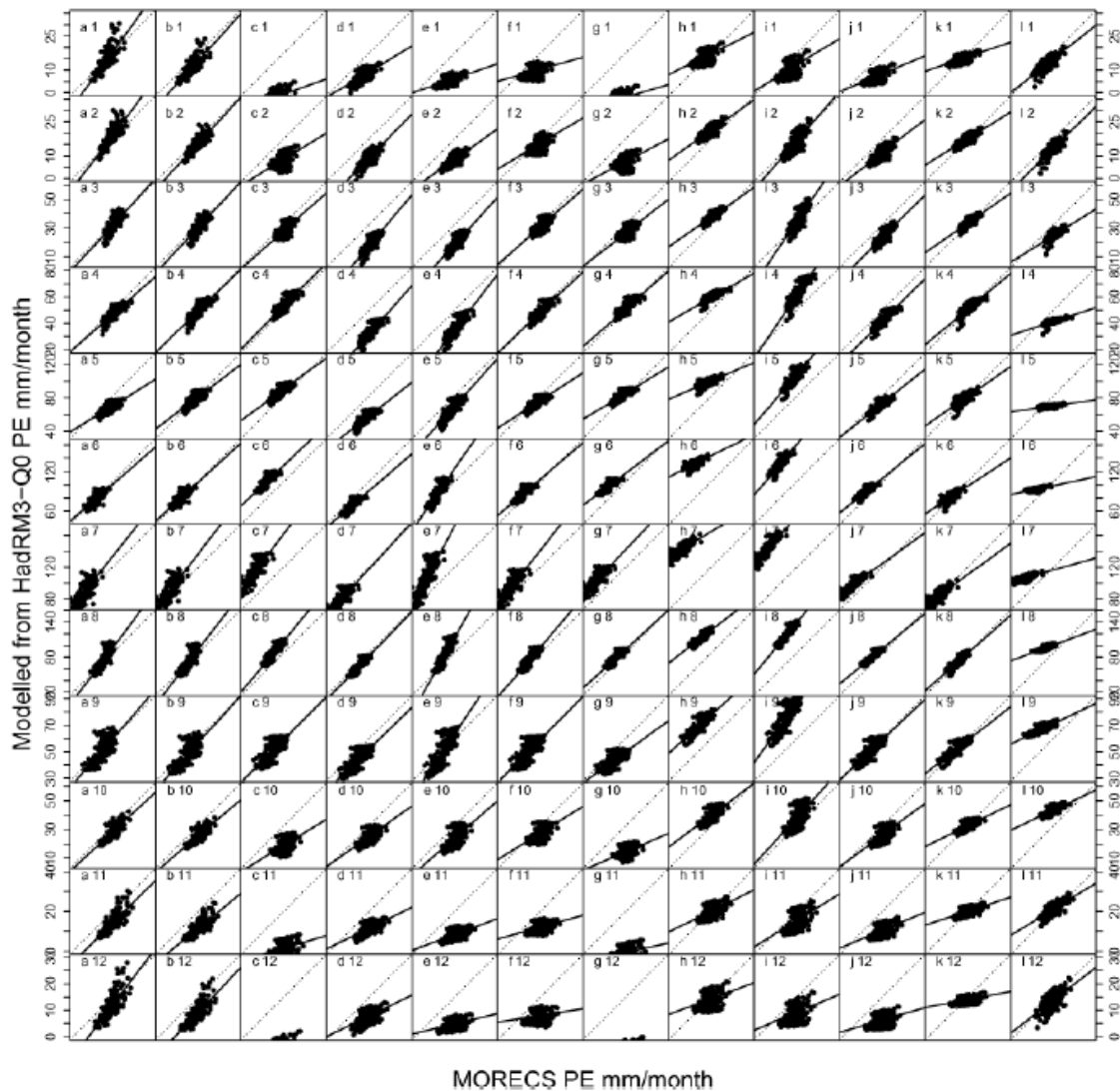
or, when divided by λ ($\lambda = 2.45$),

$$\approx \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 \quad [\text{mm } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1}]$$

Ffigur 29. Deilliant hafaliad FAO 56 Penman-Monteith ar gyfer y cnwd cyfeirio glaswellt damcaniaethol

8.2.3 Cymariaethau â dull FAO 56 Penman-Monteith

- Er bod dull FAO 56 Penman-Monteith yn cael ei gydnabod fel y dull safonol ar gyfer mesur PE, mae angen data meteorolegol manwl nad yw ar gael o reidrwydd. O ganlyniad, dyfeisiwyd dulliau empirig gan ddefnyddio llai o newidynnau na dull Penman-Monteith. Cynlluniwyd rhai dulliau ar gyfer amodau hinsoddol penodol, e.e. hinsawdd llaith, lled-ddiffaith neu ddiffaith; mae gan ddulliau eraill gwmpas ehangach (h.y. heb fod yn gyfyngedig i fath penodol o hinsawdd). Mae gan lawer ohonynt y fantais y gellir gwneud amcangyfrifon PE ar gyfer rhanbarthau lle nad yw'r gyfres lawn o ddata hinsoddegol ar gael.
- Cymharodd Prudhomme a Williamson (2013) ddeuddeg dull PE yn y DU, dau fodel cyfunol (FAO 56 Penman-Monteith, dull Penman-Monteith wedi'i addasu, pum model seiliedig ar belydriad (Priestley-Taylor, Turc, Jensen-Haise, Makkink a Priestly-Taylor Idso-Jackson), a phum model seiliedig ar dymheredd (Hamon, McGuinness-Bordne, Blaney-Cridde a Thornthwaite). Roedd y data a ddefnyddiwyd i boblogi'r hafaliadau a chyfrifo amcangyfrifon o PE yn dod o fodel hinsawdd Canolfan Hadley (HadRM3-PPE) ar gyfer y cyfnod cyfeirio sylfaenol (1961–1990). Cymharwyd yr allbwn o bob hafaliad â PE MORECS (yn seiliedig ar ddull Penman-Monteith wedi'i addasu) ar gyfer glaswellt byr, a ddefnyddiwyd fel cyfeirnod PE ar gyfer Prydain Fawr.
- Cymharwyd yr allbynnau o'r 12 hafaliad PE gan ddefnyddio cyfres o ddadansoddiadau atchweliad (Ffigur 30) o MORECS a PE misol cymedrig. Mae Ffigur 30 yn dangos y plot gwasgariad ar gyfer pob hafaliad yn fisol a'r llinell 1:1; lle mae perthynas agos rhwng y MORECS a data wedi'i gyfrifo, mae'r pwyntiau data'n agos at y llinell 1:1. Fel cymhariaeth, lle mae'r data a gyfrifwyd yn gorragfynegi PE (h.y. mae'n uwch na'r data MORECS) mae'r pwyntiau data yn uwch na'r llinell 1:1 neu i'r gwrthwyneb, lle mae'r data a gyfrifwyd yn tan-ragfynegi PE (h. y. mae'n is na'r data MORECS) mae'r pwyntiau data yn is na'r llinell 1:1.
- O'r 12 hafaliad PE, atgynhyrchodd y dulliau cyfunol (FAO 56 Penman-Monteith a Penman-Monteith a addaswyd) amrywioldeb gofodol a thymhorol PE MORECS ym Mhrydain Fawr orau. Dangosodd yr astudiaeth hon hefyd y gallai dulliau PE sy'n seiliedig ar belydriad a thymheredd atgynhyrchu PE MORECS yn dda ar gyfer rhai misoedd, ond nad oedd yr un dull yn perfformio'n well na'r lleill yn gyson ledled Prydain Fawr drwy gydol y flwyddyn. Ar y cyfan, argymhellodd yr awduron ddull FAO 56 Penman-Monteith.



Ffigur 30. Cyfrifwyd plotiau gwasgareddig o MORECS misol cymedrig a PET a yrrir gan HadRM3-Q0 (mm/mis) wedi'u paru dros y darn amser 1961–1990 ar gyfer 12 hafaliad PET (colofnau) a 12 mis (llinellau). a: FA056; b: Penman–Monteith (addaswyd); c: Priestley–Taylor; d: Turc; e: Jensen–Haise; f: Makkink; g: Priestley–Taylor (Idso–Jackson); h: Hamon; i: McGuinness–Bordne; j: Oudin; k: Blaney–Criddle; l: Thornthwaite. Rhoddir y mis fel 1 (Ionawr) – 12 (Rhagfyr). Caiff gwerthoedd eu paru gan ddefnyddio grid MORECS. Cyfrifwyd PET a yrrir gan HadRM3-Q0 ar raddfa'r grid 5 km a'i gyfanredu i'r grid MORECS. Y llinell 1:1 yw'r llinell ddotiog ar bob graff. Noder yr amrywiad o ran graddfa.

- Cymharodd Lang *et al.* (2017) ddull FAO 56 Penman-Monteith gydag 8 dull arall o gyfrifo anwedd-drydarthiad yn ne-orllewin Tsieina hefyd (Tabl 24). Er mwyn asesu addasrwydd modelau eraill gyda gofynion data mwy cyfyngedig cymharodd Lang *et al.* (2017) dri model sy'n seiliedig ar belydriad (Makkink, 1957; Abtew, 1996 a Priestly-Taylor, 1972) a phum dull sy'n seiliedig ar dymheredd (Hargreaves-Samani, 1985; Thornthwaite, 1948; Hamon, 1963; Linacre, 1996 a Blaney-Criddle, 1986) ar gyfer cyfrifo PE gyda'r dull FAO ar y raddfa flynyddol a thymhorol.
- Rhannwyd rhanbarth yr astudiaeth yn bedwar isranbarth yn dibynnu ar baramedrau daearyddol a hinsoddol. Dangosodd y canlyniadau fod perfformiad y dulliau wrth amcangyfrif PE yn amrywio ymhlith y rhanbarthau; goramcangyfrifwyd PET gan Hargreaves a Samani, 1985, Priestley a Taylor, 1972, ac Abtew, 1996, tra bod eraill wedi tanamcangyfrif (Tabl 25). Yn gyffredinol, roedd gan y dulliau seiliedig ar belydriad berfformiad gwell na'r dulliau seiliedig ar dymheredd (h.y. roedd yr allbwn yn agosach at ddull PM FAO 56). Mae'r awduron yn nodi bod y tri dull seiliedig ar belydriad wedi'u datblygu mewn amodau hinsawdd llaith, a oedd yn eu gwneud yn addas ar gyfer ardal yr astudiaeth.
- Yn yr un modd, dadansoddodd Song *et al.* (2019) berfformiad 12 dull amcangyfrif PE mewn gwahanol isranbarthau o ogledd-ddwyrain Tsieina ac ar gyfer cyfnodau gwahanol o'i gymharu â dull FAO 56 Penman-Monteith (Ffigur 31). Awgrymodd yr awduron fod sawl dull yn ddewisiadau amgen addas i ddull FAO 56 Penman-Monteith (h.y. yn flynyddol, y dull Valiantzas (Val), Romanenko (Rom), Makkink (Mak), H-Makkink (H-Mak) a Penman (M-P) wedi'i addasu). Hefyd, bod y dulliau Turc a Hargreaves Samani wedi goramcangyfrif a thanamcangyfrif ET₀, yn y drefn honno, yn enwedig yn flynyddol.

8.3 Casgliadau ar gyfer cyfrifo anwedd-drydarthiad

- Mae lluo o ddulliau y gellir eu defnyddio i gyfrifo anwedd-drydarthiad posibl gan ddefnyddio gwahanol newidynnau hinsoddol. Gall y dull a ddewisir gael effaith sylweddol ar y gwerth PE sy'n deillio o hynny.
- Ym 1948, disgrifiodd Penman ei hafaliad i bennu 'anweddiad ar gyfer dŵr agored, pridd moel a glaswellt' yn seiliedig ar gyfuniad o gydbwysedd ynni a fformiwla aerodynamig. Addaswyd hyn wedyn gan Monteith (1965) drwy gynnwys term ymwrthedd arwyneb a ddaeth i gael ei adnabod fel hafaliad Penman-Monteith. Yn dilyn hynny, deilliwyd hafaliad wedi'i ddiweddarau (yn seiliedig ar hafaliad Penman-Monteith) gan yr FAO, h.y. hafaliad FAO-56 Penman-Monteith. Mae hyn yn symleiddio hafaliad Penman-Monteith drwy gymryd rhai paramedrau cyson ar gyfer cnwd cyfeirio glaswellt byr yn ganiataol. Yn ôl Jones (1987) mae'r ALC yn defnyddio dull wedi'i addasu o ddull Penman, er nad yw hyn wedi'i gadarnhau yng nghanllawiau'r ALC.
- Yn dilyn ymgynghoriad arbenigol a gynhaliwyd ym mis Mai 1990, argymhellodd yr FAO ddull FAO 56 Penman-Monteith fel yr unig ddull safonol ar gyfer diffinio a chyfrifo anwedd-drydarthiad cyfeirio. Mae'r dull yn defnyddio data hinsoddol safonol y gellir ei fesur yn hawdd neu sy'n deillio o ddata a fesurir yn gyffredin. O ganlyniad, argymhellir, lle mae angen cyfrifiadau PE ar gyfer ALC, y dylid defnyddio'r dull FAO 56 Penman-Monteith.
- Bydd unrhyw newid i'r dull a ddefnyddir i amcangyfrif PE yn cynhyrchu amcangyfrifon gwahanol o anwedd-drydarthiad. Mae PE yn un rhan o gyfrifiad diffyg lleithder yr ALC, y rhan arall yw glawiad. Mae PE yn amrywio llai na glawiad; dywed Jones (1987) bod amrywiad o flwyddyn i flwyddyn mewn PE o 25-30 mm, tra bod gwyriadau ar gyfer glawiad blynyddol yn >100 mm. Felly mae newidiadau mewn glawiad yn debygol o gael effaith fwy ar ddiffyg lleithder na PE. O

ganlyniad, mae unrhyw newidiadau i'r fethodoleg a ddefnyddir i gyfrifo PE yn yr ALC yn annhebygol o gael effaith sylweddol ar gyfrifiadau diffyg lleithder.

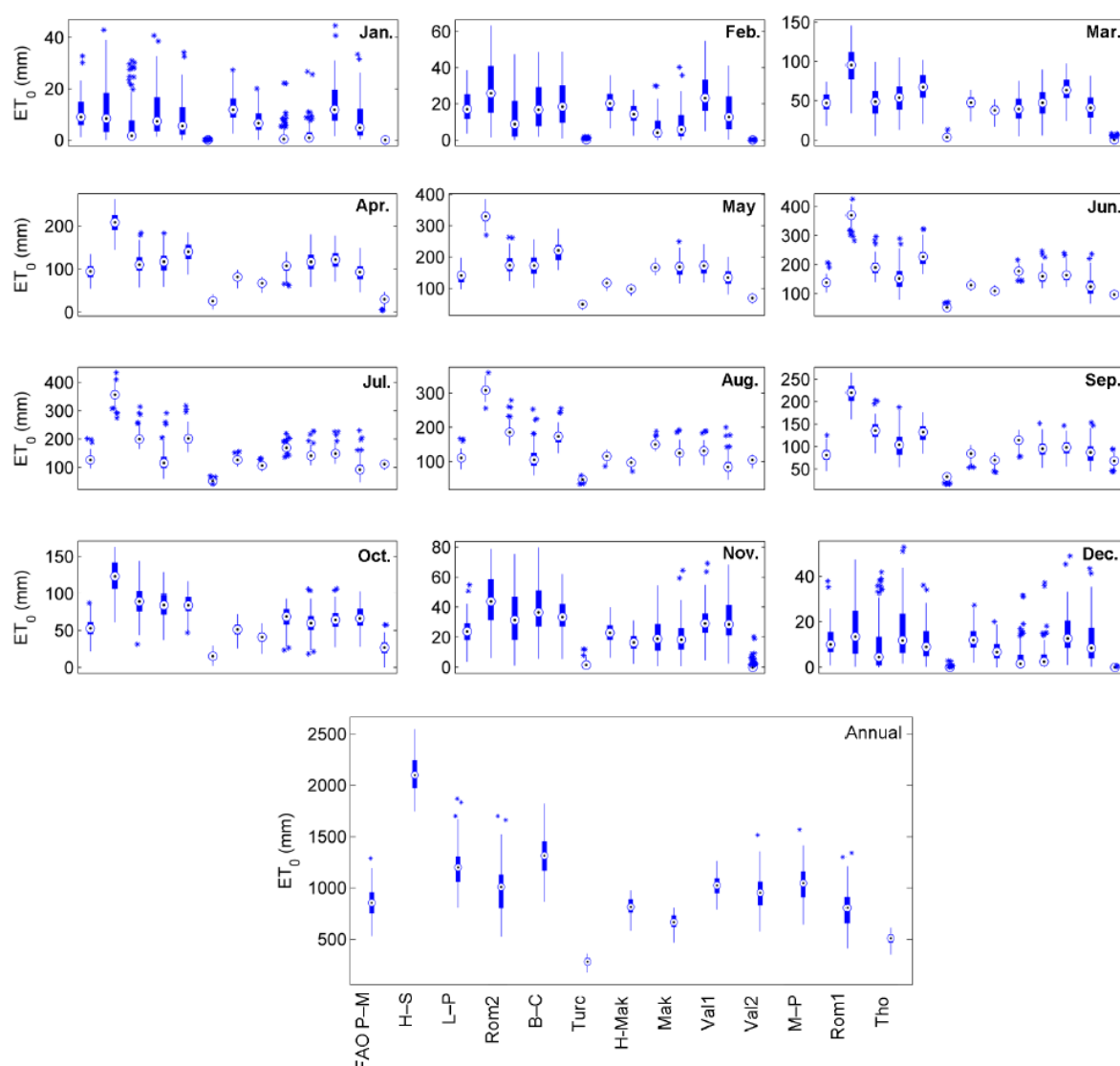
Tabl 24. Modelau anwedd-drydarthiad posibl o'u cymharu â dull FAO 56 Penman-Monteith gan Lang *et al* (2017)

Enw'r model	Fformat y model
Hargreaves a Samni, 1985	$PET_{HS} = 0.0023 \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T + 17.8)$ • R_a yw'r pelydriad solar allfydol ychwanegol (MJ/m²/dydd) • T_{max} a T_{min} yw'r tymheredd uchaf ac isaf (°C) • T yw'r tymheredd aer cymedrig (°C).
Hamon, 1963	$PET_{Ham} = 0.1651 \times L_d \times RHOSAT \times KPEC$ • L_d yw hyd y dydd (h); • RHOSAT yw'r dwysedd anwedd dwrlawn (g/m³); • Mae KPEC yn gyfernod calibradu
Priestley a Taylor, 1972	$PET_{PT} = a \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{(R_n - G)}{\lambda}$ • a yw'r cysonyn calibradu; $a = 1.26$; • I yw gwres cudd anweddiad (MJ/kg)
Linacre, 1966	$PET_{Lin} = \frac{\frac{500 \times (T + 0.006 \times A)}{100 - \phi} + 15 \times (T - T_d)}{80 - T}$ • A yw uchder yr orsaf (m); • j yw lledred yr orsaf (°C); • T_d yw tymheredd pwynt gwlith (°C).
Makkink, 1957	$PET_{Mak} = 0.61 \times \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{58.5} - 0.12$ • R_s yw pelydriad solar (MJ/m²/dydd) • $R_s = (a_s + b_s \times \frac{n}{N}) \times R_d$ • a_s a b_s yw cysonion atchweliad.
Abtew, 1996	$PET_{Abt} = k \times \frac{R_s}{\lambda}$ • Mae k yn gyfernod di-ddimensiwn = 0.53.
Thorntwaite; 1948	$PET_{Tho} = 16.0 \times \left(\frac{10 \times T_i}{H} \right)^A$ • T yw tymheredd cyfartalog misol (°C); • H yw mynegai gwres blynyddol • Mae A yn gysonyn
Brouwer a Heibloem, 1986	$PET_{BC} = q \times (0.46 \times T_m + 8)$ • q yw canran ddyddiol oriau dydd blynyddol • T_m yw'r tymheredd misol cymedrig (°C).

