



Llywodraeth Cymru  
Welsh Government

# Rhaglen Dystiolaeth Polisi Pridd 2018-19

**Adolygiad o arferion gorau  
ar gyfer monitro carbon  
organig pridd (SOC)**

Cod Rhaglen: SPEP 2019-20/05



# Adolygiad o arferion gorau ar gyfer monitro carbon organig pridd (SOC)

## Adroddiad Rhaglen Dystiolaeth Polisi

Pridd: SPEP 2019-20/05

**Cyflwynwyd i:**

Uned Polisi Pridd a Chynllunio  
Defnydd Tir Amaethyddol  
Is-adran y Tir, Natur a  
Choedwigaeth  
Yr Adran Materion Gwledig  
Llywodraeth Cymru

**Paratowyd gan:**

Dr Alison Rollett  
ADAS Gleadthorpe  
Netherfield Lane  
Meden Vale  
Nottinghamshire  
NG20 9PD

John Williams  
ADAS Boxworth  
Battlegate Road  
Boxworth  
Cambridgeshire  
CB23 4NN



## Cynnwys

1	Cyflwyniad.....	1
1.1	Amcanion.....	1
2	Rhaglenni monitro pridd cenedlaethol.....	2
2.1	Y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd.....	2
2.2	Arolwg Cefn Gwlad.....	4
2.3	SP1101 Defra .....	13
2.3.1	Cymharu cynllun yr arolwg .....	13
2.3.2	Ailddadansoddi.....	14
2.3.3	Dadansoddiadau ystadegol ychwanegol .....	14
2.3.4	Canlyniadau gwaith cymharu ystadegol ychwanegol.....	14
2.3.5	Casgliadau .....	16
3	Dulliau ar gyfer mesur deunydd organig pridd a charbon organig pridd.....	17
3.1	Deunydd organig pridd o gymharu â charbon organig pridd .....	17
3.2	Colled wrth danio.....	17
3.2.1	Trosi SOM yn SOC.....	18
3.3	Dull Walkley Black.....	20
3.4	Dulliau hylosgi sych .....	20
3.5	Dulliau eraill.....	21
3.6	Cymharu dulliau.....	21
3.7	Casgliadau.....	22
4	Crynodiad SOC o gymharu â stoc SOC .....	23
4.1	Dyfnder samplu.....	23
4.2	Swmp ddwysedd pridd.....	24
4.3	Swyddogaeth bedodrosglwyddo .....	25
4.4	Màs pridd cyfatebol .....	28
4.5	Natur garegog pridd.....	29
4.6	Casgliadau.....	31
5	Monitro newid mewn SOC.....	35
5.1	Mesur crynodiad a stociau SOC .....	36
5.1.1	Crynodiad SOC.....	36
5.1.2	Swmp ddwysedd a màs pridd .....	36
5.1.3	Dyfnder samplu pridd.....	37
5.1.4	Lleoli/adleoli samplau.....	37

5.1.5	Nifer y samplau a'r cynllun samplu .....	37
5.2	Casgliadau ar gyfer rhaglen fonitro.....	38
6	Argymhellion ar gyfer monitro carbon organig pridd yng Nghymru .....	39
6.1	Cynllun monitro cenedlaethol/arolygon mynych .....	39
6.2	Monitro newidiadau mewn SOC ar raddfa cae.....	40
7	Casgliadau cyffredinol.....	40
8	Cyfeiriadau .....	42

## 1 Cyflwyniad

- Cynigiwyd y dylid pennu gwerthoedd sylfaen a gwerthoedd targed ar gyfer ansawdd pridd er mwyn mesur effeithiau cynlluniau rheoli tir yn y dyfodol (Defra 2018). Yn aml, cynigir y dylid defnyddio dangosyddion ansawdd pridd (SQI) i asesu'r modd y darperir gwasanaethau ecosystem pridd. Fodd bynnag, er gwaethaf cynnydd sylweddol wrth ddehongli gwerthoedd dangosyddion, mae angen mynd i'r afael â materion gwyddonol ac ymarferol pwysig o hyd.
- Yn aml, pan fydd stociau carbon organig pridd (SOC) yn lleihau, ceir mathau eraill o ddirywiad pridd hefyd (e.e. colli uwchbridd neu gywasgu, Amundson *et al.*, 2015) ac mae'n amlwg y dylai polisiâu sy'n cynnal neu'n gwella SOC arwain at fuddiannau niferus o ran lliniaru newid yn yr hinsawdd a sicrhau bod systemau amaethyddol yn gynaliadwy.
- Er mwyn gwobrwyo arferion rheoli sy'n cynnal neu'n gwella SOC, mae'n hanfodol bod unrhyw fetrigau a ddewisir yn gallu pennu lefelau sylfaen yn gyntaf ac, yn ail, yn gallu monitro cynnydd neu ostyngiad yn y lefel sylfaen.
- Mae dwy raglen monitro pridd genedlaethol (y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd (NSI) a'r Arolwg Cefn Gwlad (CS)) wedi nodi tystiolaeth anghyson o ran newidiadau mewn carbon yn yr uwchbridd yng Nghymru a Lloegr. Yn ôl yr NSI, gwelwyd colledion mewn carbon pridd rhwng 1978 a 2007. Fodd bynnag, yn ôl y CS, ni fu unrhyw newid. Roedd samplau pridd mwy diweddar a gymerwyd ar gyfer Rhaglen Monitro a Gwerthuso Glastir rhwng 2012 a 2016 hefyd yn awgrymu na fu unrhyw newid mewn carbon uwchbridd yng Nghymru (Emmett *et al.*, 2017). Mae'r anghysondeb hwn mewn lefelau SOC a nodwyd gan y ddwy raglen fonitro yn golygu ei bod hi'n anodd mynd ati'n hyderus i bennu lefel sylfaen ar gyfer SOC.
- Yn eu hadolygiad, gwnaeth Kirk *et al.* (2011) ddiystyru sawl rheswm posibl am y gwahaniaethau rhwng y samplau (h.y. effeithiau ystadegol, methodoleg samplu neu ddadansoddi, cynllun samplu neu adleoli safle) ond ni ddaethant o hyd i reswm pendant am y gwahaniaeth. Comisiynwyd yr adroddiad hwn i gynnal adolygiad byr o'r adroddiad gan Kirk *et al.* (2011) a'r rhaglenni monitro pridd cenedlaethol. Yn fwy eang, bydd yn asesu methodoleg bosibl ar gyfer mesur SOC (e.e. rhaglen samplu neu ddyfnder samplu) ar raddfa genedlaethol a'r broses gysylltiedig o bennu lefel sylfaen gywir ar gyfer SOC.