Tabl 25. Tuedd ganrannol flynyddol (tueddiad y data i fod yn fwy neu'n llai na data a gyfrifir gan y dull FAO 56 Penman-Monteith) ar gyfer wyth model PET. Mae gwerthoedd cadarnhaol yn dangos bod y model yn tanamcangyfrif tra bod gwerthoedd negyddol yn dangos goramcangyfrif.

Rhanbarth	HS	Ham	PT	Lin	Mak	Abt	Tho	BC
Basn Sichuan	-18.79	44.12	-28.62	55.28	15.46	-10.97	72.29	44.64
Llwyfandir Yun-Gui	-15.62	40.28	-29.46	-58.31	13.64	-11.04	76.65	53.22
Llwyfandir Dwyrain Tibet	-7.16	53.11	-33.14	48.62	9.46	-34.21	83.61	61.64
Dyffryn afon Arid	-9.14	45.09	-29.46	-48.95	11.96	-20.60	81.90	59.99

Sylwer: Hargreaves–Samani (HS), Hamon (Ham), Priestley–Taylor (PT), Linacre (Lin), Makkink (Mak), Abtew (Abt), Thornthwaite (Tho) a Blaney–Criddle (BC).



Ffigur 31. Plotiau blwch o ddata misol a blynyddol anwedd-drydarthiad (ET_0) o'r gwahanol ddulliau a ddefnyddir gan Song *et al.* (2019)

9 Sychder amaethyddol

- Mae sychder yn nodwedd arferol, gyson o'r hinsawdd sy'n digwydd ym mhob patrwm hinsoddol bron iawn. Mae'n un dros dro, yn wahanol i ddiffieithder, sy'n nodwedd barhaol o hinsawdd sydd wedi'i chyfyngu i ardaloedd glawiad isel. Mae rhanbarthau islaith, lled-ddiffaith a diffaith yn arbennig o agored i sychder sy'n adlewyrchu'r dyodiad rhyng-flynyddol amrywiol iawn a brofir yn y rhanbarthau hyn. Mae amaethyddiaeth yn y rhanbarthau hyn yn eithaf ymylol yn aml, hyd yn oed mewn blynyddoedd arferol, ond mae'n arbennig o agored i niwed pan fo dyodiad yn is na'r cyfartaledd. Hyd yn oed mewn parthau hinsoddol mwy llaith, mae sychder yn nodwedd gyffredin yn aml ac mae amaethyddiaeth yn un o'r sectorau allweddol yr effeithir arnynt gan sychder (Wilhite, 2010).
- Gellir nodweddu sychder yn ôl eu difrifoldeb, eu lleoliad, eu hyd a'u hamseriad. Gall sychder ddeillio o amrywiaeth o brosesau hydro-meteorolegol sy'n atal dyodiad a/neu'n cyfyngu ar argaeledd dŵr wyneb neu ddŵr daear sy'n creu amodau sy'n llawer sychach nag arfer neu sy'n cyfyngu mewn modd arall ar argaeledd lleithder i raddau a allai fod yn niweidiol (Sefydliad Meteorolegol y Byd (WMO) a'r Global Water Partnership (GWP), 2016). Yn ôl yr IPCC mae sychder meteorolegol yn cyfeirio at ddiffyg dyodiad a sychder hydrolegol yn cyfeirio at ddiffygion mewn dŵr sydd ar gael o ddŵr wyneb neu ddŵr daear, heb gynnwys galw dynol. Mae sychder amaethyddol yn cysylltu agweddau amrywiol ar sychder meteorolegol a hydrolegol sy'n canolbwyntio ar brinder dyodiad, gwahaniaethau rhwng anwedd-drydarthiad gwirioneddol a phosibl, diffyg dŵr pridd, llai o ddŵr daear neu lefelau is mewn cronfeydd dŵr (Hendriks *et al.*, 2016).

9.1 Mynegeion a modelau sychder

- Mae sychder amaethyddol yn dibynnu ar alw anwedd-drydarthol cnydau a'r lleithder pridd sydd ar gael i fodloni'r galw hwn. Mae effeithiau amaethyddol sychder yn ganlyniad i brinder dyodiad tymor byr, anomaleddau tymheredd sy'n cynyddu galw anwedd-drydarthol, a diffyg dŵr yn y pridd a allai effeithio'n andwyol ar gynhyrchu cnydau. Felly, dylai mynegai sychder amaethyddol integreiddio paramedrau sy'n cynnwys glawiad, tymheredd, anwedd-drydarthiad a dŵr ffo, i un rhif a rhoi darlun cynhwysfawr ar gyfer gwneud penderfyniadau. Dylai mynegeion sychder amaethyddol fod yn seiliedig ar ddiffyg lleithder pridd ac anwedd-drydarthiad er mwyn monitro sychder amaethyddol yn effeithiol.
- Fel arfer, mae mynegeion yn gynrychioliadau rhifiadol cyfrifiadurol o ddifrifoldeb sychder, a asesir gan ddefnyddio mewnbynnau hinsoddol neu hydro-meteorolegol fel dyodiad, tymheredd, lleithder pridd ac ati. Nid oes mynegai na dangosydd unigol a all gyfrif am bob math o sychder, patrymau hinsawdd a sectorau yr effeithir arnynt gan sychder, na'i gymhwyso iddynt. Yn aml, mae modelau neu fynegeion sychder yn ymwneud â pherygl sychder, effaith sychder (amlygiad x bregusrwydd) neu risg sychder (perygl x effaith). Gall mathau o fodelau gynnwys mynegeion, setiau data, modelau data, meddalwedd modelu ac ati ac mae rhyngberthnasau rhwng mathau o fodelau'n gyffredin.
- Adroddodd Van Orshoven et al. (2014) ar adolygiad panel arbenigol o'r meini prawf bioffisegol a ddefnyddiwyd i nodi ardaloedd o 'gyfyngiadau naturiol difrifol i amaethyddiaeth' yn yr EU28. Roedd y panel arbenigol yn dosbarthu nodweddion fel dyfnder pridd, sychder neu raddiant, fel rhai nad oeddent yn cyfyngu neu'n cyfyngu'n ddifrifol ar amaethyddiaeth, ac os barnwyd bod un maen prawf yn cyfyngu'n ddifrifol barnwyd bod gan y tir gyfyngiadau difrifol ar gyfer cynhyrchu

amaethyddol. Cynigiodd Van Orshoven *et al.* (2014) y dylid defnyddio mynegai sychder i nodi'r trothwy ar gyfer terfynau difrifol i amaethyddiaeth yn Ewrop. Dewisodd yr awduron yr UNEP Aridity Index (AI_{UNEP}) a ddisgrifir yn y 2nd World Atlas of Desertification (Middleton a Thomas, 1997). Dewiswyd y Mynegai gan ei fod yn disgrifio ardaloedd yn ôl straen dŵr, am ei fod yn syml i'w gyfrifiannu ac nad yw'n gysylltiedig ag unrhyw gnwd penodol.

- Mynegai AI_{UNEP} yw'r gymhareb o ddyodiad blynyddol (P) i anwedd-drydarthiad posibl blynyddol (PET):

$$AI_{UNEP} = P/PET$$

- Nodir y gwerthoedd trothwy ar gyfer AI_{UNEP} fel y'u disgrifir gan Middleton a Thomas (1997) yn Nhabl 26, isod. Noder bod y dosbarthiadau yn ôl AI_{UNEP} yn cael eu cynnal yn fersiwn ddiwygiedig o'r 3rd World Atlas of Desertification (Cherlet *et al.*, 2018). Awgrymodd Van Orshoven *et al.* (2014) y dylai'r trothwy difrifol (ar gyfer amaethyddiaeth yr UE) fod yn $AI_{UNEP} \leq 0.5$ (h.y. lled-ddiffaith Tabl 26 isod). Yn benodol, os yw'r tebygolrwydd o fynd y tu hwnt i'r trothwy (os yw gwerth mynegai sychder yn llai na 0.5 neu'n cyfateb i hynny) mewn ardal yn uwch nag 20%, yna ystyrir bod amodau rhy sych yn effeithio ar yr ardal.

Tabl 26. Dosbarthiad mynegai sychder AI_{UNEP} , gwerthoedd a disgrifiad

Dosbarthiad	Mynegai Sychu AI	Disgrifiad
Gorddiffaith	≤ 0.05	Glawiad amrywiol iawn rhyng-flynyddol (hyd at 100%) ac yn fisol. Mae'n bosibl bod cyfnodau blwyddyn o hyd heb law wedi'u cofnodi.
Diffaith	$0.05 \leq 0.20$	Gwerthoedd dyodiad blynyddol cymedrig hyd at tua 200 mm ac amrywioldeb rhyng-flynyddol yn yr amrediad 50-100. Gall amaethyddiaeth glaswelltir fod yn bosibl ond heb adnoddau dŵr daear mae'n agored iawn i amrywioldeb hinsoddol.
Lled-ddiffaith	$0.20 \leq 0.50$	Patrymau glawiad tymhorol iawn a gwerthoedd blynyddol cymedrig hyd at 800 mm mewn ardaloedd glawiad haf a 500 mm mewn patrymau gaeaf. Serch hynny, mae amrywioldeb rhyng-flynyddol yn uchel (25-50%). Yn agored i ddiffyg lleithder tymhorol a rhyng-flynyddol.
Is-laith sych	$0.50 \leq 0.65$	Patrymau glawiad tymhorol iawn gyda llai na 25% o amrywioldeb glawiad rhyng-flynyddol; amaethyddiaeth yn cael ei arfer yn eang.
Llaith	≥ 0.65	
Oer	$PET < 400 \text{ mm}$	

- Mae Van Orshoven *et al.* (2014) yn dangos bod AI_{UNEP} yn seiliedig ar fethodoleg Penman-Monteith, fodd bynnag, dywed Middleton a Thomas (1997) bod PET wedi'i gyfrifo gan ddefnyddio dull PET Thornthwaite (1948), a ddisgrifir isod. Dewiswyd model Thornthwaite gan mai dim ond data cyfyngedig sydd ei angen arno ac roedd yn ymarferol ar gyfer astudiaeth ar raddfa fyd-eang.
- Mae hafaliad PET Thornthwaite (1948) yn seiliedig ar ddata meteorolegol misol:

$$PET_{Tho} = 16.0 \times \left(\frac{10 \times T_i}{H} \right)^A$$

T yw'r tymheredd cyfartalog misol (°C); H yw'r mynegai gwres blynyddol ac mae A yn gysonyn. Cyfrifir gwerthoedd mynegai misol (i) o $(T/5)^{1.514}$ i roi'r mynegai gwres, I. Mae'r fformiwla'n rhoi

cyfraddau PE heb eu haddasu sy'n cael eu lleihau neu eu cynyddu gan ffactor sy'n amrywio yn ôl mis a lledred (rhoddir gwerthoedd tabledig yn Thornthwaite, 1948).

- Fodd bynnag, nododd Middleton a Thomas (1997) ei bod yn hysbys bod dull Thornthwaite yn tanamcangyfrif PET yn systematig ar gyfer amodau sych ac yn goramcangyfrif gwerthoedd ar gyfer amodau llaith ac oer. O ganlyniad, cymhwyswyd ffactor addasu empirig i'r data, a addasodd y gwerthoedd yn unol â rhai dull Penman.

9.2 Mathau o fynegeion sychder

- Gellir grwpio mynegeion sychder yn fras fel meteorolegol, lleithder pridd, hydrolegol, synhwyro o bell neu gyfunol. Nododd arolwg a gomisiynwyd gan y WMO Commission for Agricultural Meteorology of National Meteorological and Hydrological Services fod amrywiaeth eang o fynegeion sychder yn cael eu defnyddio'n fyd-eang (Tabl 27).
- Roedd y genhedlaeth gyntaf o fynegeion sychder yn dibynnu ar newidynnau meteorolegol a welwyd mewn gorsafoedd tywydd synoptig. Mae enghreifftiau'n cynnwys y Standardised Precipitation Index, yr Effective Drought Index, y Standardised Precipitation Evapotranspiration Index a'r Reconnaissance Drought Index. Model arall a ddefnyddir yn eang yw'r Palmer Drought Severity Index (PDSI) lle defnyddir data ar y cynnwys dŵr sydd ar gael yn y pridd ar y cyd â pharamedrau meteorolegol. Mae sawl awdur wedi cynnig gwelliannau i'r model hwn, er enghraifft, y PDSI wedi'i hunan-raddnodi. Datblygwyd y PDSI ymhellach fel mynegeion sychder amaethyddol penodol fel y Mynegai Lleithder Cnydau (Palmer, 1968), sy'n defnyddio anwedd-drydarthiad yn hytrach na diffygion o ran dyodiad. Mynegeion sychder amaethyddol mwy diweddar yw'r Crop Specific Drought Index, y Soil Moisture Deficit Index, y Soil Water Index (SWI) a'r Evapotranspiration Deficit Index (ETDI).
- Dosbarth arall o fynegeion sychder yw'r model hydrolegol, e.e. y Standardised Streamflow Index (SSFI), yr Aggregate Dryness Index (ADI) neu'r Streamflow Drought Index (SDI). Mae mynegeion sychder hydrolegol yn mesur dŵr yn y system hydrolegol, h.y. ffrydlif mewn afonydd, mewn llynnoedd neu lefelau dŵr mewn cronfeydd dŵr, llynnoedd neu ddŵr daear.
- Roedd datblygu lloerennau arsylwi'r Ddaear o'r 1980au ymlaen yn cynnig cyfleoedd newydd ar gyfer monitro a chanfod sychder, gan ganiatáu i wybodaeth ofodol gael ei chasglu ar raddfa ranbarthol neu fyd-eang. Y mwyaf adnabyddus yw'r Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), sydd wedi'i ddefnyddio mewn mynegeion sychder fel y Vegetation Supply Water Index (VSWI), y Temperature Vegetation Dryness Index, a'r Standardised Vegetation Index. Casglwyd data thermol hefyd, er enghraifft, o synwryddion Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) i amcangyfrif tymheredd arwyneb y tir a'i ddefnyddio ar y cyd â data NDVI (e.e. Temperature Condition Index-TCI). Seiliwyd mynegeion eraill ar y berthynas empirig rhwng tymheredd arwyneb y tir a NDVI (e.e. y Temperature Vegetation Dryness Index-TVDI).
- Nod mynegeion synhwyro o bell newydd yw defnyddio galluedd aml-fand, er enghraifft, synhwyrydd MODIS. Un enghraifft yw'r Normalised Multi-Band Drought Index (NMDI) a gynigiwyd gan Wang a Qu (2007) yn seiliedig ar un sianel isgoch agos a dwy sianel isgoch tonfedd fer. Nod mynegeion diweddar, megis y Vegetation Drought Response Index (VegDRI) neu'r Multivariate Standardised Drought Index yw cyfuno data meteorolegol a data synhwyro o bell.