### 1.1 Amcanion

- Amcan cyffredinol y prosiect hwn yw adolygu prosiect SP1101 Defra (Kirk *et al.*, 2011) a'r data SOC cysylltiedig o raglenni monitro pridd cenedlaethol blaenorol (h.y. y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd a'r Arolwg Cefn Gwlad). Mae'r adolygiad yn awgrymu dulliau gweithredu ar gyfer cynlluniau monitro SOC posibl yng Nghymru yn y dyfodol. Yn fanwl, mae'r adroddiad wedi gwneud y canlynol:
  - Adolygu prosiect SP1101 Defra a data SOC cysylltiedig o raglenni monitro cenedlaethol,
  - Asesu'r methodolegau ar gyfer mesur SOC gan gynnwys cynllun, cywirdeb a chostau'r broses samplu a'r gallu i'w hailadrodd.
  - Nodi tystiolaeth er mwyn penderfynu a ellir asesu newidiadau mewn carbon pridd yn gywir ar raddfa genedlaethol, ranbarthol a lleol a'r sicrwydd/ansicrwydd sy'n gysylltiedig â'r metrig hwn.
  - Ystyried y gofynion ar gyfer fframwaith monitro sy'n mesur newidiadau mewn SOC ar raddfa genedlaethol.

## 2 Rhaglenni monitro pridd cenedlaethol

- Yn ystod y blynyddoedd diwethaf, mae dwy raglen monitro pridd genedlaethol (y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd (NSI) a'r Arolwg Cefn Gwlad (CS)) wedi nodi newidiadau mewn SOC yn yr uwchbridd yng Nghymru a Lloegr, y tro cyntaf yn 2005 (Bellamy *et al.*, 2005) a'r eildro yn 2010 (Emmett *et al.*, 2010). Roedd y ddau adroddiad yn nodi newidiadau mewn SOC dros gyfnod tebyg, h.y. rhwng diwedd y 1970au/dechrau'r 1980au a dechrau/canol y 2000au. Fodd bynnag, roedd prif ganfyddiadau'r ddau adroddiad yn anghyson; roedd yr NSI yn awgrymu y bu colled net o 4 miliwn o dunelli mewn SOC/blwyddyn ond nododd y CS mai dim ond newidiadau bach iawn a welwyd mewn SOC rhwng 1978 a 2007. Nid yw'r rhesymau am y gwahaniaeth rhwng y ddwy raglen yn glir o hyd er bod Kirk *et al.* wedi adolygu'r data ymhellach yn 2011. Rhoddir manylion strategaethau samplu, dyfnderau samplu at ati ar gyfer y ddwy raglen fonitro yn Nhabl 3 ac fe'u trafodir yn fanylach isod.
- Yn yr Alban, aeth Rhestr Genedlaethol o Briddoedd yr Alban (NSIS) ati i samplu 721 o briddoedd rhwng 1978 a 1987 (roedd haeniad y sampl yn seiliedig ar grid 10 km); cafodd tua 25% o'r safleoedd gwreiddiol (195) eu hail-samplu rhwng 2007 a 2010 (roedd haeniad y sampl ar gyfer yr arolwg diweddaraf yn seiliedig ar grid 20 km). Cymerwyd samplau pridd i 75 cm o leiaf (neu 100 cm mewn priddoedd mawn) a defnyddiwyd dadansoddydd elfennol a LOI i fesur y carbon. Cyfrifwyd stoc y carbon i 100 cm gan ddefnyddio swmp ddwysedd mesuredig (ar gyfer yr ail sampl) neu ragfynegol (ar gyfer y sampl gyntaf) (Chapman *et al.*, 2013). Yn unol â'r CS, canfu'r arolwg na fu unrhyw newid cyffredinol mewn % SOC (1978-1978:  $184 \pm 10$  g/kg; 2007-2010:  $187 \pm 10$  g/kg) na stoc y carbon i 100 cm (1978-1978:  $266 \pm 15$  t/ha; 2007-2010:  $270 \pm 15$  t/ha) rhwng y sampl gyntaf a'r ail sampl. Yr eithriad oedd priddoedd o dan goetir (ac eithrio'r rhai ar bridd mawn dwfn lle roedd deunydd organig yn ymestyn y tu hwnt i 100 cm) lle y gwelwyd cynnydd sylweddol o 1.0 t/C/ha/blwyddyn. Er mwyn cymharu â'r NSI a'r CS, aeth yr awduron ati hefyd i gyfrifo'r newid yn y stoc carbon dros amser ar gyfer dyfnder o 0-15 cm (1978-1978:  $71 \pm 2$  t/ha; 2007-2010:  $74 \pm 3$  t/ha). Awgrymodd y cyfrifiad hwn hefyd na fu unrhyw newid yn y stoc carbon. Fodd bynnag, pan eithriwyd safleoedd â phridd mawn dwfn, gwelwyd cynnydd sylweddol o 4.3 t C/ha yn y stoc C gyffredinol.

### 2.1 Y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd

- Defnyddiodd Bellamy *et al.* (2005) ddata a gasglwyd o'r NSI rhwng 1978 a 2003 i asesu newidiadau mewn SOC dros amser. Yn fras, mesurwyd SOC ar tua 5,550 o safleoedd rhwng 1978 a 1983 ac unwaith eto naill ai yn 1994 (tir â'r glaswellt cylchdro), 1995 (tir pori parhaol) neu 2003 (safleoedd nad oeddent yn rhai amaethyddol, e.e. corysdd, coetir ac ati) er mwyn mesur newid. Ar gyfer y mwyafrif o'r samplau, defnyddiwyd dull addasedig Walkley Black (MWB) i fesur SOC, ac eithrio samplau a gymerwyd o briddoedd nad oeddent yn rhai amaethyddol lle roedd SOC >tua 150 g/kg. Defnyddiwyd y dull colled wrth danio (LOI) i fesur y samplau hynny. Nid yw'n glir sut y cafodd samplau SOC uchel eu nodi. Er mwyn cyfrifo newid dros amser, tybiwyd bod y broses newid yn un linol dros y cyfnod samplu. Defnyddiwyd swmp ddwysedd tybiedig hefyd i gyfrifo'r newid mewn stociau SOC.
- Amcangyfrifodd Bellamy *et al.* (2005) mai 864 Teragram-Tg (0-15cm) oedd cyfanswm y SOC ledled Cymru a Lloegr pan gymerwyd y samplau cyntaf yn 1978 ac mai -4.44 Tg/blwyddyn oedd cyfanswm y gyfradd newid. Byddai hyn yn cyfateb i gyfanswm colled o tua 80 Tg rhwng y ddau gyfnod samplu (gan dybio bod colled o 4.44 Tg y flwyddyn dros gyfnod o 18 mlynedd) er bod nifer amrywiol y blynyddoedd rhwng cyfnodau samplu yn golygu ei bod hi'n anodd amcangyfrif y newid yn fanwl gywir (o'r data a gyhoeddwyd). Cyfrifwyd bod cyfradd gymharol y colledion carbon yn cynyddu yn ôl cynnwys carbon y pridd a'i bod yn fwy na 2% y flwyddyn mewn

priddoedd yng Nghymru a Lloegr a chanddynt gynnwys carbon o fwy na 100 g/kg (10% SOC). Mewn cymhariaeth, nododd Chapman *et al.* (2013) eu bod 95% yn hyderus nad oedd y golled gymedrig ar gyfer yr Alban yn fwy na 0.2%/blwyddyn a 99% yn hyderus nad oedd yn fwy na 0.4% y flwyddyn.