Tabl 27. Rhestr o fynegeion sychder a ddefnyddiwyd mewn amrywiaeth o wledydd ar gyfer y cyfnod 2010-2014 fel yr adroddwyd gan arolwg y WMO Commission for Agricultural Meteorology (Ffynhonnell: Sefydliad Meteorolegol y Byd (WMO) a'r Global Water Partnership, 2016)

<i>Country/territory</i>	<i>Drought indices</i>
Argentina	Standardized Precipitation Index; quintiles; soil hydric balance; probability of occurrence; maximum period of days without precipitation
Austria	Standardized Precipitation Index; rainfall deciles
Belarus	Models of productivity of agricultural crops; Shashko moisture index; Protserova moisture measurement; moisture reserves in soil; number of days in month with relative humidity $\leq 30\%$
Belgium	Meteorological drought; precipitation deficit
Belize	Standard Precipitation Index
Bosnia and Herzegovina	Standardized Precipitation Index; Hydro-thermal Coefficient (Selyaninov); Aridity Index; Palmer Drought Severity Index; precipitation percentage of normal; reference evapotranspiration; water balance in soil
Brazil	Standardized Precipitation Index; Palmer Drought Severity Index; Standardized Evapotranspiration Index; Crop Moisture Index; deciles and quintiles; crop-specific drought indices
Bulgaria	Soil Moisture Index; Aridity Index; Thornthwaite Index; Standardized Precipitation Index; Palmer Drought Severity Index; Selyaninov's Hydro-thermal Coefficient
Canada	Standardized Precipitation Index; Vegetation Drought Response Index; precipitation departure; Palmer Drought Severity Index; blended indices used in test model
Chile	Standardized Precipitation Index; Normalized Difference Vegetation Index; percentage of normal precipitation
China	Crop Water Deficit Index; Soil Moisture Index; Precipitation Abnormal Index
Côte d'Ivoire	Water Satisfaction Requirements Index; water balance
Croatia	Standardized Precipitation Index; monitoring of dry/wet conditions and prediction seven days ahead; cumulative precipitation; Walter diagram; monthly temperature and precipitation anomalies
Cyprus	Standardized Precipitation Index; Bhalme-Mooley Drought Intensity Index
Czech Republic	Agro-meteorological drought; actual and potential evapotranspiration and soil moisture modelling with operational water balance model; climatic water balance; percentage of precipitation compared with normal value; hydrological measures (for example, streamflow and reservoir levels)
Democratic Republic of the Congo	Percentage of normal precipitation
Dominican Republic	Standard Precipitation Index
Germany	Standardized Precipitation Index; Standardized Temperature Index; Climatic Water Balance; soil humidity expressed as plant-available water of field capacity at different depths

Greece	Standardized Precipitation Index; Palmer Drought Severity Index; Reclamation Drought Index; Palfai Drought Index
Hong Kong, China	Standardized Precipitation Index
Iran, Islamic Republic of	Calculated daily: Effective Drought Index, Aridity Index, deciles, Percent of Normal Precipitation; calculated weekly: Temperature Condition Index, Vegetation Condition Index, Vegetation Health Index; calculated monthly: Standardized Precipitation Index, Reclamation Drought Index
Israel	Standardized Precipitation Index; ratio of precipitation averages
Jamaica	Standardized Precipitation Index; percentage of 30-year mean over two months
Jordan	Standardized Precipitation Index; Aridity Index
Kazakhstan	Hydro-thermal Coefficient of Selyaninov, Standardized Precipitation Index
Libya	Standardized Precipitation Index
Lithuania	Selyaninov's Hydro-thermal Coefficient; Standardized Precipitation Index
New Zealand	Days of soil moisture deficit; Standardized Precipitation Index; depth of potential evapotranspiration deficit; rainfall deciles and anomalies; drought spatial assessments
Pakistan	Standardized Precipitation Index; Percent of Normal; percentage departure; Normalized Difference Vegetation Index; land surface temperature
Peru	Palmer Drought Severity Index; Standardized Precipitation Index; Standardized Runoff Index; Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
Russian Federation	Ratio of monthly precipitation to sum of temperatures; ratio of precipitation to annual mean air humidity deficit; ratio of soil water storage for the period to air moisture deficit sum for the same period (multiplied by 0.375); number of days with relative air humidity below 30%; number of days with maximum air temperature above 25 °C; soil moisture water reserves at 0–20, 0–50 and 0–100 cm soil layers; sum of anomalous weather conditions; deviations of the mean air temperature; precipitation sum and water reserves in 1 m soil layer from the norm
Slovenia	Precipitation anomaly; Standardized Precipitation Index; cumulative meteorological water balance; decadal drought stress index, consecutive dry days
Spain	Standardized Precipitation Index; soil water content (available water calculated as percentage of soil water capacity from a soil water balance model)
Sri Lanka	Standardized Precipitation Index
Switzerland	Standardized Precipitation Index; Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; precipitation anomaly; Agricultural Reference Index for Drought
Thailand	Moisture Available Index; Standardized Precipitation Index
The former Yugoslav Republic of Macedonia	Standardized Precipitation Index; deciles; Palmer Drought Severity Index; Aridity Index; Lang Index
Trinidad and Tobago	Standardized Precipitation Index; Palmer drought indices
Turkey	Standardized Precipitation Index; Percent of Normal Index; Palmer Drought Severity Index
Ukraine	Selyaninov's Hydro-thermal Coefficient; Protserov's humidity supply coefficient; Aridity Index by Ped; Meteorological Productivity Index by Bagrov; Standardized Precipitation Index
United Republic of Tanzania	Standardized Precipitation Index; Percent of Normal Precipitation
United States of America	Standardized Precipitation Index; Palmer Drought Severity Index; Crop Moisture Index; Surface Water Supply Index; Percent of Normal Precipitation
Uzbekistan	Number of days with temperatures above 40 °C; Aridity Index (annual amount of precipitation, mm/year); provision of water runoff during the growing season (April–September); accumulation of snow; reduction in soil moisture up to 4 mm or less

- Mae WMO a GWP yn cynnwys cronfa ddata ar-lein o ddangosyddion a mynegeion sychder⁹, sy'n cael eu categorïddio yn ôl math (a) meteoroleg, (b) lleithder pridd, (c) hydroleg, (d) synhwyro o bell ac (e) cyfansawdd neu wedi'u modelu. Defnyddiwyd y gronfa ddata hon, ynghyd ag adolygiad mwy cyffredinol o lenyddiaeth i lunio'r daenlen excel sy'n cyd-fynd â'r adroddiad hwn sy'n rhestru mwy na 50 o fodelau/mynegeion sychder a ddatblygwyd ar ôl 1988. Ni fwriedir i'r rhestr fod yn gynhwysfawr ond mae'n rhoi trosolwg da o'r amrywiaeth a'r math o fynegeion/modelau sychder sydd wedi'u cynhyrchu yn ystod y 30 mlynedd diwethaf.
- Mae'r daenlen Excel yn rhoi manylion y math o fodel, y data a ddefnyddir yn y model, manylion y model, allbynnau'r model a chryfderau a gwendidau pob model. Ystyriwyd hefyd pa mor gymwys yw pob model o ran addasu i asesiad sychder yr ALC. Mae Tabl 28 yn rhestru'r modelau/mynegeion sydd wedi'u hadolygu yn y daenlen ategol.
- O'r 50 model a adolygwyd, ni fyddai'r rhan fwyaf (c.85%) yn addas i'w defnyddio yn asesiad sychder yr ALC. Roedd llawer o fynegeion yn ymwneud â rhagfynegi neu fonitro sychder, neu'n benodol i gnydau neu ranbarthau penodol, yn nodi straen cnydau (e.e. cnydau'n troi'n felyn) na ellid ei briodoli'n uniongyrchol i sychder neu a oedd yn rhy gymhleth i'w defnyddio'n gyffredinol. Fodd bynnag, gallai ychydig ohonynt fod yn berthnasol i'r ALC, er y gallai fod angen addasu a/neu ymchwilio ymhellach. Er enghraifft, gallai Evapotranspiration Deficit Index a'r Soil Moisture Deficit Index fod yn berthnasol i'r ALC. Cyfrifir y rhain gyda'i gilydd a gellir eu defnyddio i gyfrifo gwerthoedd hanesyddol a gwerthoedd ar wahanol ddyfnderoedd pridd, gan ganiatáu i'r mynegeion gael eu haddasu i wahanol gnydau. Roedd y mynegeion yn dangos cydberthynas dda â chynnyrch cnydau hefyd, sy'n golygu y gallent fod yn berthnasol i'r ALC, lle mae dosbarthiadau'n adlewyrchu cyfyngiadau ar ddefnydd amaethyddol.
- Mynegeion eraill a allai fod yn berthnasol yw'r Drought Reconnaissance Index (DRI) a'r Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI), sydd ill dau'n seiliedig ar gydbwysedd dŵr. Mae'r DRI yn seiliedig ar y gymhareb rhwng symiau cyfanredol o ddyodiad ac anwedd-drydarthiad. Mae'n defnyddio tymheredd misol a gwerthoedd dyodiad a gellid eu defnyddio o bosibl i gyfrifo gwerthoedd hanesyddol a fyddai'n caniatáu i ardaloedd sy'n dueddol o ddiodef sychder gael eu nodi. Yn yr un modd, mae'r SPEI yn defnyddio cydbwysedd dŵr (dyodiad ac anwedd-drydarthiad posibl) a'r tymheredd i gyfrifo gwerthoedd positif a negatif i nodi amodau gwlyb a sych. Mae'n bosibl y gellid defnyddio'r SPEI i gyfrifo gwerthoedd hanesyddol.
- Nodwyd dau fynegai dŵr pridd arall fel rhai a allai fod yn berthnasol o bosibl i'r ALC. Mae'r cyntaf, y Fractional Water Index, yn dangos lleithder pridd ar dri dyfnder gan ddefnyddio amrediad o werthoedd o 0 (pridd sych) i 1 (pridd gwlyb) gan ddefnyddio rhwydwaith awtomataidd o ddyfeisiau synhwyro. Er bod y system wedi'i chynllunio a'i defnyddio yn Oklahoma gellid mabwysiadu dull tebyg ledled y DU. Cyfrifir yr ail, yr Empirical Standardised Soil Moisture Index o arsylwadau dyddiol o leithder pridd o synwryddion lloeren, mae gwerthoedd negatif yn cyfateb i gyfnodau sychach a gwerthoedd positif i gyfnodau gwlypach. Dangosodd y mynegai gydberthynas dda â chynnyrch cnydau, sy'n golygu y gallai fod yn berthnasol i'r ALC.

Datblygwyd system dosbarth gwlypter pridd yr ALC dros nifer o flynyddoedd gan ddefnyddio dull monitro ffynnon-ddipio; yna cyfatebwyd y data â dyddiau capasiti'r cae. Gellid defnyddio rhwydwaith awtomataidd o ddyfeisiau synhwyro i gael data newydd ar wlybanaeth pridd. Fodd bynnag, byddai angen cyfnod monitro sylweddol (e.e. 5-10 mlynedd) i gasglu digon o ddata i nodi

⁹ <https://www.droughtmanagement.info/indices/>

ardaloedd sy'n destun cyfnodau sylweddol o amodau gwlyb neu sych a fyddai'n cyfyngu ar botensial amaethyddol.

Tabl 28. Rhestr o fodelau/mynegeion sychder a ddisgrifir yn y daenlen Excel gysylltiedig.

Rhif adnabod	Enw'r Model/Mynegai	Dyddiad	Math	Cyfeiriad
1	Soil Moisture Anomaly (SMAI).	1988	SM	Bergman <i>et al.</i> , 1988
2	Cumulative Moisture Anomaly Index (CMAI)	1988	SM	Bergman <i>et al.</i> , 1988
3	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)	1988	RS	Huete A. R., 1988
4	Vegetation Supply Water Index (VSWI)	1990	RS	Carlson a Gillies, 1994 Carlson <i>et al.</i> , 1990 Abbas <i>et al.</i> , 2014
5	Standardized Precipitation Index (SPI)	1993	MET	McKee <i>et al.</i> , 1993
6	Standardized Streamflow Index (SSFI)	1993	MET	McKee <i>et al.</i> , 1993
7	Crop Specific Drought Index (CSDI)	1993	HY	Meyer <i>et al.</i> , 1993
8	China Z Index (CZI)	1995	MET	Hong <i>et al.</i> , 2001
9	Temperature Condition Index (TCI)	1995	RS	Kogan, 1995
10	Vegetation Condition Index (VCI)	1995	RS	Kogan, 1995
11	Vegetation Health Index (VHI)	1995	RS	Kogan, 1995
12	Reclamation Drought Index (RDI)	1996	MET	Weghorst, 1996
13	Normalized Difference Water Index (NDWI)	1996	RS	Gao, 1996
14	Effective Drought Index (EDI)	1999	MET	Byun a Wilhite, 1999
15	Enhanced Vegetation Index (EVI)	2002	RS	Huete <i>et al.</i> , 2002
16	United States Drought Monitor (USDM)	2002	C/M	United States Drought Monitor, 2020
17	Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI)	2002	RS	Sandholt <i>et al.</i> , 2002
18	Standardized Vegetation Index (SVI)	2002	RS	Peters <i>et al.</i> , 2002
19	Shortwave Infrared Water Stress Index (SIWSI)	2003	RS	Fensholt a Sandholt, 2003
20	Weighted Anomaly Standardized Precipitation Index (WASP)	2004	MET	Lyon a Barnston, 2005
21	Self-Calibrated Palmer Drought Severity Index (SC-PDSI)	2004	MET	Wells <i>et al.</i> , 2004
22	Evapotranspiration Deficit Index (ETDI)	2004	SM	Narasimhan a Srinivasan, 2005
23	Soil Moisture Deficit Index (SMDI).	2004	SM	Narasimhan a Srinivasan, 2005
24	Standardized Water-Level Index (SWI).	2004	HY	Bhuiyan, 2004
25	Aggregate Dryness Index (ADI).	2004	HY	Keyantash a Dracup, 2004
26	Global Land Data Assimilation System (GLDAS).	2004	C/M	Rodell <i>et al.</i> , 2004

27	Drought Reconnaissance Index (DRI/RDI)	2005	MET	Tsakiris a Vangelis, 2005
28	Surface Water capacity index (SWCI)	2007	RS	Du <i>et al.</i> , 2007
29	Normalized Multi-band Drought Index (NMDI)	2007	RS	Wang a Qu, 2007
30	Standardized Runoff Index (SRI)	2007	C	Shukla a Wood, 2008
31	Normalized Soil Moisture (NSM)	2008	C/M	Dutra <i>et al.</i> , 2008
32	Streamflow Drought Index (SDI).	2009	HY	Nalbantis a Tsakiris, 2008
33	Cropland Soil Moisture index (CSMI)	2009	RS	Chen <i>et al.</i> , 2009
34	Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)	2010	MET	Vicente-Serrano <i>et al.</i> , 2010
35	Scaled Drought Condition Index (SDCI)	2010	RS	Rhee <i>et al.</i> , 2010
36	Agricultural Reference Index for Drought (ARID).	2011	MET	
37	Evaporative Stress Index (ESI)	2011	RS	Fraisse <i>et al.</i> , 2011
38	Combined Drought Indicator (CDI).	2012	C/M	Anderson <i>et al.</i> , 2011
39	Visible and Shortwave infrared Drought Index (VSDI)	2012	RS	Sepulcre-Canto <i>et al.</i> , 2012
40	Vegetation Drought Response Index (VegDRI)	2013	RS	Zhang <i>et al.</i> , 2013
41	Multivariate Standardized Drought Index (MSDI)	2013	C/M	Vegetation Drought Response Index VegDRI, 2020
42	Fractional Water Index (FWI)	2013	SM	Hao ac AghaKouchak, 2013
43	Standardized Snowmelt and Rain Index (SMRI).	2014	SM	Schneider <i>et al.</i> , 2003
44	Soil Water Index (SWI)	2014	HY	Staudinger <i>et al.</i> , 2014
45	Global Integrated Drought Monitoring and Prediction System (GIDMaPS).	2014	RS	Kidd a Wagner, 2014
46	Standardized Reservoir Supply Index (SRSI).	2015	HY	Hao <i>et al.</i> , 2014
47	Modified Vegetation Supply Water Index (MVSWI)	2016	RS	Gushev <i>et al.</i> , 2015
48	Empirical Standardized Soil Moisture Index (ESSI)	2016	SM	Wu a Lu, 2016
49	Surface Water Content Temperature Index (SWCTI)	2018	RS	Carro <i>et al.</i> , 2016
50	Vegetation soil water deficit (VSWD)	2019	RS	Hong <i>et al.</i> , 2018
51	Locally Weighted Standardized Precipitation Index (LWSDI)	2019	MET	Cao <i>et al.</i> , 2019
52	Regionally Improved Weighted Standardized Drought Index (RIWSDI)	2019	MET	Ali <i>et al.</i> , 2019

Sylwer: y mathau o fodelau yw SM: lleithder pridd; RS synhwyro o bell; MET: meteoroleg; HY: hydroleg; C/M: cyfansawdd neu wedi'i fodelu; M: wedi'i fodelu