**Tabl 1. Crynodiad (g/kg) a stoc (0-15 cm Tg) SOC ar adeg y broses samplu gychwynnol (1978-1983) a chyfraddau newid blynyddol amcangyfrifedig (Tg/bl) hyd at yr ail broses samplu (1994-2003) (Bellamy *et al.* 2005).**

SOC gwreiddiol (g/kg)	0-20	20-30	30-50	50-100	100-200	200-300	>300
SOC gwreiddiol cymedrig (g/kg)	13.9	24.5	38.5	66.8	137.6	244.5	439.7
Cyfradd newid (g/kg/blwyddyn)	0.34	0.13	-0.10	-0.68	-2.18	-4.00	-7.37
Cyfradd newid gymharol (%/bl)	1.43	0.14	-0.69	-1.84	-2.71	-3.01	-2.35
Cyfanswm SOC (0-15cm) (Tg)*	66.4	111.9	214.8	220.5	92.5	36.5	121.7
Cyfanswm newid (0-15 cm) (Tg/bl)**	1.68	0.66	-0.65	-2.11	-1.32	-0.59	-2.10

\*SOC gwreiddiol x swmp ddwysedd (kg dm<sup>-3</sup>) x dyfnder (m) x arwynebedd (km<sup>2</sup>) x 10<sup>-4</sup> lle mae'r swmp ddwysedd = 1.3 - (0.275 ln(SOC/10)). \*\*Cyfanswm newid = Cyfradd newid x swmp ddwysedd x arwynebedd

## 2.2 Arolwg Cefn Gwlad

- Defnyddiodd Emmett *et al.* (2010) ddata o'r Arolwg Cefn Gwlad i asesu newidiadau mewn crynodiad SOC rhwng 1978 a 1998 a rhwng 1998 a 2007. Yn fras, casglwyd samplau pridd o sgwariau grid 1 km x 1 km a ddewiswyd ar hap o fewn 32 (neu 45 o 1998) o ddsbarthiadau tir (a oedd yn deillio o ddadansoddiad ystadegol o 40 o newidynnau amgylcheddol gan gynnwys hinsawdd, priddoedd, topograffi a daeareg) yn 1978, 1998 a 2007 (Tabl 2).
- Ar bob achlysur, defnyddiwyd y dull colled wrth danio (LOI) i fesur SOC. Ochr yn ochr â mesuriadau LOI, defnyddiwyd dadansoddydd elfennol i nodi cyfanswm crynodiad C yn y pridd yn 1998 a 2007 ond nid yn 1978. Roedd y dadansoddydd elfennol (Elementar Vario-EL Elementaranalysensysteme GmbH, Hanau, yr Almaen) yn gweithio yn unol â'r egwyddor o hylosgi ocsideiddiol ac yna canfod dargludedd thermol. Yn dilyn hylosgi ym mhresenoldeb gormodedd o ocsigen, llifai'r ocsidau C ac N (a ddadansoddiwyd ar yr un pryd) drwy golofn rydwytho a oedd yn cael gwared ar unrhyw ocsigen dros ben. Yna, câi'r C ei ddal ar golofn wrth i'r N gael ei gludo i ganfodydd. Yna, câi'r C ei ryddhau a'i ganfod ar wahân fel % o bwysau sych pridd.
- Defnyddiwyd ffactor trosi o 0.55 x LOI i drosi'r gwerth LOI yn SOC yn seiliedig ar ganlyniadau'r dadansoddydd elfennol. Ar gyfer samplau 2007, defnyddiwyd mesuriad swmp ddwysedd wedi'i gydaleoli i gyfrifo stoc y carbon. Ar gyfer samplau 1978 a 1998, cyfunwyd swyddogaeth trosglwyddo swmp ddwysedd o  $1.29e^{-0.0206x} + 2.51e^{-0.0003x} - 2.057$  (a gyfrifwyd o'r samplau swmp ddwysedd a gymerwyd yn 2007) â gwerthoedd LOI/crynodiad pridd i amcangyfrif y stoc C yn yr uwchbridd (0-15 cm) ar sail arwynebedd.
- Cyfrifodd Emmett *et al.* (2010) gynnydd mewn SOC rhwng 1978 a 1998 a lleihad rhwng 1998 a 2007, gan olygu na fu unrhyw newid cyffredinol mewn SOC (0-15cm) rhwng 1978 a 2007 (Ffigur 1). Ystyriwyd amrywiaeth o newidynnau esboniadol uniongyrchol ac anuniongyrchol (e.e. pH pridd neu wlybanaeth pridd) er mwyn egluro'r amrywiadau gofodol a thymhorol mewn SOC ond nid oedd y canlyniadau yn argyhoeddiadol. Fodd bynnag, ar gyfer y dosbarth llystyfiant cynefin eang â'r garddwriaeth/cnydau a chwyn roedd colled cyson o ran SOC (Ffigur 2, Ffigur 3, Ffigur 4). Oherwydd y lleihad cysylltiedig yng nghyfanswm N yn y pridd, awgrymodd Emmett *et al.* (2010) y gallai'r lleihad mewn crynodiad/stoc SOC fod o ganlyniad i erydiad, aredig dwfn neu fwy o ddadelfennu.
- Yng Nghymru, ni nodwyd unrhyw newidiadau sylweddol mewn crynodiad SOC rhwng 1998 a 2007; dim ond ar gyfer dau ddsbarth o llystyfiant y nodwyd data oherwydd y nifer bach o samplau a gasglwyd yng Nghymru yn 1978 (Ffigur 5).

- Yn gyffredinol, amcangyfrifodd yr Arolwg Cefn Gwlad mai 1582 Tg oedd stoc SOC Prydain Fawr yn 2007 (Cymru: 159 Tg, Lloegr: 795 Tg a'r Alban: 628 Tg). Mewn cymhariaeth, cyfrifodd Bellamy *et al.* (2005) mai 864 Tg oedd y stoc yng Nghymru a Lloegr (yn 1978), o gymharu â 954 Tg a nodwyd yn yr Arolwg Cefn Gwlad (949 Tg yn 1978).