10 Modelau gallu neu addasrwydd tir

- Mae gallu tir amaethyddol yn asesu natur y cyfyngiadau a graddau'r cyfyngiadau a osodir ar amaethyddiaeth wedi'i thrin gan nodweddion ffisegol uned tir (Bock *et al.*, 2018). Dyma'r asesiad cyffredinol o ffactorau hinsoddol a phridd, er enghraifft, heb ystyried y defnydd amaethyddol presennol. O'i gymharu, mae'r term 'addasrwydd tir' yn amcangyfrifiad o addasrwydd pridd a'i dirwedd ar gyfer cynhyrchu cnwd amaethyddol penodol (FAO, 1976). Gan fod gan blanhigion ofynion penodol sy'n gysylltiedig â statws swyddogaethol pridd, rhaid bod gan ddosbarthiadau sy'n seiliedig ar gyfyngiadau cynhyrchu a chynhyrchiant cnydau haenau penodol neu fod yn benodol i un cnwd neu grwpiau o gnydau cysylltiedig (Mueller *et al.*, 2010).
- Mae dosbarthiad gallu tir yn golygu categoreiddio unedau o'r dirwedd yn systematig mewn ffordd sy'n adlewyrchu'r gallu cynhenid i gynhyrchu'n gynaliadwy yn y dyfodol (Lynn *et al.*, 2009). Mae'r ALC yn asesiad o allu tir. Mae'n darparu fframwaith ar gyfer dosbarthu tir amaethyddol yn ôl y graddau y mae'r nodweddion ffisegol neu gemegol yn cyfyngu ar ddefnydd amaethyddol. Gall y cyfyngiadau effeithio ar amrywiaeth y cnydau y gellir eu tyfu, lefel a chysondeb y cnwd a chost gysylltiedig ffermio'r tir. Mae'r radd ALC yn disgrifio gallu'r tir ar gyfer amrywiaeth o gnydau a allai fod yn addas. Mae'n darparu fframwaith ar gyfer dosbarthu tir amaethyddol yn chwe dosbarth (graddau ALC 1, 2, 3a, 3b, 4 a 5) yn ôl y graddau y mae nodweddion hinsoddol, pridd a safle'n cyfyngu ar ddefnydd amaethyddol. Daw'r terfynau i gynhyrchu amaethyddol yn gynyddol fwy o ddosbarth 1 i ddosbarth 5. Datblygwyd y system ALC a ddefnyddir yng Nghymru a Lloegr ar gyfer cynllunio defnydd tir, i helpu i lywio datblygiad trefol i ffwrdd o ardaloedd o dir â'r hyblygrwydd mwyaf ar gyfer defnydd amaethyddol (Hallett *et al.*, 2017). Nid oedd bwriad i asesu addasrwydd cae penodol ar gyfer tyfu cnwd penodol.
- Cynlluniwyd modelau addasrwydd cnydau i fod yn fwy penodol na modelau gallu a gellir eu cynllunio ar gyfer cnydau penodol, neu'n fwy arferol, grwpiau eang o gnydau tebyg (e.e. grawnfwydydd, had olew, India corn, cnydau gwraidd ac ati.). Er enghraifft, yng Nghanada, mae'r Systemau Sgorio Addasrwydd Tir (LSRS) yn set o algorithmau sy'n seiliedig ar reolau sy'n integreiddio ffactorau pridd, hinsawdd a thirwedd i gyfrifo sgôr addasrwydd dosbarthedig ar gyfer ardal benodol i gefnogi cnwd masnachol (Bock *et al.*, 2018). Mae'r priodoleddau a ddefnyddir i ddiffinio pob un o'r ffactorau yn seiliedig ar eu gallu profedig i effeithio ar dwf cnydau, eu gallu i gael eu mesur (neu eu hamcangyfrif drwy ddirprwy) a'u bod ar gael mewn cronfeydd data hygyrch. Cyhoeddwyd yr LSRS am y tro cyntaf ym 1995 gan Agriculture and Agri-Food Canada fel cyfrifiannell i'w defnyddio â llaw sy'n benodol i safle ar gyfer cnydau grawn bach a gaiff eu hau yn y gwanwyn a oedd yn ymgorffori setiau o gromlinau didynnu pwyntiau priodoleddau'n seiliedig ar wybodaeth arbenigol. Ers hynny, mae'r system wedi'i hehangu i gynnwys modiwlau cnydau ychwanegol ac mae'r holl waith trin data a chyfrifiadau data wedi'i awtomeiddio drwy gyfres o gymwysiadau ar y we. Mae'r LSRS yn cynnwys canllawiau ar gyfer India corn, ffa soia, porthiant (maglys a glaswelltau), had olew a chnydau grawn bach a gaiff eu hau yn y gwanwyn.
- Cyfunodd Jahanshiri *et al.* (2020) ddata gofynion cnydau sydd wedi'u diffinio gan arbenigwyr ac sydd ar gael yn eang gyda data amllder ar gyfer 40 cnwd o wahanol fathau (grawnfwydydd, codlysiau, llysiau, ffrwythau a chloron/gwreiddiau). Dangosodd y canlyniadau fod gan fynegai addasrwydd yn seiliedig ar pH pridd a mynegai sy'n cyfuno'r addasrwydd thermol a gymedrolir gan pH y pridd, gwead ac addasrwydd dyfnder y potensial i ragweld addasrwydd cnydau. Awgrymodd yr awduron y gellid cyfuno'r data ar addasrwydd cnydau â gwybodaeth fwy cyffredinol am addasrwydd tir.

- Prif fantais cynllun dosbarthu gallu tir yw strwythur sylfaenol amlbwrpas a syml y system. Gellir ei addasu'n syml heb newid y strwythur sylfaenol (e.e. diweddaru'r set ddata a ddefnyddir i asesu'r cyfyngiadau hinsoddol). I'r gwrthwyneb, mae modelau addasrwydd cnydau'n fwy penodol, er y gall anhyblygrwydd model gyfyngu ar gymhwyso ei allbynnau'n ehangach, gan y gall gwybodaeth fioffisegol fanwl fod ar goll ar gyfer llawer o leoliadau, cnydau a graddfeydd (Manna *et al.*, 2009). Mae Muller *et al.* (2010) yn dadlau hefyd, er eu bod yn llwyddiannus ar raddfa leol, fod gofynion data'n atal modelau addasrwydd rhag perfformio'n dderbyniol ar raddfeydd mwy.

10.1 Casgliadau

- I ryw raddau, mae priodoldeb y naill fath o fodel neu'r llall (gallu neu addasrwydd) yn dibynnu ar nod penodol yr asesiad tir. Amcan yr ALC yw llywio'r gwaith o gynllunio defnydd tir drwy roi modd i ddatblygwyr gymharu ansawdd tir amaethyddol yng Nghymru a Lloegr. At ddibenion cynllunio, ystyrir mai Graddau 1, 2 a 3a yw'r 'gorau a mwyaf amlbwrpas' a rhoddir statws uwch i'r tir hwn wrth ystyried datblygiad. Mae system gallu gyffredinol yn dda i'r diben hwn.
- Mae dull addasrwydd yn rhoi trosolwg da o'r cnydau y gellir eu tyfu mewn ardal benodol. Er enghraifft, lle mae tir yn ALC Gradd 1 gellir tyfu amrywiaeth eang o gnydau, o'i gymharu â thir sy'n ALC 5, lle cyfyngir ar ddefnydd tir i bori parhaol neu bori garw. Mae'n debygol na fydd llawer i'w ennill o fodolau addasrwydd penodol wrth asesu'r categori olaf. Fodd bynnag, lle mae tir yn ALC Gradd 1-3, byddai gwybodaeth fwy penodol am addasrwydd cnydau yn ddefnyddiol i alluogi penderfyniadau mwy manwl ar ddewisiadau cnydio. Fodd bynnag, sylwer bod hyn y tu allan i gwmpas yr ALC yn ei fformat presennol ac mae'n fwy addas ar gyfer rheoli tir na rôl cymorth cynllunio.
- Mae'n ymddangos mai'r defnydd o'r ddau fath o fodel ar y cyd, h.y. model gallu i gategoreiddio cyfyngiadau cynhyrchu yn fras (ar gyfer cymorth cynllunio) ac yna gwelliannau pellach sy'n benodol i gnydau gan ddefnyddio model addasrwydd i dynnu sylw at ddewisiadau rheoli tir posibl fyddai'r opsiwn gorau. Bydd y cyfuniad gorau o ddulliau gweithredu'n dibynnu ar y diben dan sylw. Gall hyn fod fel system cymorth cynllunio (prif ddiben yr ALC) neu ar gyfer asesu opsiynau rheoli tir a defnydd tir yn y dyfodol.

11 Yr ALC a'r newid yn yr hinsawdd

- Prif effeithiau'r newid yn yr hinsawdd ar briddoedd fydd drwy newidiadau i batrymau lleithder pridd. Mae lleithder pridd yn sbardun allweddol ar gyfer y rhan fwyaf o brosesau pridd ac mae'n allweddol yn y defnydd y gellir ei wneud o briddoedd. Wrth i'r hinsawdd newid, bydd lefelau lleithder pridd yn cael eu dylanwadu gan effeithiau hinsoddol uniongyrchol (dyodiad, effeithiau tymheredd ar anweddiad), newidiadau mewn llystyfiant a ysgogir gan yr hinsawdd, cyfraddau twf planhigion gwahanol a chylchoedd gwahanol, cyfraddau gwahanol o echdynnu dŵr pridd ac effaith lefelau CO₂ uwch ar drydarthiad planhigion (NSRI, 2005).
- Rhagwelir y bydd gan yr ardaloedd hynny â thymheredd cynhesach a llai o law lai o leithder pridd gyda goblygiadau mawr o bosibl o ran y cnydau y gellir eu tyfu a'r ecosystemau naturiol a lled-naturiol a all barhau i fodoli (NSRI, 2005). Mae natur dymherus newidiadau mewn newidynnau hinsoddol yn arbennig o bwysig, er enghraifft llai o leithder pridd yn yr haf, mwy o leithder pridd yn y gaeaf.
- Wrth i'r hinsawdd newid, mae'n debygol y bydd angen rhai addasiadau i'r ALC er mwyn sicrhau ei fod yn dal i fod yn berthnasol ar gyfer graddio ansawdd tir amaethyddol yng Nghymru a Lloegr. Fel y nodwyd gan Keay *et al.* (2014) mae'r prif gyfyngiad hinsawdd yn yr ALC wedi'i seilio ar y

rhagdybiaeth bod amodau hinsawdd cynhesach a sychach yn arwain at welliannau mewn gradd tir. Fodd bynnag, wrth i'r newidiadau a'r amodau hinsawdd fynd yn sychach, mae'r cyfyngiadau ar gynhyrchu amaethyddol (ac felly graddau'r ALC) yn debygol o gael eu dylanwadu lai gan ffactorau hinsawdd oer a gwlybanaeth a'u dylanwadu'n fwy gan risg sychder (Brown *et al.*, 2011). Mae'r ardaloedd yr effeithir arnynt fwyaf yn debygol o fod yn rhai ag AWC pridd isel a PSMD uchel. Felly, gall priddoedd sy'n cael eu hystyried yn optimaidd yn awr ar gyfer tyfu cnydau penodol droi'n rhy sych yn y dyfodol oherwydd eu capasiti storio cyfyngedig.

- Asesodd Keay *et al.* (2014) sut y gallai newidiadau yn yr hinsawdd yn y dyfodol effeithio ar raddau ALC yn y dyfodol. Modelwyd newidiadau yn y dyfodol o'i gymharu â llinell sylfaen 1961-90 gan ddefnyddio 12 senario newid hinsawdd UKCP09, ar gyfer cyfnodau amser dethol (2020au i 2080au). Roedd newidiadau mewn graddau wedi'u modelu ar gyfer hinsawdd, gwlybanaeth pridd a sychder ac yna'u cyfuno â'r saith maen prawf pridd a safle (h.y. graddiant, llifogydd, gwead, dyfnder, natur garegog, cemegol ac erydiad) a rhoddwyd gradd gyffredinol yn seiliedig ar y ffactor mwyaf cyfyngol. Roedd y meini prawf sychder yn dominyddu'r radd ALC a ddeilliodd o hynny; erbyn 2080, dosbarthwyd 42-70% o'r tir fel gradd 4 ALC, yn dibynnu ar y senario, o'i gymharu â 14% yn y llinell sylfaen (1961-1990). Yn seiliedig ar y meini prawf sychder yn unig, gostyngodd swm y tir Gradd 1 o 37% (llinell sylfaen) i 7% erbyn y 2080au (senario allyriadau uchel). I'r gwrthwyneb, amcangyfrifwyd bod swm y tir yng Ngradd 4 yn cynyddu o 2% i 66%. Fodd bynnag, sylwer bod y newid yn y radd ALC wedi'i gyfrifo ar gyfer c.5800 o safleoedd NSI yn hytrach na Chymru a Lloegr yn gyffredinol, felly mae'r newid mewn graddau dros amser yn arwydd o duedd tuag at fwy o sychder yn hytrach na gwerthoedd absoliwt.

11.1 Casgliadau

- Mae gwaith Keay *et al.* (2014) yn pwysleisio pwysigrwydd cynyddol y meini prawf sychder wrth bennu'r radd ALC derfynol yn y dyfodol (yn seiliedig ar y dosbarthiadau presennol). Mae hyn yn awgrymu y gallai fod angen diwygiadau i'r meini prawf sychder wrth symud ymlaen i sicrhau nad yw'r rhan fwyaf o dir yn cael ei israddio lle nad yw hyn yn briodol. Fel y nodwyd gan Keay *et al.* (2014) mae'n bwysig deall a yw hyn yn broblem wirioneddol neu'n ddim mwy nag arteffact o'r dosbarthiad yn unig. O ganlyniad, mae angen asesu methodolegau sychder amgen ymhellach a nodi trothwyon ffisiolegol allweddol ar gyfer casgliad o rywogaethau cnydau (neu fathau o gnydau). Gall newidiadau posibl mewn cnydio (h.y. dyddiadau plannu diwygiedig, mathau neu amrywogaethau newydd o gnydau) olygu bod angen newidiadau i'r model sychder hefyd, sy'n rhagdybio patrymau cnydio penodol, dyddiadau gorchudd cnydau llawn ac ati.

12 Cynnwys glaswelltir yn yr ALC

- Defnyddir yr ALC i raddio ansawdd tir amaethyddol (o ran y mathau o gyfyngiad a all ddigwydd) fel y gellir gwneud penderfyniadau gwybodus mewn perthynas â'i ddefnydd yn y system gynllunio yn y dyfodol. Nid yw'r defnydd tir presennol yn effeithio ar radd na photensial amaethyddol tir; mae'r radd ALC yn disgrifio'r hyn y gallai'r tir ei wneud. Mae graddau'n seiliedig ar ddifrifoldeb y cyfyngiadau ar ddefnydd amaethyddol, h.y. nid oes cyfyngiadau ar dir Gradd 1, neu mae cyfyngiadau bach iawn, ac mae cyfyngiadau difrifol ar dir Gradd 5. Mae'r tir gradd uchaf yn rhoi cynnyrch neu allbwn uchel, mae ganddo'r amrywiaeth ehangaf a'r hyblygrwydd o ran defnydd, mae'n cynhyrchu'r cnwd mwyaf cyson ac angen llai o fewnbynau. Gall tir gradd uwch dyfu amrywiaeth eang o gnydau yn ogystal â glaswellt tra gall tir Gradd 5 fod wedi'i gyfyngu i bori parhaol neu bori garw. Ffactorau economaidd sy'n debygol o fod yn brif reswm pam nad yw glaswellt yn cael ei dyfu ar y graddau uwch o dir fel arfer.

- Mae glaswellt yn wahanol i lawer o gnydau eraill gan ei fod yn lluosflwydd; mae'n ymateb yn gyflym i wrtaith nitrogen a dŵr ac mewn amodau delfrydol mae'n tyfu'n gyflym a gellir ei defnyddio mewn cyn lleied â thair wythnos. Yn dibynnu ar hyd y tymor, gall fod un, dau neu hyd yn oed dri neu bedwar toriad. At hynny, mae gallu tir yn gysylltiedig nid yn unig â gallu tir i dyfu glaswellt ond i gludo anifeiliaid a cherbydau'n gorfforol hefyd. Hinsawdd sy'n rheoleiddio'r cyfnod y gellir defnyddio cerbydau a phori stoc ar briddoedd. Ystyrir hyn yn yr asesiad gwlypter pridd.
- Mae gwneud argymhellion am y pwyntiau terfyn y dylid eu defnyddio i ddiffinio cyfyngiadau safle ar gyfer glaswelltir y tu hwnt i gwmpas yr adroddiad hwn. Fodd bynnag, o ystyried nodweddion lluosflwydd, aml-gynhaef y cnwd, mae'n annhebygol bod y terfynau sydd ar waith ar gyfer cnydau cynaeafu sengl blynyddol yn briodol ar gyfer glaswellt mewn llawer o achosion. Diffiniodd Harrod (1979) ddosbarthiadau addasrwydd glaswelltir yn seiliedig ar ffactorau a oedd yn dangos addasrwydd cymharol ar gyfer cynhyrchu glaswellt (yn hytrach na lefelau awgrymedig o gynnyrch deunydd sych). Disgrifiodd Harrod bedwar dosbarth addasrwydd glaswellt, A) addas iawn, B) cymedrol addas, C) ymylol addas (gydag is-gategoriâu i) risg traffig/sathru, ii) cyfyngiadau cynnyrch a iii) risg traffig/sathru a chyfyngiadau cynnyrch) a D) anaddas ar gyfer glaswelltir (Tabl 29). Y dylanwad sy'n rheoli addasrwydd glaswelltir yw lleithder pridd a allai fod mewn diffyg (potensial cynnyrch) neu ormodedd (risg sathru/traffig).

Tabl 29. Dosbarthiadau a diffiniadau addasrwydd glaswelltir (Ffynhonnell: Harrod, 1979).

Dosbarth	Disgrifiad	Diffiniad
Dosbarth A	Addas iawn (glaswelltir dwys)	Cynnyrch uchel posibl, twf da drwy gydol y tymor Mae'n hawdd defnyddio traffig ar y tir Mae'r risg sathru'n isel hyd yn oed gyda dwyseddau stoc uchel Mae'r pridd yn ddwfn, lomog neu siltiog wedi'i ddraenio'n dda. Mae'r pridd yn gallu amsugno glawiad gormodol yn gyflym Llethr <11° Glawiad cymedrol i uchel Llifogydd achlysurol yn yr haf
Dosbarth B	Cymedrol addas (glaswelltir dwys)	Anghydbwysedd bach o ran cynnyrch a thraffig Draeniad wedi'i rwystro Priddoedd bas, caregog neu dywodlyd – ychydig yn sych Llifogydd a allai gyfyngu ar dwf o bryd i'w gilydd Tymor tyfu byr (llai na 240 diwrnod) Llethr <11° Ychydig o sychder yn yr haf mewn ardaloedd sych Cyfleoedd cyfyngedig ar gyfer pori yn y gaeaf mewn ardaloedd gwlyb
Dosbarth C	Ymylol (tir pori tymhorol) i. traffig/sathru	Cyfyngiadau o ran cynnyrch ac o ran traffig Mae'r pridd yn wlyb – perygl aml o lifogydd Mae'r pridd yn sych Llethrau 11-25°

	ii. cyfyngiadau o ran cynnyrch iii. cyfyngiadau o ran traffig/sathru a chynnyrch	Clogfeini neu frigiad craig Tymor tyfu byr (<240 days) Gall fod yn dir pori haf cynhyrchiol iawn
Dosbarth D	Anaddas (ucheldir a phori garw)	Potensial cynnyrch isel a gwael o ran traffig Gwlyb iawn, aneconomaidd i'w ddraenio Caregog neu greigiog iawn Llethrau serth >25° Llifogydd mynych

12.1 Sychder a glaswelltir

- Mae perthynas gydnabyddedig rhwng diffyg lleithder pridd a thwf glaswellt. Pan fydd y diffyg lleithder pridd yn mynd y tu hwnt i 25-30 mm, bydd cyfraddau twf glaswellt yn lleihau. Ar ddiffyg lleithder pridd o 50 mm, mae twf glaswellt yn cael ei beryglu'n ddifrifol (Teagasc, 2020).
- Addasodd Rounsevell *et al.* (1996) y model cynnyrch glaswellt a gynigiwyd gan Harrod (1979) a diffiniodd bedwar categori cynnyrch, yn seiliedig ar gyfuniad o ddosbarthiadau sychder (AP-MD) a hyd y tymor tyfu, gyda diffiniad ychwanegol yn seiliedig ar bwynt terfyn o PSMD > neu ≤115 mm (Tabl 30). Roedd risg o ran traffig/sathru wedi'i gategoreiddio o 1-5 yn seiliedig ar gyfuniad o ddosbarthiadau gwlybanaeth pridd I-VI, dyfnder i haen anhydraidd (>80, 80-40 a <40 cm) a chapasiti cadw dŵr (isel, canolig neu uchel) ar gyfer hinsoddau sych (PSMD ≥115 mm) a gwlyb (PSMD <115 mm). Mae Tabl 31 yn rhoi manylion y meini prawf ar gyfer amcangyfrif dosbarthiadau addasrwydd glaswelltir fel y'u diffinnir gan Rounsevell *et al* (1996).

Tabl 30. Potensial cynnyrch (wedi'i addasu o Harrod, 1979). Ffynhonnell: Rounsevell *et al.*, 1996.

	Is-ddosbarth sychder	Categoriâu cynnyrch				
		Hinsawdd sych (PSMD ≥115 mm)		Hinsawdd llaith (PSMD <115 mm)		
		Tymor tyfu (dyddiau)				
		Byr (≤225 diwrnod)	Hir (>225 diwrnod)	Byr (≤225 diwrnod)	Hir (>225 diwrnod)	
↓ Sychder cynyddol	a (>50)	b	a	b	a	↑ Cynnyrch cynyddol
	b (1-50)	c	b	c	a	
	c (-49-0)	d	c	d	b	
	d (≤-50)	d	d	d	c	

Dosbarth sychder = Capasiti dŵr sydd ar gael yn y pridd (AP) – diffyg lleithder pridd posibl (PSMD)

Tabl 31. Amcangyfrif o ddosbarthiadau addasrwydd glaswelltir (wedi'u haddasu o Harrod, 1979). Ffynhonnell: Rounsevell *et al.*, 1996.

		Risg o ran traffig/sathru
--	--	---------------------------

Categori cynnyrch		Isel					Uchel
		1	2	3	4	5	
d	Isel	C (ii)	C (ii)	C (iii)	C (iii)		D
c		B	B	C (iii)	C (iii)		D
b		A	B	B	C (i)		C (i)
a	Uchel	A	A	B	C (i)		C (i)

12.2 ALC, sychder a glaswelltir

- Mae dull meini prawf sychder yr ALC yn seiliedig ar amcangyfrif o'r cydbwysedd lleithder pridd cyfartalog ar gyfer dau gnwd cyfeirio (tatws a gwenith) mewn lleoliad penodol. Cyfrifir cydbwysedd lleithder o ddau baramedr: 1, capasiti dŵr sydd ar gael i'r proffil pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP) a 2, diffyg lleithder (MD). Wrth i'r hinsawdd gynhesu a sychu yn yr haf mae'r ffactor sychder yn cyfyngu mwy ar gynhyrchiant cnydau.
- Mae diffygion posibl o dan laswellt yn fwy nag ar gyfer cnydau â'r nad ydynt yn gorchuddio tir yn llawn yn gynnar yn y tymor tyfu. Felly, ar gyfer cyfrifo gradd ALC, mae'r PSMD yn cael ei addasu ar gyfer dau gnwd cyfeirio, sef gwenith gaeaf a thatws prif gnwd, sy'n cael eu hystyried yn gynrychioliadol o amrywiaeth eang o gnydau o ran eu tuedd i ddioddef o sychder. Mae MDs wedi'u haddasu ar gyfer cnydau'n llai na PSMD felly yn ystod mis Mehefin neu fis Gorffennaf sych lle mae nifer o gnydau'n tyfu yn yr un math o bridd mae diffygion lleithder pridd yn dilyn y dilyniant cnydau gwraidd < grawnfwydydd < glaswellt.
- Ar hyn o bryd nid yw canllawiau'r ALC yn rhoi unrhyw ganllawiau penodol ar gyfer cyfrifo'r diffyg lleithder o dan laswellt, sy'n canolbwyntio ar ddiffygion lleithder wedi'u haddasu ar gyfer cnydau. I bob pwrpas, y PSMD, yw'r gwerth y dylid ei ddefnyddio ar gyfer glaswellt er nad yw hyn yn glir yng nghanllawiau'r ALC.
- Awgryma Thomasson (1979) y dylid cyfrifo'r dŵr pridd sydd ar gael i laswellt parhaol i 100 cm gan ystyried cyfanswm y dŵr sydd ar gael (0.05-15 bar) i 70 cm a'r dŵr sydd ar gael yn hawdd (0.05-2.0 bar) o 70-100 cm. Fodd bynnag, cynlluniwyd model Thomasson (1979) ar gyfer tir pori parhaol a'i seilio ar ddata a oedd yn gyfredol ym 1979 felly mae'n amheus pa mor briodol ydyw i'w ddefnyddio gyda mathau modern neu laswellt gwndwn. Yn seiliedig ar ddata dyfnder gwreiddio mwy diweddar, mae'r rhan fwyaf o wreiddiau glaswellt yn fas yn bennaf, gan ymestyn i ≤ 30 cm (e.e. mae 40% yn y 10 cm uchaf a >80% yn y 30 cm uchaf), er bod rhywfaint o amrywiad rhwng rhywogaethau. Fodd bynnag, bydd cyfran fach o wreiddiau llawer o rywogaethau yn ymestyn i ddyfnder sy'n fwy na 30 cm. Mae hyn yn awgrymu nad yw dyfnderoedd model Thomasson (1979) yn cynrychioli llawer o fathau glaswellt heddiw'n ddigonol. Er enghraifft, ar gyfer y rhywogaethau rhygwellt, sy'n fwy cyffredin na dim arall mewn llawer o dir pori wedi'i wella, gellid cyfrifo glaswellt AP (mm) yn seiliedig ar TAv i ddyfnder o 15 cm ac yn seiliedig ar EA i ddyfnder o 1 m, i gyfrif am y system wreiddiau denau islaw 15 cm.

12.3 Casgliadau ar gyfer glaswelltir a'r ALC

- Datblygwyd yr ALC i lywio penderfyniadau cynllunio defnydd tir. Nid yw'r Radd ALC yn pennu pa gnydau y gellir eu tyfu ond mae'n dangos y math o gnydau sy'n addas ar y cyfan i dir o'r ansawdd a'r hyblygrwydd hwnnw. Felly, ni fwriedir i'r canllawiau ar gyfer dyrannu tir fod yn benodol i gnydau. Fodd bynnag, gellid dadlau bod cynnwys glaswellt yn oblygedig yn hytrach nag yn benodol pan gaiff rhai o'r ffactorau cyfyngol eu graddio.

13 Crynodeb

13.1 Addasrwydd data hinsawdd ALC

- Mae set ddata hinsoddol bresennol yr ALC (er ei bod yn hen) yn darparu ffynhonnell ddata unigol, sy'n hwyluso cymhariaeth rhwng safleoedd (h.y. mae gan bob safle sy'n ALC Gradd 1 yr un graddau o gyfyngiad, e.e. ar gyfer Gradd 1, dim cyfyngiadau neu gyfyngiadau bach iawn oherwydd yr hinsawdd). Cyn cyhoeddi canllawiau ALC 1988, byddai mapiau neu ddata gorsafoedd meteorolegol wedi'u defnyddio i amcangyfrif paramedrau hinsoddol ar safle. Fodd bynnag, roedd y dehongliad â llaw o fapiau ac allosod data (heb ganllawiau penodol) yn dibynnu ar benderfyniadau goddrychol ac felly roeddent yn llai cywir na'r defnydd presennol o'r set ddata gyfeirio unigol.
- Mae graddio ALC yn ôl ffactorau hinsoddol yn unig yn seiliedig ar y rhagdybiaeth mai po gynhesaf a sychaf yw'r hinsawdd y gorau yw'r Radd. Fodd bynnag, wrth i'r hinsawdd newid mae rhagfynegiadau UKCP yn awgrymu y gallai rhannau o Gymru a Lloegr droi'n rhy gynnes a/neu'n rhy sych. Gall ffactorau straen fel sychder a gwres gormodol achosi colled sylweddol o ran cynnyrch, er enghraifft amcangyfrifodd Zhao *et al.* (2017) y bydd cynhyrchu gwenith yn gostwng 6% ar gyfer pob gradd C o gynnydd mewn tymheredd. Mae hyn yn awgrymu y byddai newidiadau i raddau'r ALC yn ôl hinsawdd yn briodol gan nad oes elfen isafswm glawiad na thymheredd uchaf ar hyn o bryd, gan adlewyrchu'r ffaith bod gwlybanaeth yn cael ei ystyried yn benderfynydd pwysicach o ran cynnyrch na sychder pan luniwyd yr ALC (h. y. roedd sychder yn llai cyffredin).
- Mae set ddata hinsawdd bresennol yr ALC yn seiliedig ar ddata o 1941-1970 (glawiad) neu 1961-1980 (tymheredd); o ystyried ei bod yn fwy na 40-50 oed, mae'n bosibl nad yw'n gynrychioliadol o'r amodau hinsoddol presennol. Mae data'n awgrymu bod y rhan fwyaf o'r blynyddoedd cynhesaf yng Nghymru wedi digwydd ar ôl 1990 (h.y. y tu allan i'r cyfnod amser a gwmpesir gan ddata hinsawdd yr ALC). Tymheredd cymedrig blynyddol cyfartalog 1961-1990 ar gyfer Cymru oedd 8.6°C, o'i gymharu â 9.4°C dros y cyfnod 2008-2017 (+9%); dros yr un cyfnod mae glawiad wedi cynyddu o 1400 mm i 1453 mm (+4%) (Lowe *et al.*, 2018).
- Defnyddir tymheredd cronedig (Ionawr i Fehefin, AT0) a glawiad blynyddol cyfartalog (AAR) i ddyrannu'r Radd ALC yn ôl hinsawdd. Nododd Keay *et al.* (2014) bod AT0 ar ei isaf rhwng 1951 a 1980 (1314 dydd °C) ac ar ei uchaf rhwng 1971 a 2000 (1381 dydd °C). Cyrhaeddodd yr AAR 30 mlynedd ei bwynt isaf yn y cyfnod 1961-90 (879 mm) ond cynyddodd i 893 mm ym 1971-2000. Cyfartaleddau yw'r rhain ar gyfer c.5,800 o safleoedd yng Nghymru a Lloegr ond maent yn awgrymu y gallai defnyddio set ddata hinsawdd wedi'i diweddaru arwain at newid yn y radd ALC mewn rhai safleoedd. O ystyried y bandiau AT0 cul ar gyfer Graddau ALC 3a (1100-1150 dydd °C) a 3b (1000-1100 dydd °C) mae'n debygol mai'r graddau hyn fyddai'r rhai mwyaf tebygol o newid pe bai'r set ddata hinsawdd yn cael ei diweddaru. Mae'r gwahaniaeth rhwng Gradd 3a a 3b yn allweddol at ddibenion cynllunio; mae Gradd 3a wedi'i diogelu fel rhan o'r tir gorau a mwyaf amlbwrrpas tra nad yw Gradd 3b.
- Sylwer mai dim ond i nodi tueddiadau y gellir defnyddio gwaith Keay *et al.* (2014) ac nid meintiau absoliwt neu union leoliadau unrhyw newid ac ni ddylid dehongli'r canlyniadau ar raddfa leol. Cynhaliwyd y gwaith o fodelu effaith y newid yn yr hinsawdd ar gyfer c.5800 o bwyntiau ar groestoriadau grid 5 km lle casglwyd data safle penodol o ansawdd da ar gyfer y Rhestr Bridd Genedlaethol rhwng 1978 a 1983. Nid yw'r graddau ar gyfer Cymru a Lloegr i gyd wedi'u pennu. Mae'r data'n awgrymu y bydd y prif newidiadau mewn gradd yn digwydd ar ôl 2030 felly ystyrir bod yr ALC yn addas i'r diben ar hyn o bryd.

- Datblygwyd y set ddata hinsoddol bresennol ar grid 5 km a dyfeisiwyd dulliau safonol ar gyfer amcangyfrif neu ryngosod y gwerth mewn unrhyw leoliad. Gallai fod diffyg cyfatebiaeth o bosibl rhwng datrysiad gofodol setiau data cyfredol a setiau data yn y dyfodol. Fodd bynnag, mae hyn yn annhebygol o achosi unrhyw broblemau sylweddol gan y gellir defnyddio rhyngosod gan ddefnyddio methodoleg briodol i gyfateb i raddfeydd gofodol.

13.2 Digwyddiadau episodig ac eithafol

- Mae gwaith Hudson a Birnie (2000) a Brown a Castellazzi (2014) yn tynnu sylw at ddylanwad newidiadau blynyddol yn y tywydd ar ddosbarthiadau LCA ar gyfer yr Alban. Mae'n anochel na fydd unrhyw systemau dosbarthu sy'n seiliedig ar ddata hinsawdd cyfartalog yn adlewyrchu eithafion yr hinsawdd a welwyd mewn rhai blynyddoedd (h.y. blynyddoedd sych iawn neu wlyb iawn). Fel y nodwyd gan Brown a Castellazzi (2014), yn ystod blynyddoedd o dywydd gwael, bydd cyfyngiadau hinsoddol yn ffactorau pwysicach na phan fo'r tywydd yn dda. Pan fydd y tywydd yn wael (e.e. yn rhy sych neu'n rhy wlyb) gall tir yng Ngraddau 1 neu 2 ALC brofi anawsterau rheoli hyd yn oed sy'n gysylltiedig yn amlach â thir mewn Graddau is. I'r gwrthwyneb, yn ystod blynyddoedd o dywydd cymharol dda, mae'r cyfyngiadau ar allu tir yn debygol o gael ei ddominyddu gan briodweddau pridd cynhenid a fydd yn gosod y terfynau mwyaf posibl ar gyfer tir BMV er gwaethaf y tywydd ffafriol.
- Mae rhagfynegiadau newid hinsawdd yn awgrymu bod y tywydd yn debygol o droi'n fwy eithafol yn y dyfodol. Mae hyn yn awgrymu y bydd yn bwysicach ystyried nid yn unig yr amodau hinsoddol cyfartalog wrth ddyrannu gradd ALC ar gyfer hinsawdd ond hefyd yr amrywiad o amgylch y cyfartaledd hwnnw.

13.3 Asesiad sychder ALC

- Yn y system ALC, mae'r dull a ddefnyddir i asesu sychder yn seiliedig ar waith gan Thomasson (1979). Mae'n rhoi syniad o'r risg sychder cyfartalog yn seiliedig ar ddau gnwd cyfeirio, gwenith gaeaf a thatws prif gnwd. Mae'r cnydau hyn wedi'u dewis oherwydd eu bod yn cael eu tyfu'n eang, mae ganddynt ddyfnder gwreiddio cyferbyniol ac, o ran eu gallu i ymdopi â sychder, maent yn cynrychioli casgliad eang o gnydau. Mae'r dull a ddefnyddir i asesu sychder yn ystyried nodweddion gwreiddio a deiliol cnydau i gael amcangyfrif o'r cydbwysedd lleithder pridd cyfartalog (MB) ar gyfer y cnydau cyfeirio mewn lleoliad penodol.