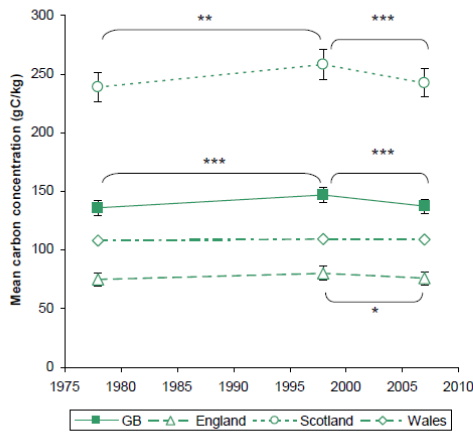
Tabl 2. Y 32 o ddsbarthiadau tir ITE yn 1978, 2000 a 2007 (Ffynhonnell: Wood, 2011)

<i>Nifer</i>			
<b>1978</b>	<b>1998*</b>	<b>2007</b>	<b>Disgrifiad cryno</b>
1	1	1e	Gwlad donnog, amaethyddiaeth amrywiol, glaswelltir yn bennaf.
2	2	2e	Agored, llethrau ysgafn, iseldir yn aml, amaethyddiaeth amrywiol.
3	3	3e	Tir âr gwastad, grawnfwydydd yn bennaf, dim llawer o llystyfiant brodorol.
4	4	4e	Gwastad, amaethyddiaeth ddwys, ardaloedd adeiledig yn bennaf fel arall.
5	5	5e, 5w	Iseldir, tir amgaeedig i ryw raddau, amaethyddiaeth a llystyfiant amrywiol.
6	6	6e, 6w	Gwlad amgaeedig o fryniau a phantiau ysgafn, tir pori ffrwythlon yn bennaf.
7	7/7	7e, 7s, 7w	Arfordirol â morffoleg a llystyfiant amrywiol.
8	8	8e	Arfordirol, morydol yn aml, tir pori yn bennaf, ardaloedd adeiledig fel arall.
9	9	9e	Eithaf gwastad, amaethyddiaeth ddwys agored, ardaloedd adeiledig yn aml.
10	10	10e	Gwastatiroedd lle ceir ffermio dwys, cymysgedd o dir âr a glaswelltir yn aml.
11	11	11e	Gwastatiroedd llifwaddodol cyfoethog, tir agored yn bennaf â thir âr neu dir pori.
12	12	12e	Gwastatiroedd arfordirol ffrwythlon iawn â chnydau cynhyrchiol iawn.
13	13, 13	13e, 13s	Tirffurfiau amrywiol i ryw raddau, gwastad yn bennaf, defnydd tir amrywiol.
14			Gwastatiroedd arfordirol gwastad lle ceir tir âr, wedi'u trefoli yn aml fel arall.
15	15	15e, 15w	Gwaelod dyffrynnoedd lle ceir amaethyddiaeth gymysg, tir bugeiliol yn bennaf.
16	16	16e	Iseldiroedd tonnog, amaethyddiaeth amrywiol a llystyfiant brodorol.
17	17e, 17w1, 17w2, 17w3	17e, 17w1, 17w2, 17w3	Llethrau canolradd llyfngrwn, tir pori parhaol y gellir ei wella yn bennaf.
18	18, 18	18e, 18s, 18w	Bryniau llyfngrwn, rhai llethrau serth, rhostiroedd amrywiol.
19	19, 19	19e, 19s	Bryniau llyfn, rhostiroedd grug yn bennaf, ardaloedd wedi'u coedwigo yn aml.
20			Llethrau yng nghanol y dyffryn, amrywiaeth eang o fathau o llystyfiant.
21	21	21s	Llethrau yn rhannau uchaf dyffrynnoedd, wedi'u gorchuddio â chorsydd yn bennaf.
22	22, 22	22e, 22s	Ymylon mynyddoedd uchel, rhostiroedd, wedi'u coedwigo yn aml.
23	23, 23	23e, 23s	Copaon mynyddoedd uchel, lle ceir rhostiroedd sydd wedi'u draenio'n dda.
24	24	24s	Llethrau serth ar rannau uchaf mynyddoedd, wedi'u gorchuddio â chorsydd fel arfer.

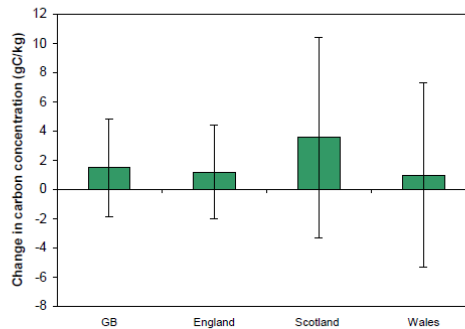
25	25, 25	25e, 25s	Iseldiroedd lle ceir defnydd tir amrywiol, tir âr yn bennaf.
26	26	26s	Iseldiroedd ffrwythlon lle ceir amaethyddiaeth ddwys.
27	27	27s	Ymylon iseldir ffrwythlon lle ceir amaethyddiaeth gymysg.
28	28	28s	Ymylon iseldir amrywiol lle ceir defnydd tir amrywiol.
29	29	29s	Arfordiroedd cysgodol lle ceir defnydd tir amrywiol, crofftio yn aml.
30	30	30s	Arfordiroedd agored â brynau isel sydd wedi'u gorchuddio â chorsydd yn bennaf.
31	31	31s	Arfordiroedd digysgod oer lle ceir defnydd tir amrywiol a chrofftio.
32	32	32s	Arwynebau tonnog anial sydd wedi'u gorchuddio â chorsydd yn bennaf.

\*Er mwyn sicrhau bod modd adrodd ar lefel gwlad, cafodd y dosbarthiadau eu rhannu maes o law yn unedau gwledydd, e.e. mae 18e, 18s ac 18w yn dynodi presenoldeb dosbarth tir 18 yn Lloegr, yr Alban a Chymru, yn y drefn honno.

a)

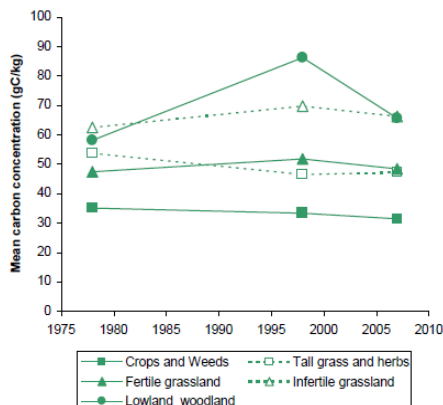


b)

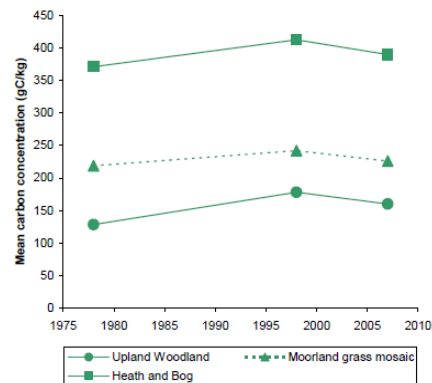


**Ffigur 1.** Newid mewn crynodiad SOC (g/kg 0-15 cm) ar gyfer Prydain Fawr a gwledydd unigol a) dros amser a b) newid net rhwng 1978 a 2007. Gwahaniaethau arwyddocaol: \*\*\* $P < 0.001$ , \*\* $P < 0.01$  a \* $P < 0.05$  (Ffynhonnell: Emmett *et al.*, 2010).

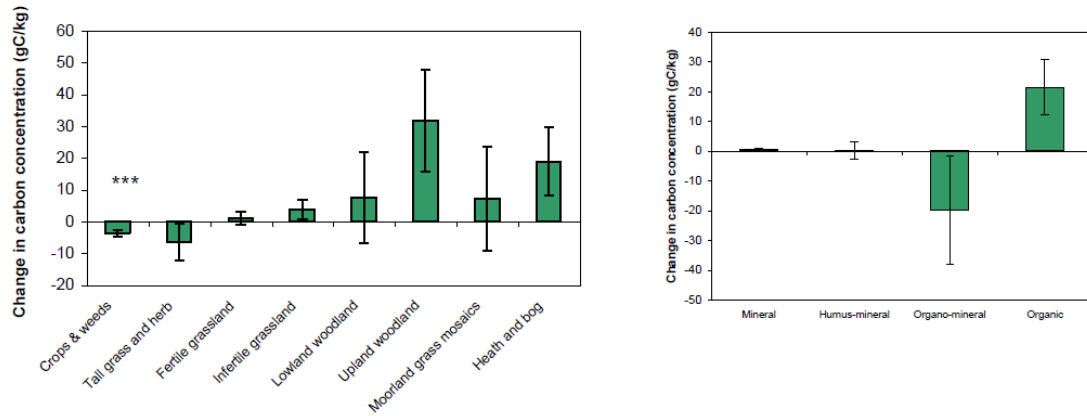
a)



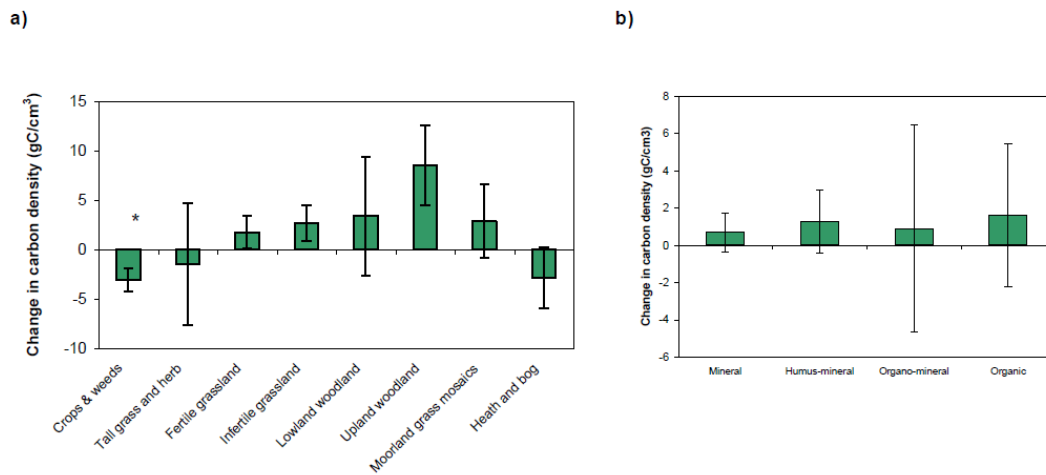
b)



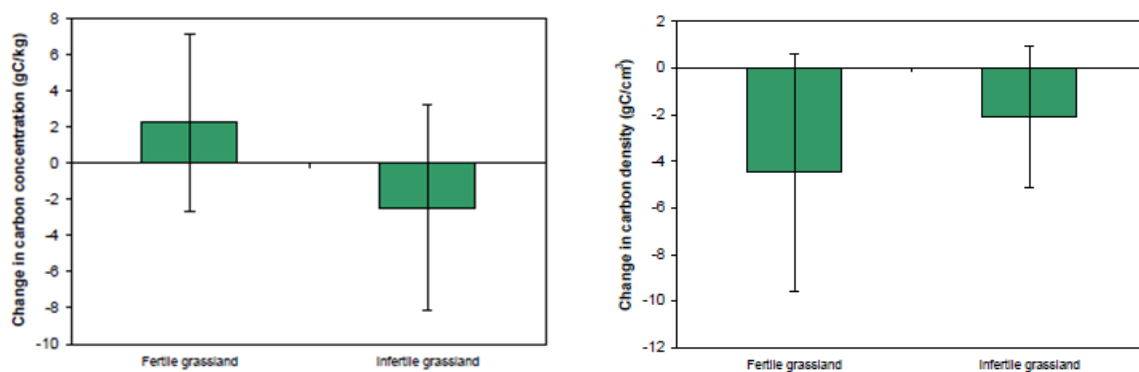
**Ffigur 2. Newid mewn crynodiad SOC (g/kg 0-15 cm) dros amser ar gyfer mathau o ddefnydd tir a) crynodiadau isel-canolig o C mewn uwchbridd a b) crynodiadau uchel o C mewn uwchbridd (Ffynhonnell: Emmett *et al.*, 2010).**



**Ffigur 3. Newid cyffredinol mewn SOC (g/kg 0-15 cm) rhwng 1978 a 2007 yn ôl a) math o ddefnydd tir a b) math o bridd. Gwahaniaethau arwyddocaol: \*\*\* $P < 0.001$  (Ffynhonnell: Emmett *et al.*, 2010).**



**Ffigur 4. Newid cyffredinol mewn dwysedd SOC (g/cm³ 0-15 cm) rhwng 1978 a 2007 yn ôl a) math o ddefnydd tir a b) math o bridd. Gwahaniaethau arwyddocaol: \* $P < 0.05$ . (Ffynhonnell: Emmett *et al.*, 2010).**



**Ffigur 5. Newid mewn a) crynodiad SOC (g/kg 0-15cm) a b) cynnwys SOC (g/cm³ 0-15 cm) ar gyfer Cymru rhwng 1978 a 2007.**

**Tabl 3. Cymharu methodoleg y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd a'r Arolwg Cefn Gwlad ar gyfer monitro carbon organig pridd (SOC)<sup>1</sup>**