13.3.1 Capasiti dŵr sydd ar gael yn y pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP)

- Cyfrifir asesiadau cydbwysedd lleithder drwy dynnu'r diffyg lleithder pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (MD) o'r capasiti dŵr sydd ar gael yn y pridd wedi'i addasu ar gyfer cnwd (AP). Cyfrifir yr AP i 120 cm ar gyfer gwreiddiau grawnfwyd ac i 70 cm ar gyfer tatws. Fodd bynnag, mae systemau gwreiddiau grawnfwydydd yn llai datblygedig islaw 50 cm ac felly maent yn llai abl i echdynnu dŵr y tu hwnt i'r dyfnder hwnnw. O ganlyniad, mae canllawiau'r ALC yn awgrymu y dylid cyfrifo'r dŵr pridd sydd ar gael i rawnfwydydd i 120 cm gan ystyried cyfanswm y dŵr sydd ar gael (0.05-15 bar) i 50 cm a'r dŵr sydd ar gael yn hawdd (0.05-2.0 bar) o 50-120 cm.
- Dim ond canllawiau ar gyfrifo'r AP wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith a thatws mae'r ALC yn ei gynnwys ar hyn o bryd. Fodd bynnag, gallai fod gwerth mewn ehangu'r canllawiau i gynnwys casgliad ehangach o gnydau. Gall hyn fod o fwy o werth at ddibenion modelu nag asesiadau maes ALC. Er enghraifft, roedd Thomasson (1979), yr oedd ei fodelau gwreiddio'n sail i ganllawiau AP ALC, yn cynnwys canllawiau ar gyfer cnydau gwreiddio dwfn fel betys siwgr neu

India corn hefyd. Byddai angen ymchwil bellach i ganfod a yw'r gwerthoedd a awgrymwyd gan Thomasson (1979) (tudalen 47) yn briodol ar gyfer y cynydau hyn.

13.3.2 Diffyg lleithder ALC (MD)

- Mae lleithder pridd yn sbardun allweddol ar gyfer y rhan fwyaf o brosesau pridd ac mae'n allweddol yn y defnydd y gellir ei wneud o briddoedd. Mae'r term diffyg lleithder a ddefnyddir yn asesiad sychder ALC yn newidyn meteorolegol sy'n gysylltiedig â chnydau sy'n cynrychioli'r cydbwysedd rhwng glawiad ac anwedd-drydarthiad posibl, h.y. diffyg lleithder pridd posibl (PSMD). Mae diffygion posibl o dan laswellt yn fwy nag ar gyfer cynydau â'r nad ydynt yn gorchuddio tir yn llawn yn gynnar yn y tymor tyfu. Mae MDs wedi'u haddasu ar gyfer cynydau'n llai na PSMD felly yn ystod mis Mehefin neu fis Gorffennaf sych lle mae nifer o gnydau'n tyfu yn yr un math o bridd mae diffygion lleithder pridd yn dilyn y dilyniant cynydau gwraidd < grawnfwydydd < glaswellt.
- Bydd newidiadau i lawiad ac effeithiau tymheredd ar anweddiad yn dylanwadu ar lefelau lleithder pridd fel y bydd gwerthoedd diffyg lleithder yn cael eu newid gan ASR is ac ATS uwch. Mae hyn yn awgrymu bod cyfrifiadau diffyg lleithder yn seiliedig ar set ddata hinsoddol wedi'u diweddaru yn fwy tebygol o gynrychioli'r cyfyngiadau presennol yn gywir. Byddai hyn yn gofyn am ddiweddaru'r hafaliad a ddefnyddir ar hyn o bryd i gyfrifo diffyg lleithder. Fodd bynnag, nid yw'n glir a yw unrhyw ddiweddariadau i'r setiau data ASR/ATS (a diweddariadau dilynol i fethodoleg cyfrifo'r MD) yn debygol o arwain at unrhyw newidiadau i'r radd ALC gyffredinol ar gyfer sychder; Dim ond un rhan o'r asesiad sychder yw MD. Yr ardaloedd a allai weld newid mewn Gradd yw'r rhai sydd ag AWC pridd isel lle mae MD yn cynyddu'n sylweddol.

13.3.3 Cydbwysedd lleithder ALC (MB)

- Pan gyfunir y ddau werth (h.y. AP – MD) mae gwerthoedd positif yn dangos diffyg straen lleithder ac mae gwerthoedd negatif yn awgrymu nad yw argaeledd dŵr yn ddigonol i gynnal anwedd-drydarthiad ac felly cyfyngir ar dwf planhigion. Mae gwerth +30 mm (Gradd 1 ar gyfer gwenith) yn dangos bod gan y pridd gronfeydd dŵr dros ben mewn tymor nodweddiadol ac mae'n debygol o allu gwrthsefyll straen sychder hyd yn oed mewn blynyddoedd sych. Mae gwerth islaw -50 mm yn awgrymu prinder dŵr ym mhob haf heblaw'r gwlypaf. I fod yn gymwys i fod yn dir Graddau 1 i 3b, mae'n rhaid i'r MB gyfateb i, neu fod yn fwy na'r gwerthoedd lleiaf ar gyfer gwenith a thatws.
- Yn yr asesiad gwreiddiol o sychder a pherfformiad cynydau, nododd Jones (1987) nad oedd AP yn unig yn esbonio fawr ddim o'r amrywiad mewn cynnyrch, roedd MD yn esbonio 23% a chydbwysedd lleithder (AP-MD) yn esbonio 33% o'r amrywiad (arwyddocaol ar lefel 0.1). Roedd y set ddata'n cynnwys cynnyrch o 1973-1981 ond roedd y gydberthynas yn deillio'n bennaf o ddylanwad sychder ym 1975 a 1976 pan oedd swm yr AP-MD yn <-40 mm. Mewn blynyddoedd nad ydynt yn sych, achosodd ffactorau eraill fel gwahaniaethau mewn rheoli neu glefydau wahaniaethau eang mewn cynnyrch ar lefelau tebyg o MB.
- Byddai o werth archwilio'r berthynas rhwng MB a chynnyrch cynydau ar gyfer set ddata fwy diweddar i benderfynu a yw'r pwyntiau terfyn ar gyfer y Graddau ALC sy'n cael eu defnyddio ar hyn o bryd yn dal i fod yn ddilys.
- Mae ADAS (2004) a Keay *et al.* (2014) wedi nodi gwahaniaethau mewn tymheredd a glawiad yr haf, o'i gymharu â'r set ddata ALC bresennol. Bydd gwerthoedd diffyg lleithder yn cael eu newid gan ASR is ac ATS uwch, sy'n dangos nad yw cyfrifiadau sy'n seiliedig ar y set ddata wreiddiol yn debygol o gynrychioli'r cyfyngiadau presennol yn gywir. Amlygwyd pwysigrwydd sychder wrth

ddosbarthu tir yn y dyfodol gan Keay *et al.* (2014). Arweiniodd y dull presennol o fesur a dosbarthu sychder at leihau'r tir Gradd 1 (yn seiliedig ar y maen prawf hwnnw yn unig) o 37% yn 1961-90 i ddim ond 7% erbyn 2080 (senario allyriadau uchel) tra cynyddodd swm y tir yng Ngradd 4 o 2% i 66% o Gymru a Lloegr. Gan fod y Radd ALC gyffredinol yn cael ei diffinio gan y ffactor mwyaf cyfyngol, byddai asesu gan ddefnyddio'r dull presennol ar gyfer ALC yn golygu bod ardal fawr iawn o Gymru a Lloegr yn cael ei hisraddio i Radd 4.

- Dylid adolygu'r system ALC gan ddefnyddio ystadegau tywydd a chynnyrch cynydau cyfoes i bennu arwyddocâd y ffactor sychder wrth raddio tir amaethyddol yng Nghymru a Lloegr.

13.4 Dilysrwydd data sy'n sail i asesiadau sychder

13.4.1 Capasiti dŵr sydd ar gael

- Cydnabyddir yn gyffredinol y berthynas rhwng gwead pridd a dŵr planhigion sydd ar gael. Fodd bynnag, nid yw'n syml cymharu gwerthoedd AWC â setiau data tabledig eraill o werthoedd AWC bob amser oherwydd gwahaniaethau yn y categorïddio a ddefnyddir mewn systemau eraill. Lle bo cymariaethau'n bosibl, mae'n awgrymu bod gwerthoedd AWC yn yr ALC yn cyd-fynd ar y cyfan â setiau data cyhoeddedig eraill.
- Defnyddiwyd ffwythiannau pedo-drosglwyddo i ragweld AWC pridd yn seiliedig ar newidynnau rhagfynegol fel gwead pridd, bylchau cynnwys deunydd organig neu ddwysedd swmp ac ati. Mae'r rhan fwyaf yn defnyddio dadansoddiad atchweliad i gael hafaliadau ar gyfer rhagweld cynnwys dŵr yn ôl, er enghraifft, capasiti'r cae a'r pwynt gwywo parhaol yn seiliedig ar set ddethol o ragfynegion. Yn yr un modd, i'r setiau data tabledig syml sy'n ymwneud â gwead pridd i AWC, mae'r ffwythiannau pedo-drosglwyddo'n rhagweld gwerthoedd AWC yn unol â'r rhai yn yr ALC. Er enghraifft, mae ffwythiant pedo-drosglwyddo Hollis *et al* (2014) ar gyfer priddoedd tywod lomog neu dywod yn y DU yn rhagweld AWC o 13-16%, sy'n debyg i werth yr ALC ar gyfer uwchbridd tywod lomog sy'n amrywio o 11-18%. Hefyd, cyfrifodd Román Dobarco *et al.*, 2019 werth o 12-14% ar gyfer priddoedd clai, nad yw'n annhebyg i werth yr ALC o 17% ar gyfer uwchbriddoedd clai.
- Yn gyffredinol, mae gwerthoedd tabledig presennol yr ALC ar gyfer capasiti dŵr sydd ar gael mewn priddoedd yn cyfateb bron iawn i werthoedd a gyhoeddwyd mewn mannau eraill ac a gyfrifir mewn papurau a adolygwyd gan gymheiriaid gan ddefnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo, sy'n awgrymu nad oes angen diweddarau'r fethodoleg ar gyfer asesu AWC.

13.4.2 Capasiti dŵr sydd ar gael mewn cerrig

- Er y gall AWC rhai cerrig fod yn >10% (e.e. calch), mae llawer o gerrig caled yn annhebygol o gyfrannu'n sylweddol at y dŵr sydd ar gael mewn pridd gan nad ydynt yn cynnwys mandyllau sy'n gallu dal dŵr. Er hynny, mae rhywfaint o ymchwil mewn gwledydd eraill (e.e. Tetegan *et al.*, 2011; Rempe a Dietrich, 2018 a adroddwyd uchod) wedi awgrymu y gallai AWC rhai mathau o greigiau fod yn uwch na'r hyn a adroddwyd gan MAFF (1988), ond nid yw hyn wedi'i fesur ar gyfer creigiau yng Nghymru. Ar hyn o bryd, nid oes digon o dystiolaeth i ddiweddarau'r gwerthoedd AWC ar gyfer creigiau a restrir yn y canllawiau ALC.

13.4.3 Dyfnder gwreiddio

- Yn y DU, adroddir yn aml mai tua 2m yw dyfnder gwreiddio mwyaf grawnfwydydd gaeaf er bod y parth gwreiddiau effeithiol (y dyfnder lle mae'r rhan fwyaf o wreiddiau wedi'u crynhoi) yn fwy bas ar 0.50-1 m. Adroddodd Barraclough (1984) ar gyfer system gwreiddiau gwenith aeddfed: roedd 60-70% o hyd y gwraidd i'w weld yn y 0.3 m uchaf, 20-25% arall o fewn y 0.3 m nesaf a llai

nag 1-2% islaw 1 m. Yn gyffredinol, po hiraf y mae cnwd yn tyfu po hiraf yw'r system wreiddiau. Felly, mae'n debygol y bydd gan gnydau dyrnwr medi a heuir yn y gwanwyn lawer llai o hyd gwraidd ac na fyddant yn archwilio'r un dyfnder pridd â chnydau a dyfir yn yr hydref (e.e. Thorup-Kristensen *et al.*, 2009).

- Mae rhywfaint o dystiolaeth bod rhai mathau modern o wenith gaeaf yn fwy effeithiol o ran cael gafael ar ddŵr dwfn nag eraill a allai fod yn gysylltiedig â dwysedd hyd gwreiddiau (hyd gwraidd fesul uned cyfaint pridd). Fodd bynnag, adroddwyd bod dwysedd hyd gwraidd yn fwy bas mewn cyltifarau gwenith gaeaf modern yn y DU ar 0.36 m nag mewn cyltifarau hŷn a ryddhawyd yn y 1970au a'r 1980au ar 0.86 m (White *et al.*, 2015). Mae hyn yn awgrymu y gallai mathau modern fod yn llai effeithlon o bosibl o ran cael gafael ar ddŵr ar ddyfnderoedd is. Fodd bynnag, mae'n debygol y bydd effeithiau amgylchedd y pridd (e.e. cynnwys dŵr y pridd) ar hyd y gwraidd yn fwy nag unrhyw effaith sydd gan wahanol fathau (Hodgkinson *et al.*, 2017).
- Mae'r canllawiau ALC presennol ar gyfer cyfrifo'r dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd ar gyfer gwenith yn seiliedig ar ddyfnder gwreiddiau mwyaf o 120 cm (yn seiliedig ar TA_v i 50 cm ac EA_v o 50-120 cm). Yn seiliedig ar y data sydd wedi'i adolygu, mae'r dyfnderoedd hyn yn parhau i gynrychioli gwerthoedd priodol ar gyfer gwenith gaeaf.
- Ar gyfer tatws, nododd yr adolygiad hwn y dyfnder gwreiddio mwyaf yn amrywio o 0.59 i 1.4 m, gan nodi y gall tatws wreiddio i ddyfnderoedd sylweddol a chael mynediad at lawer iawn o ddŵr. Cafodd y math ddylanwad mawr ar ddyfnder y gwreiddiau yn y pen draw. Roedd gan Cara systemau gwreiddio dyfnach yn gyson na mathau eraill (>1m) tra bod gan Estima y gwreiddiau mwyaf bas yn gyson (<0.9 m). Fodd bynnag, er bod hyd gwreiddiau mwyaf yn ymestyn y tu hwnt i'r dyfnder o 70 cm a ddefnyddiwyd yn yr ALC i gyfrifo tatws dŵr sydd ar gael wedi'i addasu ar gyfer cnwd, roedd y rhan fwyaf o'r gwreiddiau o fewn yr amrediad dyfnder hwn. Mae hyn yn awgrymu bod y canllawiau presennol i gyfrifo dŵr wedi'i addasu ar gyfer tatws i 70 cm yn ddilys.

13.5 Anwedd-drydarthiad

- Mae anwedd-drydarthiad yn chwarae rhan allweddol yn y broses o ddatblygu a diffinio sychder amaethyddol. Cydnabyddir hyn yn yr ALC, lle mae'r cyfrifiad o ddiffyg lleithder yn seiliedig ar y cydbwysedd rhwng glawiad ac anwedd-drydarthiad posibl.
- Mae llu o ddulliau y gellir eu defnyddio i gyfrifo anwedd-drydarthiad posibl gan ddefnyddio gwahanol newidynnau hinsoddol. Gall y dull a ddewisir gael effaith sylweddol ar y gwerth PE sy'n deillio o hynny.
- Ym 1948, disgrifiodd Penman ei hafaliad i bennu 'anweddiad ar gyfer dŵr agored, pridd moel a glaswellt' yn seiliedig ar gyfuniad o gydbwysedd ynni a fformiwla aerodynamig. Addaswyd hyn wedyn gan Monteith (1965) drwy gynnwys term ymwrthedd arwyneb a ddaeth i gael ei adnabod fel hafaliad Penman-Monteith. Yn dilyn hynny, argymhellwyd hafaliad wedi'i ddiweddarau (yn seiliedig ar hafaliad Penman-Monteith) gan yr FAO, h.y. hafaliad FAO-56 Penman-Monteith. Mae hyn yn symleiddio hafaliad Penman-Monteith drwy gymryd rhai paramedrau cyson ar gyfer cnwd cyfeirio glaswellt byr yn ganiataol. Yn ôl Jones (1987) mae'r ALC yn defnyddio dull wedi'i addasu o ddull Penman, er nad yw hyn wedi'i gadarnhau yng nghanllawiau'r ALC. Yn gyffredinol, argymhellir, lle mae angen cyfrifiadau PE ar gyfer ALC, y dylid defnyddio'r Dull FAO-56 Penman-Monteith.

13.6 Sychder

- Mae sychder yn nodwedd arferol, gyson o'r hinsawdd sy'n digwydd ym mron pob patrwm hinsoddol. Mae'n un dros dro, yn wahanol i ddiffeithder, sy'n nodwedd barhaol o hinsawdd sydd wedi'i chyfyngu i ardaloedd glawiad isel. Gellir nodweddu sychderau o ran eu difrifoldeb, eu lleoliad, eu hyd a'u hamseriad ac yn aml eu dosbarthu fel meteorolegol, hydrolegol neu amaethyddol. Mae sychder amaethyddol yn cysylltu agweddau amrywiol ar sychder meteorolegol a hydrolegol sy'n canolbwyntio ar brinder dyodiad, gwahaniaethau rhwng anwedd-drydarthiad gwirioneddol a phosibl, diffyg dŵr pridd, llai o ddŵr daear neu lefelau is mewn cronfeydd dŵr (Hendriks *et al.*, 2017). Felly, dylai mynegai sychder amaethyddol integreiddio paramedrau sy'n cynnwys glawiad, tymheredd, anwedd-drydarthiad a dŵr ffo, i un rhif a rhoi darlun cynhwysfawr ar gyfer gwneud penderfyniadau. Dylai mynegeion sychder amaethyddol fod yn seiliedig ar ddiffyg lleithder pridd ac anwedd-drydarthiad er mwyn monitro sychder amaethyddol yn effeithiol.
- Mae Sefydliad Meteorolegol y Byd a'r Global Water Partnership yn cynnwys cronfa ddata ar-lein o ddangosyddion a mynegeion sychder¹⁰, sy'n cael eu categorio yn ôl math (a) meteoroleg, (b) lleithder pridd, (c) hydroleg, (d) synhwyro o bell ac (e) cyfansawdd neu wedi'u modelu. Defnyddiwyd y gronfa ddata hon, ynghyd ag adolygiad mwy cyffredinol o lenyddiaeth i lunio'r daenlen excel sy'n cyd-fynd â'r adroddiad hwn sy'n rhestru mwy na 50 o fodelau/mynegeion sychder a ddatblygwyd ar ôl 1988. Ni fwriedir i'r rhestr fod yn gynhwysfawr ond mae'n rhoi trosolwg da o'r amrywiaeth a'r math o fynegeion/modelau sychder sydd wedi'u cynhyrchu yn ystod y 30 mlynedd diwethaf. O'r 50 model a adolygwyd, ni fyddai'r rhan fwyaf (c.85%) yn addas i'w defnyddio yn asesiad sychder yr ALC. Roedd llawer o fynegeion yn ymwneud â rhagfynegi neu fonitro sychder, neu'n benodol i gnydau neu ranbarthau penodol, yn nodi straen cnydau (e.e. cnydau'n troi'n felyn) na ellid ei briodoli'n uniongyrchol i sychder neu a oedd yn rhy gymhleth i'w defnyddio'n gyffredinol. Fodd bynnag, gallai ychydig ohonynt fod yn berthnasol i'r ALC, er y gallai fod angen addasu a/neu ymchwilio ymhellach. Mae'r rhain yn cynnwys yr Evapotranspiration Deficit Index, y Soil Moisture Deficit Index, y Drought Reconnaissance Index, y Standardised Precipitation Evapotranspiration Index, y Fractional Water Index'r Standardised Soil Moisture Index.