	<b>Y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd</b>	<b>Arolwg Cefn Gwlad</b>
Lleoliad y safle	Croestoriad grid 5 km Cynlluniwyd yr NSI i fod yn sampl ddiuedd o dir amaethyddol. Roedd dosbarthiad daearyddol safleoedd i'w hail-samplu yn seiliedig ar gyfran y safleoedd NSI gwreiddiol o dan bob defnydd tir ym mhob rhanbarth MAFF. Defnyddiwyd gwaith dadansoddi ystadegol i nodi nifer y safleoedd y dylid eu hail-samplu er mwyn gallu mesur newidiadau bach mewn SOC. Er enghraifft, yng Nghymru, roedd 7% o'r safleoedd a ailsamplwyd yn dir â, 23% yn wyndwn glaswellt a 70% yn laswelltir parhaol.	Hapsampl haenedig o sgwariau 1 km yn seiliedig ar Ddosbarthiad Tir Athrofa Ecoleg y Ddaear. Roedd y sgwariau sampl yn gynrychiolaeth ar hap o 32 o ddsbarthiadau tir (neu 45 o 1990). Cafodd priddoedd eu samplu o blotiau X CS yr oedd 5 ohonynt wedi'u lleoli ar hap fesul 1 km sgwâr; nid ydynt yn atgynrychiadau oherwydd gall y tir fod yn cael ei ddefnyddio mewn ffyrdd gwahanol.
Nifer y safleoedd	6127 o safleoedd. 5589 o samplau uwchbridd	
Samplu cyntaf	1978-1983	1978 – 256 o safleoedd/tua 1200 o samplau pridd (32 o ddsbarthiadau tir x 8 fesul dosbarth x 5 llain)
Ail	<i>1994-1995</i> Tir â/gwyndwn – 842 o safleoedd <i>1995-1996</i> Glaswellt parhaol – 745 o safleoedd <i>2003</i> Defnyddiau tir eraill (e.e. corydd, coetir ac ati) – 562 o safleoedd  Ar gyfer ailsamplu tir â/gwyndwn a glaswellt parhaol, cafodd y niferoedd eu cyfrifo yn seiliedig ar nifer y samplau yr oedd eu hangen i ganfod newid o 2 g/kg mewn SOC. Ar gyfer defnyddiau tir eraill, cynlluniwyd y dull samplu i ganfod newid o 2 g/kg ar gyfer uwchbriddoedd â <150 g/kg o garbon organig (OC), newid o 5 g/kg lle roedd 150-300g/kg o OC a newid o 10g/kg lle roedd >300g/kg o OC.	<i>1998.</i>  Cymerwyd priddoedd 1.15 m i'r gogledd o ganol llain X. Yn 1978, cymerwyd un sampl o bridd o bob llain X, gan roi cyfanswm o tua 1,200 o samplau.
Trydydd		<i>2007</i> – 591 o safleoedd (2,614 o samplau pridd) Cymerwyd pridd hefyd o blotiau na chawsant eu samplu yn flaenorol.

<sup>1</sup> Trafodir goblygiadau (os o gwbl) amrywiadau mewn methodoleg wrth gyfrifo stoc SOC yn fanylach mewn adrannau dilynol o'r adroddiad.

Dyfnder/nifer y samplau	<p><i>0-15 cm.</i>  O leiaf 25 o greiddiau wrth nodau grid 4 m o fewn sgwâr 20 m x 20 m wedi'i ganoli ar bwynt grid 5 km AO.  Ebill dur ysgafn y gellir ei sgrwio (diamedr o 2.5 cm).  Cafodd y creiddiau eu llenwi yn y cae i roi sampl o tua 1 kg o bridd llaith, a'u rhoi mewn bagiau polythen dwbl</p>	<p><i>0-15 cm</i>  Rhannwyd pob sgwâr yn 5 segment tua'r un arwynebedd. Defnyddiwyd cyfesurynnau a ddewiswyd ar hap ym mhob segment o'r sgwâr i nodi llain 'X' (14.4m x 14.4m neu 200m<sup>2</sup>). Cymerwyd samplau pridd o bob un o'r 5 llain X. 1978.  Defnyddiwyd trywel i gymryd un sampl pridd o bwll yng nghanol pob llain X ar ôl cael gwared ar wastraff planhigion ffres ar wyneb y pridd<sup>2</sup>. 1998 a 2007  Defnyddiwyd digreiddiwr plastig 15 cm o hyd â diamedr o 5 cm i gasglu'r samplau. Gwaredwyd llystyfiant ar yr wyneb. Defnyddiwyd un craidd i fesur SOC o bob llain X, h.y. 5 fesul safle (ond noder nad atgynrchiadau oedd y rhain).</p>
Adleoli safleoedd samplu	<p>Ailymwelodd 3 syrfêwr â 10 safle (gan ddefnyddio'r cyfeirnod grid a'r nodiadau maes i adleoli'r safle) a defnyddiwyd GPS i gofnodi lleoliad y safleoedd; dangosodd cymariaethau mai cywirdeb yr adleoli ar dir amgaeedig oedd ≤20 m ac mai'r cywirdeb ar dir agored oedd ≤50 m. Nid oedd mesuriadau SOC a wnaed 0, 10 a 50 m o'r sampl wreiddiol yn wahanol iawn i'w gilydd (3 atgynhyrchiad) ond roedd y samplau'n amrywio'n fawr ar rai safleoedd (h.y. er bod y cymedr yn debyg, roedd amrediad y gwerthoedd a gofnodwyd ar bob safle yn fawr weithiau).</p>	<p>1990: gosodwyd marcwyr metel parhaol gerllaw cornel ddeheuol y lleiniau X. Lle nad oedd hyn yn bosibl, gosodwyd y plât yn y terfyn cae agosaf ar hyd prif gyfeirlin.</p>
Y ffordd yr ymdriniwyd â'r samplau	<p>Cawsant eu hoeri ar dymheredd o 4°C ar y diwrnod samplu a'u hanfon i'r labordy o fewn pythefnos. Yn y labordy, cafodd y samplau eu hawyrsychu cyn cael eu melino er mwyn iddynt allu pasio drwy ridyll â thyllau â diamedr o 2 mm. Cadwyd hanner y sampl cyn y broses felino.</p>	<p>Gosodwyd y craidd mewn bag plastig wedi'i labelu a gafodd ei selio a'i storio ar dymheredd amgylchol cyn cael ei ddychwelyd i CEH lle y cafodd y samplau eu storio ar dymheredd o 4°C nes iddynt gael eu dadansoddi. 1978. Cafodd y priddoedd eu hawyrsychu ar dymheredd ystafell ac yna'u pasio drwy ridyll â thyllau â diamedr o 2 mm.</p>

<sup>2</sup> Noda Kirk *et al.* (2011) fod y weithdrefn samplu a ddefnyddiwyd yn 1978 wedi dilyn y fethodoleg yn Arolwg Coetiroedd 1971 yn hytrach na'r un yn Llawlyfr CS 1978.



		<p>1998. Cafodd y priddoedd eu pwysu cyn iddynt gael eu hawyrsychu ar dymheredd ystafell ac yna'u pasio drwy ridyll â thyllau â diamedr o 2 mm.</p> <p>2007. Cafodd hyd y craidd ei fesur cyn i'r samplau gael eu hawyrsychu ar dymheredd ystafell ac yna'u pasio drwy ridyll â thyllau â diamedr o 2 mm.</p>
Carbon organig	<p>Samplau 1978-1983: Dull addasedig Walkley-Black (MWB)</p> <p>Samplau 1994-2003: Dull WB ac eithrio ar gyfer priddoedd nad oeddent yn rhai amaethyddol lle y defnyddiwyd dull LOI (colled wrth danio) i ddadansoddi'r rhai â &gt;150 g/kg o OC. (Nid yw'r sampl fach a ddefnyddiwyd ar gyfer MWB yn addas ar gyfer priddoedd organig).</p> <p>Defnyddiwyd yr hafaliad <math>OC=0.5 \times LOI</math> i drosi gwerthoedd LOI yn OC.</p> <p>Yn 2004, er mwyn gweld a oedd gwahaniaethau yn y dulliau a ddefnyddiwyd, defnyddiwyd WB i ailddadansoddi priddoedd cynharach â &gt;150 g/kg o OC nad oeddent yn briddoedd amaethyddol. Nodwyd bod amcangyfrifon LOI yn is.</p> <p>Aeth Kirk <i>et al.</i> ati i ailddadansoddi samplau o'r ail gyfnod samplu (1994-2003) a fesurwyd yn wreiddiol drwy LOI gan ddefnyddio MWB. Yn sgil hynny, cafwyd set ddata lle cafodd y data o'r ddwy sampl eu mesur drwy MWB.</p>	<p>Mesurwyd SOC drwy LOI.</p> <p>Yn 1978 a 2007, maint y sampl oedd 10 g o bridd wedi'i sychu mewn ffwrn ar dymheredd o 375°C am 16 awr.</p> <p>Yn 1998, maint y sampl oedd 1 g o bridd wedi'i sychu mewn ffwrn ar dymheredd o 550°C am <math>\geq 2</math> awr. Wedyn, cafodd 74% o'r samplau eu hailddadansoddi gan ddefnyddio'r un dull a ddefnyddiwyd yn 1978 a 2007. Cywirwyd y gwerthoedd LOI ar gyfer priddoedd 1998 nad oedd modd eu hailddadansoddi gan ddefnyddio hafaliad atchwel a oedd yn deillio o'r samplau a ddadansoddwyd gan ddefnyddio'r ddau ddull.</p> <p>Defnyddiwyd dadansoddiad elfennol (EA) i nodi cyfanswm y C yn y pridd yn 1998 a 2007 hefyd; dangosodd y canlyniadau LOI ac EA fod carbon yn cyfrif am 55% o'r deunydd organig yn y pridd (SOM).</p> <p>Defnyddiwyd yr hafaliad <math>OC=0.55 \times LOI \times 10</math> i drosi gwerthoedd LOI yn OC.</p>
Rheoli ansawdd	Yn seiliedig ar y defnydd o safonau, deunyddiau cyfeirio ardystiedig a chynlluniau dilysu rhwng labordai.	Dilynwyd Codau Ymarfer ar y cyd Defra/NERC. Hefyd, defnyddiwyd samplau cyfeirio ac ailadroddwyd un sampl fesul swp.

## 2.3 SP1101 Defra

- Comisiynwyd y prosiect (SP1101: Cymharu newidiadau mewn carbon uwchbridd yng Nghymru a Lloegr yn ôl amcangyfrifon yr Arolwg Cefn Gwlad a'r Rhestr Genedlaethol o Briddoedd) gan Defra i gymharu canfyddiadau arolygon yr NSI a'r CS yn 2010 a chyhoeddwyd yr adroddiad yn 2011. Cynhaliwyd y prosiect gan staff o Brifysgol Cranfield a'r Ganolfan Ecoleg a Hydroleg, sef y ddau sefydliad a oedd yn gyfrifol am arolygon yr NSI a'r CS, yn y drefn honno. Canolbwyntiodd yr adolygiad ar dri maes allweddol
  - Cymharu cynllun yr arolwg, y broses samplu, dulliau dadansoddi a'r gwaith o ddadansoddi data
  - Defnyddio dull addasedig Walkley Black i ailddadansoddi nifer cyfyngedig o samplau er mwyn sicrhau bod methodoleg gyson wedi'i defnyddio ar draws cyfnodau amser.
  - Gwaith dadansoddi ystadegol ychwanegol o setiau data'r NSI a'r CS.

### 2.3.1 Cymharu cynllun yr arolwg

- Caiff cynllun arolygon yr NSI a'r CS eu cymharu yn Tabl 3. Sefydlwyd y ddau arolwg yn 1978 a chymerwyd samplau o'r un lleoliad hefyd yn 1994–2003 ar gyfer yr NSI ac yn 1998 a 2007 ar gyfer y CS. Yn yr un modd, mae'r ddau wedi dadansoddi SOC o samplau pridd a gymerwyd o 0–15 cm ac, ar gyfer y ddau arolwg, cafodd y pridd ei sychu a'i ridyllu cyn iddo gael ei ddadansoddi mewn labordy. I'r gwrthwyneb, defnyddiodd yr arolygon fethodoleg wahanol i fesur SOC. Dull addasedig Walkley Black (MWB) a ddefnyddiwyd yn bennaf gan yr NSI (ac eithrio ar gyfer priddoedd  $\hat{a} > 150$  g/kg o OC nad oeddent yn rhai amaethyddol, a ddadansoddiwyd drwy LOI), a dull LOI a ddefnyddiwyd gan y CS. Yn ogystal, ar gyfer priddoedd a samplwyd drwy LOI, defnyddiwyd lluosydd gwahanol i drosi LOI (sy'n mesur SOM) yn SOC. Yn yr un modd, roedd y swyddogaeth bedodrosglwyddo, a ddefnyddiwyd i gyfrifo stociau SOC, yn wahanol hefyd (h.y. NSI:  $y = 1.3 - 0.275 \ln(\text{SOC}/10)$ , CS:  $y = 1.29e^{-0.0206x} + 2.51e^{-0.0003x} - 2.027$ ).
- Nododd Emmett *et al.* fod i'r gwahaniaethau mewn ffactorau trosi SOM yn SOC a'r ddau hafaliad BD oblygiadau i'r amcangyfrifon o'r stoc C yn yr uwchbridd. Mae amcangyfrif CS ar gyfer cyfanswm stoc C yn yr uwchbridd ar gyfer Cymru a Lloegr yn 1978, sef 949 Tg, yn seiliedig ar ffactor trosi SOM yn SOC o 0.55. I'r gwrthwyneb, mae amcangyfrif yr NSI yn seiliedig ar ffactor trosi o 0.5. Pe bai ffactor trosi'r NSI, sef 0.5, yn cael ei gymhwyso at ddata'r CS, cyfanswm stoc C yr uwchbridd ar gyfer Cymru a Lloegr yn 1978 fyddai 863, sy'n debyg iawn i'r amcangyfrif o 864 Tg a nodwyd gan Bellamy *et al.* (2005).
- At hynny, mae hafaliadau BD gwahanol yn cynhyrchu amcangyfrifon o'r stoc C ar grynodiadau C penodol sy'n amrywio'n fawr; amcangyfrifodd Bellamy *et al.* (2005) fod gan briddoedd yng Nghymru a Lloegr a oedd yn cynnwys  $> 300$  g C/kg yn 1978 gyfanswm stoc C yn yr uwchbridd (0–15 cm) o 122 Tg (Tabl 1). Byddai defnyddio hafaliad y CS i amcangyfrif y stoc C yn yr uwchbridd ar gyfer yr un priddoedd yn lleihau'r gwerth hwn i tua 73 Tg ac, ar yr un sail, yn lleihau'r C amcangyfrifedig a gollwyd o'r priddoedd hyn o 2.1 i tua 1.2 Tg/blwyddyn. Fodd bynnag, nid yw'r canlyniadau hyn yn egluro'r tueddiadau gwahanol mewn crynodiad a stociau yn yr uwchbridd a nodir yn y ddau arolwg.
- Mae gwead y pridd wedi'i nodi fel ffactorau sy'n rheoli SOC. Mae data ar ddsbarthiad gronynnau o wahanol faint (h.y. % clai, silt a thywod) ar gael ar gyfer yr NSI. Fodd bynnag, cafodd samplau'r CS eu gweadu â llaw a'u dyrannu'n ddsbarthiadau gweadol eang (e.e. tywod neu glai). Mae'r gwahaniaeth hwn yn y fethodoleg a ddefnyddiwyd i bennu gwead y pridd yn ei gwneud hi'n anodd cymharu'r ddau arolwg (yn seiliedig ar wead priddoedd gwahanol) (gweler SPEP2018-19/12 Adolygiad Technegol o'r Ddsbarthiad Tir Amaethyddol Rhan 1, Adran 7.3.