¹⁰ <https://www.droughtmanagement.info/indices/>

14 Casgliadau ac argymhellion

- *Argymhellir y dylid adolygu graddau'r ALC yn ôl yr hinsawdd.* Mae graddio ALC yn ôl ffactorau hinsoddol yn unig yn seiliedig ar y rhagdybiaeth mai po gynhesaf a sychaf yw'r hinsawdd y gorau yw'r Radd. Mae hyn yn adlewyrchu'r dybiaeth bod gwlybanaeth yn benderfynydd pwysicach o ran cynnyrch na sychder pan luniwyd yr ALC (h.y. roedd sychder yn llai cyffredin). Fodd bynnag, wrth i'r hinsawdd newid mae rhagfynegiadau UKCP yn awgrymu y gallai rhannau o Gymru a Lloegr droi'n rhy gynnes a/neu'n rhy sych ar gyfer rhai mathau o gynhyrchu amaethyddol. O'r herwydd, efallai y bydd angen cyflwyno uchafswm gwerthoedd ar gyfer AT0 ac isafswm gwerthoedd ar gyfer glawiad fel nad yw safleoedd cynnes/sych iawn yn cael eu dosbarthu'n Radd 1 o ran hinsawdd.
- Ar hyn o bryd, mae'r radd ALC yn ôl hinsawdd yn seiliedig ar y berthynas rhwng AAR ac AT0 a dangosir gwahaniad cromlinog rhwng graddau yn Ffigur 1 yn nogfen ganllawiau'r ALC. Fodd bynnag, er bod deiliant yr AAR a'r AT0 yn glir, nid yw'r ffordd y penderfynwyd ar y terfynau cromlinog rhwng graddau yn glir. Yn ôl Keay *et al* (2014), defnyddiwyd pob un o'r cromlinau a ddangoswyd yn nogfen ganllawiau 1998 i benderfynu ar hafaliad yn gwahanu'r 6 dosbarth. Mae hyn yn rhagdybio bod naill ai'r cromlinau wedi'u cynhyrchu'n oddrychol neu fod unrhyw hafaliad a ddefnyddiwyd i'w diffinio'n wreiddiol wedi'i golli. Mae angen egluro hyn. *Argymhellir y dylai unrhyw adolygiad o raddio cyffredinol yn ôl hinsawdd egluro'r sail ar gyfer y terfynau presennol yn gyntaf*
- *Argymhellir y dylid adolygu'r set ddata hinsoddol gyfeirio a ddefnyddir ar gyfer yr ALC.* Mae set ddata hinsawdd bresennol yr ALC yn seiliedig ar ddata o 1941-1970 (glawiad) neu 1961-1980 (tymheredd); o ystyried ei bod yn fwy na 40-50 oed, mae'n bosibl nad yw'n gynrychioliadol o'r amodau hinsoddol presennol. Mae dadansoddiad o ddata hinsawdd yn awgrymu bod y rhan fwyaf o'r blynyddoedd cynhesaf yng Nghymru wedi digwydd ar ôl 1990 (h.y. y tu allan i'r cyfnod a gwmpesir gan ddata hinsawdd yr ALC). Mae Keay *et al.* (2014) wedi nodi newidiadau yn yr AT0 a'r AAR hefyd (y ddau baramedr a ddefnyddir i ddyrannu gradd ALC yn ôl hinsawdd), sydd hefyd yn cefnogi diweddarau'r set ddata hinsawdd.
- Mae rhagfynegiadau newid hinsawdd yn awgrymu bod y tywydd yn debygol o droi'n fwy eithafol yn y dyfodol. Mae hyn yn awgrymu y bydd yn bwysicach ystyried nid yn unig yr amodau hinsoddol cyfartalog wrth ddyrannu graddau ALC ar gyfer hinsawdd ond hefyd yr amrywiad o amgylch y cyfartaledd hwnnw. *Mae angen rhagor o waith i bennu'r metrig gorau ar gyfer cipio amrywiadau hinsoddol yn yr ALC.*
- *Argymhellir, lle mae angen cyfrifiadau PE ar gyfer ALC, y dylid defnyddio Dull FAO-56 Penman-Monteith.* Cydnabyddir y bydd unrhyw newid i'r dull a ddefnyddir i amcangyfrif PE yn cynhyrchu amcangyfrifon gwahanol o anwedd-drydarthiad. Fodd bynnag, dim ond un rhan o gyfrifiad diffyg lleithder yr ALC yw PE, y rhan arall yw glawiad sy'n fwy amrywiol. Gan fod amrywiadau o'r fath mewn glawiad yn debygol o gael effaith fwy ar ddiffyg lleithder na PE, ac mae unrhyw newidiadau i'r fethodoleg a ddefnyddir i gyfrifo PE yn annhebygol o gael effeithiau arwyddocaol ar gyfrifiadau diffyg lleithder. Byddai unrhyw newidiadau i'r fethodoleg a ddefnyddir i gyfrifo PE yn gofyn hefyd am adolygu'r dadansoddiad atchweliad a ddefnyddir ar gyfer PSMD ac adolygu'r MD sy'n benodol i gnydau. Felly, *argymhellir y dylid adolygu'r hafaliad a ddefnyddir ar hyn o bryd i gyfrifo diffyg lleithder pridd hefyd.*
- *Argymhellir y dylid adolygu'r system ALC gan ddefnyddio ystadegau tywydd cyfoes a chynnyrch cnydau i bennu arwyddocâd y ffactor sychder wrth raddio tir amaethyddol yng Nghymru a Lloegr.*

Mae angen ystyried addasiadau ffermio i hinsawdd sy'n newid hefyd gan fod angen deall effaith sychder cynyddol ar allu tir.

- *Dylid ystyried ehangu'r casgliad o gnydau y cyfrifir yr AP wedi'i addasu ar eu cyfer.* Roedd yr ymchwiliad gan Thomasson (1979), sy'n sail i ganllawiau'r ALC yn cynnwys cnydau â gwreiddiau dwfn fel betys siwgr neu India corn hefyd. Byddai angen ymchwiliad bellach i ganfod a yw'r gwerthoedd yn dal i fod yn briodol ar gyfer y cnydau hyn. Fodd bynnag, byddai ychwanegu cnydau ychwanegol yn cynyddu nifer y cyfuniadau o gyfyngiadau sychder gan gynyddu'r tebygolrwydd o anghysondeb annisgwyl rhwng cyfyngiadau ar gyfer cnydau unigol. O ganlyniad, gallai'r dull hwn fod o fwy o fudd at ddibenion modelu nag asesiadau caeau ALC.
- *Nid oes angen diweddarau gwerthoedd ALC ar gyfer capasiti dŵr priddoedd sydd ar gael.* Yn gyffredinol, mae gwerthoedd tabledig presennol yr ALC ar gyfer capasiti dŵr priddoedd sydd ar gael yn cyfateb yn fras i werthoedd a gyhoeddwyd mewn manau eraill ac a gyfrifir mewn papurau a adolygwyd gan gymheiriaid gan ddefnyddio ffwythiannau pedo-drosglwyddo. Ar hyn o bryd, nid oes digon o dystiolaeth i ddiweddarau'r gwerthoedd AWC ar gyfer creigiau a restrir yn y canllawiau ALC.
- *Nid oes angen diweddarau paramedrau'r ALC sy'n gysylltiedig â hyd gwraidd y cnydau cyfeirio, sef gwenith a thatws.* Yn seiliedig ar y data sydd wedi'i adolygu, mae'r dyfnder gwraidd mwyaf o 120 cm ar gyfer gwenith gaeaf a 70 cm ar gyfer tatws yn parhau i fod yn ddilys. Er y gall hyd y gwraidd ymestyn y tu hwnt i'r dyfnderoedd hyn, bydd yr amrediad dyfnder yn briodol ar gyfer y rhan fwyaf o wreiddgnydau.
- Yn gyffredinol, awgrymir bod y system ALC ar gyfer asesu'r hinsawdd a sychder yn parhau i fod yn addas i'r diben yn gyffredinol ac nad yw'r adolygiad hwn yn tanseilio'r system ALC yn ei ffurf bresennol. Er bod rhywfaint o ddiweddarau i'r set ddata hinsawdd gyfeirio yn cael ei argymhell, mae'r gwerthoedd cyfeirio ar gyfer y capasiti dŵr sydd ar gael a'r tybiaethau ynghylch dyfnder gwreiddio'n parhau'n ddilys.

15 Cyfeiriadau

- ADAS (2004). *To improve the process of land use planning through the development of a modern, high resolution and robust climate database for use in Agricultural Land Classification*. Cod prosiect Defra LE0216
- AHDB (2019). *Principles of soil management*. Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. a Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56.
- Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O., Le Bas, C. a Vautier, A. (2008). Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. *Soil Use and Management*. 24, 383-391.
- Bai, C., Ge, Y., Ashton, R.W., Evans, J., Milne, A., Hawkesford, M.J., Whalley, W.R., Parry, M.A.J., Melichar, J., Feuerhelm, D., Bansept Basler, P. a Bartsch, M. (2019). The relationships between seedling root screens, root growth in the field and grain yield for wheat. *Plant and Soil*. 440, 311–326.
- Barracough, P.B. (1984). The growth and activity of winter wheat roots in the field: root growth of high-yielding crops in relation to shoot growth. *Journal of Agricultural Science*. 103, 439-442.
- Barracough, P.B. (1989). Root growth, macro-nutrient uptake dynamics and soil fertility requirements of a high yielding winter oilseed rape crop. *Plant and Soil*. 119, 59-70.
- Bock, M., Gasser, P-Y., Pettapiece, W.W., Brierley, A.J., Bootsma, A., Schut, P., Neilsen, D. a Smith, C.A.S. (2018). The land suitability rating system is a spatial planning tool to assess crop suitability in Canada. *Frontiers in Environmental Science*. 6:77. doi:10.3389/fenvs.2018.00077
- Brown, I. a Castellazzi, M. (2014). Changes in climate variability with reference to land quality and agriculture in Scotland. *International Journal of Biometeorology*. DOI 10.1007/s00484-014-0882-9
- Brown, I., Poggio, L., Gimona, A. a Castellazzi, M. (2011). Climate change, drought risk and land capability for agriculture: implications for land use in Scotland. *Regional Environmental Change*. 11, 503-518.
- Brown, I., Towers, W., Rivington, M. a Black, H.I.J. (2008). Influence of climate change on agricultural land-use potential: adapting and updating the land capability system for Scotland. *Climate Research*. 37, 43-57.
- Brady, N.C. a Weil, R.R. (2002). *Nature and properties of Soil*.
- Canadell, J., Jackson, R B., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. a Schulze, E.D. (1996) Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*. 108, 583-595.
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (2018) (Gol.), *World Atlas of Desertification*. Trydydd Argraffiad. Swyddfa Cyhoeddiadau'r Undeb Ewropeaidd, Lwcsembwrg.
- Datta, S., Tagvaeian, S. a Stivers, J. (2017). *Understanding soil water content and thresholds for irrigation management*. Oklahoma Cooperative Extension Service. BAE-1537.
- Dunbabin, V., Diggle, A. a Rengel, Z. (2003). Is there an optimal root architecture for nitrate capture in leaching environments? *Plant, Cell and Environment*. 26, 835-844.

- Fan, J., McConkey, B., Wang, H. a Janzen, H (2016). Root distribution by depth for temperate agricultural crops. *Field Crops Research*. 189, 68-74.
- Fan, Y., Miguez-Macho, G., Jobbágy, E.G., Jackson, R.B. ac Otero-Casal, C. (2017). Hydrologic regulation of plant rooting depth. *PNAS*, 114, 10572-10577.
- FAO (1976). *A Framework for Land Evaluation*. FAO Soils Bulletin 32.
- Field, M. (1983). *Creating the Complete Agromet Database*. Agricultural Memorandum 983 (papur heb ei gyhoeddi), Y Swyddfa Dywydd.
- Gales, K. (1983). Yield variation of wheat and barley in Britain in relation to crop growth and soil conditions—a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 34, 1085-1104.
- Gregory, P.J., McGowan, M., Biscoe, P.V. a Hunter, B. (1978). Water relations of winter wheat. 1. Growth of the root system. *Journal of Agricultural Science*. 91, 91-102.
- Grindley, J. (1967). The estimation of soil moisture deficits. *The Meteorological Magazine*, 96, 97-108.
- Grieu, P., Lucero, D.W., Ardiani, R. ac Ehleringer, J.R. (2001). The mean depth of soil water uptake by two temperate grassland species over time subjected to mild soil water deficit and competitive association. *Plant and Soil*. 230, 197-209.
- Hall, D.G.M. Reeve, M. J. Thomasson, A.J. a Wright, V.F. (1977). *Water retention, porosity and density of field soils*. Soil Survey Technical Monograph No.9.
- Hallett, S.H., Sakrabani, R., Keay, C.A. a Hannam, J.A. (2017). Developments in land information systems: examples demonstrating land resource management capabilities and options. *Soil Use and Management*. 33, 514-529.
- Harrod, T.R. (1979). *Soil suitability for grassland*. Yn: Jarvis, M.G. a Mackney, D. (Gol) Soil Survey Applications. Monograff Technegol Rhif. 13. Tudalennau 51-70.
- Hendriks, D.M.D., Trambauer, P., Mens, M., Sánchez, M.F., Rodriguez, S.G., Bootsma, H., can Kempen, C., Werner, M., Maskey, S., Svoboda, M., Tadesse, T. a Feldkamp, T. (2017). *Global inventory of drought hazard and risk modelling tools*. Deltares. Cyfeirnod y prosiect: 11200758-002-ZWS-0001
- Hlaváčiková, H., Novák, V., Kostka, Z., Danko, M. a Hlavčo, J. (2018). The influence of stony soil properties on water dynamics modelled by the HYDRUS model. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 66, 181-188.
- Hoad, SP., G Russell, Bingham, IJ., a M E Lucas (2000). *Management of cereal root systems*. (argraffiad RR 43) Agriculture and Horticulture Development Board
- Hodge, A. (2004). The plastic plant: Root responses to heterogeneous supplies of nutrients. *New Phytologist*. 162, 9-24.
- Hodgkinson, L., Dodd, I.C., Binley, A., Ashton, R.W., White, R.P., Watts, C.W. a Whalley, W.R. (2017). Root growth in field-grown winter wheat: Some effects of soil conditions, season and genotype. *European Journal of Agronomy*. 91, 74-83.
- Hollis, J.M., Lilly, A., Higgins, A., Jones, R.J.A., Keay, C.A. a Bellamy, P. (2015). Predicting the water retention characteristics of UK mineral soils. *European Journal of Soil Science*. 66, 239-252.

- Hudson, G. a Birnie, R.V. (2000). A method of land evaluation including year to year weather variability. *Agricultural and Forest Meteorology*. 101, 203-216.
- Irrigation New Zealand (dim dyddiad). *Soil texture and water*. www.irrigation.co.nz
- Jackson, R B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. a Schulze, E.D. (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*. 108, 389-411.
- Jahanshiri, E., Nizar, N.M.M., Suhairi, T.A.S.T.M., Gregory, P.J., Mohamed, A.S., Wimalasiri, E.M. ac Azam-Ali, S N. (2020). A land evaluation framework for agricultural diversification. *Sustainability*. 12, 3110; doi:10.3390/su12083110.
- Jobbágy, E.G. a Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*. 10, 423-436.
- Jones, R.J.A. (1987). *The estimation of moisture deficit for the assessment of soil droughtiness in ALC*.
- Jones, R.J.A., Zdruli, P. a Montanarella, L. (2000). *The estimation of drought risk in Europe from soil and climatic data*. Yn: Vogt, J.V. a Somma, F. (Gol). Drought and drought mitigation in Europe, 133-146.
- Keay, C.A. a Hannam, J. (2020). *Effaith Newid yn yr Hinsawdd ar Ddosbarthiad Tir Amaethyddol (ALC) yng Nghymru*. Rhaglen Galluogrwydd, Addasrwydd a Hinsawdd. Llywodraeth Cymru.
- Keay, C.A., Jones, R.J.A., Procter, C., Chapman, V., Barrie, I., Nias, I., Smith, S. ac Astbury, S. (2013). *SP1104 the Impact of climate change on the capability of land for agriculture as defined by the Agricultural Land Classification*. Defra.
- Kirkegaard JA, Lilley JM. 2007. Root penetration rate – a benchmark to identify soil and plant limitations to rooting depth in wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 47, 590-602.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X. a Zhang, M. (2017). A comparative study of potential evapotranspiration estimation by eight methods with FAO Penman–Monteith Method in Southwestern China. *Water*. 9, 734; doi:10.3390/w9100734
- Lowe, J.A., Bernie, D., Bett, P., Bricheno, L., Brown, S., Calvert, D., Clark, R., Eagle, K., Edwards, T., Fosser, G., Fung, F., Gohar, L., Good, P., Gregory, J., Harris, G., Howard, T., Kaye, N., Kendon, E., Krijnen, J., Maisey, P., McDonald, R., McInnes, R., McSweeney, C., Mitchell, J.F.B., Murphy, J., Palmer, M., Roberts, C., Rostron, J., Sexton, D., Thornton, H., Tinkler, J., Tucker, S., Yamazaki, K. a Belcher, S. (2018). *UKCP18 Science Overview Report*. Tachwedd 2018. Y Swyddfa Dywydd.
- Lynn, I.H., Manderson, A.K., Page, M.J., Harmsworth, G.R., Eyles, G.O., Douglas, G.B., Mackay, A.D. a Newsome, P.J.F. (2009). *Land Use Capability Survey Handbook – a New Zealand handbook for the classification of land*. 3^{dydd} Argraffiad. AgResearch Ltd.
- MAFF, 1983). *Unpublished discussions and correspondence in relation to ALC droughtiness assessments*.
- MAFF (1988). *Agricultural Land Classification of England and Wales*. Hydref 1988.
- Manna, P., Basile, A., Bonfante, A., De Mascellis, R. a Terribile, F. (2009). Comparative land evaluation approaches: an itinerary from FAO framework to simulation modelling. *Geoderma*. 150, 367–378.
- Y Swyddfa Dywydd (1977). Map o lawiad blynyddol cyfartalog 1941-70.

- Y Swyddfa Dywydd (1989). *Climatological data for Agricultural Land Classification. Grid point datasets of climatic variables, at 5 km intervals, for England and Wales*. Y Swyddfa Dywydd, Bracknell.
- Middleton, N. a Thomas, D. (1997) (Gol.). *World Atlas of Desertification*. Ail Argraffiad. Arnold.
- Y Weinyddiaeth Dai, Cymunedau a Llywodraeth Leol (2019). *National planning policy framework*. Llyfrfa ei Mawrhydi.
- Morison, J.I.L., Baker, N.R., Mullineaux, P.M. a Davies, W.J. (2008). Improving water use in crop production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 363, 639-658.
- Mueller, L., Schindler, U., Mirschel, W., Shepherd, T.G., Ball, B.C., Helming, K., Rogasik, J., Eulenstein, F. a Wiggering, H. (2010). Assessing the productivity function of soils. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 30, 610-614.
- Narayanan, S., Mohan, A., Gill, K.S. a Prasad, P.V.V. (2014). Variability of root traits in spring wheat germplasm. *PLOS ONE* 9(6): e100317. doi:10.1371/journal.pone.0100317
- Nichols, S.N., Hofmann, R.W., Williams, W.M. a van Koten, C. (2016). Rooting depth and root depth distribution of *Trifolium repens* x *T. uniflorum* interspecific hybrids. *Annals o Botany*. 118. 699-710.
- NSRI, (2005). *Impacts of climate change on soil functions*. Cod prosiect Defra SP0538.
- Palmer, W.C. (1968). Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new crop moisture index. *Weatherwise*. 21, 156-161.
- Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*. 193, 120-145.
- Perry, M. a Hollis, D. (2005). The development of a new set of long-term climate averages for the UK. *International Journal of Climatology*. 25, 1023-1039.
- Prudhomme, C. a Williamson, J. (2013). Derivation of RCM-driven potential evapotranspiration for hydrological climate change impact analysis in Great Britain: a comparison of methods and associated uncertainty in future projections. *Hydrology and Earth System Science*. 17, 1365-1377.
- Reilly, J.M. (2002) *Agriculture: the potential consequences of climate variability and change for the United States*. Cambridge University Press, Caergrawnt.
- Rempe, D.M. a Dietrich, W.E. (2018). Direct observations of rock moisture, a hidden component of the hydrologic cycle. *Proceedings of the National Academy of Science*. 115, 2664-2669.
- Rollett, A.J. a Williams, J.R. (2019), *ALC Technical Review (Part 1)*. Cod yr adroddiad: SPEP2018-19/12. Llywodraeth Cymru.
- Rollett, A.J. a Williams, J.R. (2020), *ALC Technical Review Part 2 – climate, site and interactive limitations*. Cod yr adroddiad: SPEP2019-20/04. Llywodraeth Cymru.
- Román Dobarco, M., Cousin, I., Le Bas, C. a Martin, M.P. (2019). Pedotransfer functions for predicting available water capacity in French soils, their applicability domain and associated uncertainty. *Geoderma*. 336, 81-95.
- Rounsevell, M.D.A., Brignall, A.P. a Siddons, P. A. (1996). Potential climate change effects on the distribution of agricultural grassland in England and Wales. *Soil Use and Management*. 12, 44-51.

- Rubio, C.M., Llorens, P. a Gallart, F. (2008). Uncertainty and efficiency of pedotransfer functions for estimating water retention characteristics of soils. *European Journal of Soil Science*. 59, 339-347.
- Schenk, H.J. a Jackson, R.B. (2002). Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/ above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. *Journal of Ecology*. 90, 480-494
- Shaxson, F. a Barber, R. (2003). *Optimising soil moisture for plant production. The significance of soil porosity*. FAO Soils Bulletin 79.
- Skinner, R.H. (2008). Yield, root growth, and soil water content in drought stressed pasture mixtures containing chicory. *Crop Science*. 48, 380-388.
- Skinner, R.H., Hanson, J.D. a Benjamin, J.G. (1998). Root distribution following spatial separation of water and nitrogen supply in furrow irrigated corn. *Plant and Soil*. 199, 187-194.
- Song, X., Lu, F., Xiao, W., Zhu, K., Zhou, Y. a Xie, Z. (2019). Performance of 12 reference evapotranspiration estimation methods compared with the Penman–Monteith method and the potential influences in northeast China. *Meteorological Applications*. 26, 83-96.
- Stalham, M.A. ac Allen, E.J. (2001). Effect of variety, irrigation regime and planting date on depth, rate, duration and density of root growth in the potato (*Solanum tuberosum*) crop. *Journal of Agricultural Science*. 137, 251-270.
- Stalham, M.A. ac Allen, E.J. (2004). Water uptake in the potato (*Solanum tuberosum*) crop. *Journal of Agricultural Science*. 142, 373-393.
- Teagasc (2020). *Grass supply must be monitored*. Cylchlythyr Ymgynghorol Teagasc Mehefin 2020.
- Tetegán, M., Nicoullaud, Baize, D., Bouthier, A. a Cousin, I. (2011). The contribution of rock fragments to the available water content of stony soils: proposition of new pedotransfer functions. *Geoderma*. 165, 40-49.
- Thomasson, A.J. (1979), *Assessment of soil droughtiness*. Yn: Jarvis, M.G. a Mackney, D. (Gol) Soil Survey Applications. Monograff Technegol Rhif. 13., 43-50.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach towards a rational classification of climate. *Geographical Review*. 38, 55-94.
- Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M.S. a Loges, R. (2009). Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant and Soil*. 332, 101-114.
- Thorup -Kristensen, K., Halberg, N., Nicolaisen, M., Olesen, J.E., Crews, T.E., Hinsinger, P., Kiregaard, J., Pierret, A. a Dresbøll, D.B. (2020). Digging deeper for agricultural resources, the value of deep rooting. *Trends in Plant Science*. 25, 406-417.
- Tietje, O. a Tapkenhinrichs, M. (1993). Evaluation of pedotransfer functions. *Soil Science Society of America Journal*. 57, 1088-1095.
- Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G. a Tóth, G. (2015). New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European Journal of Soil Science*. 66, 226-238.
- Van Orshoven, J., Terres, J-M. a Tóth, T. (Gol.) (2014). *Updated common bio-physical criteria to define natural constraints for agriculture in Europe. Definition and scientific justification for the common biophysical criteria*; Taflenni Ffeithiau Technegol. European Commission, Joint Research Centre.

- Llywodraeth Cymru (2021). *Polisi Cynllunio Cymru*. Argraffiad 11. Chwefror 2021.
- Wösten, J.H.M., Finke, P.A. a Jansen, M.J.W. (1995). Comparison of class and continuous pedotransfer functions to generate soil hydraulic characteristics. *Geoderma*. 66, 227-237.
- Whalley, W.R., Ober, E.S. a Jenkins, M. (2013). Measurement of the matric potential of soil water in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*. 64, 3951-3963.
- White, C.A., Sylvester-Bradley, R. a Berry, P.M. (2015). Root length densities of UK wheat and oilseed rape crops with implications for water capture and yield. *Journal of Experimental Botany*. 66, 2293-2303.
- Wilhite, D. A. (2011). *Quantification of agricultural drought for effective drought mitigation and preparedness: key issues and challenges*. Yn: Sivakumar, M.V.K., Motha, R.P., Wilhite, D.A. a Wood, D.A. (Gol). Agricultural drought indices. Trafodion Cyfarfod Grŵp Arbenigol WMO/UNISDR ar Fynegeion Sychder Amaethyddol, 2-4 Mehefin 2010, Murcia, Sbaen: Genefa, Y Swistir: Sefydliad Meteorolegol y Byd. AGM-11, WMO/TD Rhif. 1572; WAOB-2011.
- Sefydliad Meteorolegol y Byd (WMO) a'r Global Water Partnership (GWP), 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Genefa.
- Xu, C. Y. a Singh, V. P. (1998). Dependence of evaporation on meteorological variables at different timescales and intercomparison of estimation methods. *Hydrological Processes*. 12, 42-442.
- Zdruli, P., Jones R.J.A. a Montanarella L. (2001). Use of soil and climate data to assess the risk of agricultural drought for policy support in Europe. *Agronomie*. 21, 45-56.

15.1 Cyfeiriadau ar gyfer Tabl 28 modelau a mynegeion sychder

- Abbas, S., Nichol, J.E., Qamer, F.M. a Xu, J. (2014). Characterization of drought development through remote sensing: a case study in Central Yunnan, China *Remote Sensing*. 6, 4998-5018.
- Ali, Z., Hussain, I. a Faisal, M. (2019). Annual characterization of regional hydrological drought using auxiliary information under global warming scenario. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Anderson, M. C., Hain, C., Wardlow, B., Pimstein, A., Mecikalski, J.R. a Kustas, W.P. (2011). Evaluation of drought indices based on thermal remote sensing of evapotranspiration over the Continental United States. *Journal of Climate*. 24, 2025-2044.
- Bergman, K. H., Sabol, P., a Miskus, D. (1988). *Experimental indices for monitoring global drought conditions*. Trafodion y 13eg Gweithdy Diagnosteg Hinsawdd Blynnyddol.
- Bhuiyan, C. (2004). *Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli Terrain of India*. Trafodion Cynhadledd XX ISPRS. Istanbul: International Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
- Byun, H.-R. a Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12. 2747-2756.
- Cao, Y., Chen, S., Wang, L., Zhu, B., Lu, T. a Yu, Y. (2019). An agricultural drought index for assessing droughts using a water balance method: a case study in Jilin Province, Northeast China. *Remote Sensing*. 11, 1066.
- Carlson, T.N. a Gillies, R.R. (1994). A method to make use of thermal infrared and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing Reviews*. 9, 161-173.
- Carlson, T.N., Perry, E.M. a Schmugge, T.J. (1990). Remote estimation of soil moisture availability and fractional vegetation cover for agricultural fields. *Agricultural and Forest Meteorology*. 52, 45-69.
- Carro, H., Russo, S., Sepulcre-Canto, G. a Barbosa, P. (2016). An empirical standardized soil moisture index for agricultural drought assessment from remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 48, 78-84.
- Chen, H., Zhang, H., Shen, S.-H., Yu, W., a Zou, C. (2009). *Construction and validation of a new model for cropland soil moisture index based on MODIS data*. Trafodion SPIE - Y Gymdeithas Ryngwladol ar gyfer Peirianeg Optegol.
- Du, X., Wang, S., Zhou, Y. a Wei, H. (2007). *Construction and validation of a new model for unified surface water capacity based on MODIS data*. Geomatics and Information Science of Wuhan University.
- Dutra, E., Viterbo, P. a Miranda, P.M. (2008). ERA-40 reanalysis hydrological applications in the characterization of regional drought. *Geophysical Research Letters*. 35, L19402.
- Fensholt, R. a Sandholt, I. (2003). Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. *Remote Sensing of Environment*. 87, 111-121.
- Fraisse, C. W., Gelcer, E. M. a Woli, P. (2011). *Drought Decision-Support Tools: Introducing the Agricultural Reference Index for Drought - ARID*. University of Florida.

- Gao, B.-c. (1996). NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 58, 257-266.
- Gusyeve, M. A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, D., Sawano, H., a Lee, S. (2015). *Drought assessment in the Pampanga River basin, the Philippines – Part 1: Characterizing a role of dams in historical droughts with standardized indices*. 21ain Cyngres Ryngwladol ar Fodelu ac Efelychu (MODSIM). Queensland: Modelling and Simulation Society of.
- Hao, Z., ac AghaKouchak, A. (2013). Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model. *Advances in Water Resources*. 57, 12-18.
- Hao, Z., AghaKouchak, A., Nakhjiri, N. a Farahmand, A. (2014). Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific Data*. 1, 140001.
- Hong, W., Hayes, M.J., Weiss, A. a Hu, C. (2001). An Evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the Statistical Z-Score. *International Journal of Climatology*. 21, 745-758.
- Hong, Z., Zhang, W., Yu, C., Zhang, D., Li, L., a Meng, L. (2018). SWCTI: Surface Water Content Temperature Index for assessment of surface soil moisture status. *Sensors*. 18:2875
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. 25, 295-309.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., a Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 195 -213.
- Jian, H., Khan, M.A., Li, Z., Ali, Z., Ali, F. a Gul, S. (2020). Regional drought assessment using improved precipitation records under auxiliary information. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 72, 1-26.
- Keyantash, J.A. a Dracup, J.A. (2004). An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. *Water Resources Research*. 40, W09304.
- Kidd, R., a Wagner, W. (2014). *Glo Global Land Component - Lot I "Operation of the Global Land Component"*. Copernicus Global Land Service.
- Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*. 15, 91-100.
- Lyon, B. a Barnston, A.G. (2005). ENSO and the spatial extent of interannual precipitation extremes in tropical land areas. *Journal of Climate*. 8, 5095-5109.
- McKee, T.B., Doken, N.J. a Kleist, J. (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. Eighth Conference on Applied Climatology.
- Meyer, S.J., Hubbard, K.G., a Wilhite, D.A. (1993). A crop-specific drought index for corn: I. model development and validation. *Agronomy Journal*. 85, 388-395.
- Mukherjee, D. (2019). Stochastic model for crop water stress during agricultural droughts. *Engineering Reports*. 1, e12081.

- Nalbantis, I. a Tsakiris, G. (2008). Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resources Management*. 23, 881-897.
- Narasimhan, B. a Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*. 133, 69-88.
- Peters, A.J., Walter-Shea, E.A., Ji, L., Viña, A., Hayes, M. a Svoboda, M.D. (2002). Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68, 71-75.
- Rhee, J., Im, J. a Carbone, G. J. (2010). Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2875-2887.
- Rodell, M., House, P.R., Jambor, U., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C-J., Arsenault, K., Cosgrove, B., Radakovich, J., Bosilovich, M., Entin, J.K., Walker, J.P., Lohmann, D. a Toll, D. (2004). The Global Land Data Assimilation System. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 85, 381-394.
- Sandholt, I., Rasmussen, K. and Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote sensing of Environment*. 79, 213-224.
- Schneider, J.M., Fisher, D.K., Elliott, R.L., Brown, G.O. a Bahrmann, C.P. (2003). Spatiotemporal variations in soil water: first results from the ARM SGP CART Network. *Journal of Hydrometeorology*. 4, 106-120.
- Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, A., Carrao, H. a Vogt, J. (2012). Development of a combined drought indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 12, 3519-3531.
- Shukla, S. a Wood, A.W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical Research Letters*. 35, L02405.
- Staudinger, M., Stahl, K. a Seibert, J. (2014). A drought index accounting for snow *Water Resources Research*. 50, 7861-7872.
- Tsakiris, G. a Vangelis, H. (2005). Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*. 9/10, 3-11.
- United States Drought Monitor. (2020, Hydref 23). <https://droughtmonitor.unl.edu>
- Vegetation Drought Response Index (VegDRI). (2020, Hydref 23). <https://veg dri.unl.edu>
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S. a Lopez-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate*, 23, 1696-1718.
- Wang, L. a Qu, J.J. (2007). NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*. 34, L20405.
- Weghorst, K. (1996). *The Reclamation Drought Index: Guidelines and Practical Applications*. North American Water and Environment Congress. Anaheim: American Society of Civil Engineers.

- Wells, N., Goddard, S. a Hayes, M.J. (2004). A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. *Journal of Climate*. 17, 2335-2351.
- Wu, M.-x. a Lu, H.-q. (2016). A modified vegetation water supply index (MVWSI) and its application in drought monitoring over Sichuan and Chongqing, China. *Journal of Integrative Agriculture*. 15, 2132-2141.
- Zhang, N., Hong, Y., Qin, C. a Liu, L. (2013). VSDI: a visible and shortwave infrared drought index for monitoring soil and vegetation moisture based on optical remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 34, 4585-4609.