'Comparison of hand texturing with laboratory determination' (Rollet a Williams, 2019) am ragor o wybodaeth).

### 2.3.2 Ailddadansoddi

- Fel y nodwyd uchod, cafodd samplau'r NSI ag OC > 150 kg nad oeddent yn rhai amaethyddol eu dadansoddi gan ddefnyddio LOI yn hytrach na MWB. Gwnaed hyn oherwydd ystyriwyd bod LOI yn rhoi canlyniadau mwy cywir ar gyfer priddoedd â chryn dipyn o ddeunydd organig. Fodd bynnag, mae'r newid dull hwn yn arwain at rywfaint o ansicrwydd wrth gymharu'r ddwy gyfres o samplau. O ganlyniad, defnyddiodd Kirk *et al.* (2011) MWB i ailddadansoddi 100 o'r 129 o samplau a ddadansoddwyd yn wreiddiol drwy ddull LOI (roedd 29 o'r samplau naill ai ar goll neu nid oedd digon o'r sampl ar ôl i'w hailddadansoddi). Dangosodd cydberthyniad (cyfernod o 0.963) a oedd yn cymharu canlyniadau LOI â'r gwerthoedd MWB newydd mai 7.69 g/kg oedd y gwahaniaeth cymedrig rhwng y dulliau; ar gyfartaledd, roedd SOC yn uwch pan gafodd ei fesur drwy ddull MWB o gymharu â dull LOI. Nododd Kirk *et al.* (2011) mai tuedd fach ond ystadegol bwysig a gyflwynwyd gan y newid mewn dull labordy oedd hon. Er mwyn cadarnhau nad oedd SOC yn y samplau a archifwyd wedi newid dros amser, ailddadansoddwyd nifer o'r samplau a ddadansoddwyd yn wreiddiol drwy MWB gan ddefnyddio'r un dull, a chymharwyd y canlyniadau. Dangosodd y cydberthyniad (cyfernod o 0.985) fod gwahaniaeth o -2.40 g/kg (y sampl a ddadansoddwyd yn wreiddiol llai'r sampl a ailddadansoddwyd), gan ddangos mai dim ond newid bach a fu o ganlyniad i storio'r sampl neu ffyrdd gwahanol o ddefnyddio'r dull MWB.

### 2.3.3 Dadansoddiadau ystadegol ychwanegol

- Er mwyn archwilio'r gwahaniaethau rhwng y ddau arolwg ymhellach, gwnaeth Kirk *et al.* (2011) rywfaint o waith dadansoddi ystadegol ychwanegol ar y ddwy set ddata. Fel rhan o'r gwaith dadansoddi, gwnaed nifer o addasiadau i'r data, h.y.
  - pwysoli samplau CS unigol (er enghraifft, lle roedd gan ddsbarthiadau tir CS fwy o samplau nag y byddai'n ddisgwylidig ar gyfer eu hardal, rhoddwyd pwysoliadau is iddynt) er mwyn gallu eu cymharu â'r NSI.
  - Er mwyn hwyluso'r broses gymharu, cafodd data'r NSI eu normaleiddio i gyd-fynd â chyfyngau a blynyddoedd samplu'r CS drwy dybio bod y newidiadau'n rhai llinol.
  - Defnyddiwyd y canlyniadau labordy newydd ar gyfer samplau NSI ag OC > tua 150 g/kg a gasglwyd drwy ddefnyddio dull MWB, yn lle'r gwerthoedd a gasglwyd yn wreiddiol drwy ddefnyddio LOI.
  - Cafodd samplau eu dyrannu i fathau eang o ddefnydd tir yn seiliedig ar y categorïau a ddiffiniwyd ar gyfer yr NSI: h.y. tir â'r glaswellt cylchdro; glaswellt parhaol; coetiroedd/coedwigoedd; a phopeth arall.
  - Ar gyfer pob arolwg, cafodd dosbarthiad cynnwys OC ei asesu ar draws y dosbarthiadau canlynol: 0–20, 20–30, 30–50, 50–100, 100–300, >300 g/kg.

### 2.3.4 Canlyniadau gwaith cymharu ystadegol ychwanegol

- Nid oedd unrhyw wahaniaeth sylweddol rhwng y cynnwys OC cymedrig a nodwyd gan y ddau arolwg yn 1978. Fodd bynnag, roedd y cynnwys OC a nodwyd gan y ddau arolwg yn 1998 yn wahanol. Nodwyd mai'r gyfradd newid flynyddol ar gyfer yr NSI rhwng 1978 a 1998 oedd -0.68 g/kg/blwyddyn, o gymharu â 0.24 g/kg/blwyddyn ar gyfer CS. Y gyfradd newid flynyddol ar gyfer y CS rhwng 1998 a 2007 oedd -0.40 g/kg/blwyddyn; mewn cymhariaeth, y gyfradd newid flynyddol rhwng 1978 a 2007 oedd 0.04 g/kg/blwyddyn (Tabl 4a).
- Er bod y lefelau OC cymedrig ar gyfer 1978 yn debyg yn y ddau arolwg, nid yr un dosbarthiadau OC a ddefnyddiwyd i gyfrifo'r ffigurau cymedrig. Roedd cyfran fwy o'r boblogaeth yn arolwg

gwreiddiol yr NSI yn deillio o'r dosbarth OC isaf (0-20 g/kg): CS 10% o'r sampl; NSI 19% o'r sampl) a chyfran lai yn y dosbarth canolradd o gymharu â phoblogaeth y CS ar gyfer 1978 (Tabl 4b). Pan roddwyd y data mewn grwpiau yn unol â'r dosbarthiadau OC yn Nhabl 4, roedd gwahaniaethau sylweddol rhwng yr arolygon o ran cyfradd newid SOC yn y dosbarthiadau isel a chanolradd; roedd gwahaniaethau mawr yn y dosbarthiadau uchaf ond nid oeddent yn arwyddocaol (Ffigur 6).

- Dangosodd canlyniadau'r dadansoddiadau newydd gan Kirk *et al.* (2011) fod gwahaniaeth mawr yn y newidiadau cymedrig mewn OC rhwng 1978 a 1998 yn ôl defnydd tir rhwng y ddwy set ddata (Tabl 4c). Er enghraifft, ar gyfer tir â'r glaswellt cylchdro (AR/LE), nododd yr NSI fod newid cymedrig o  $-7.9 \pm 2.7$  g/kg rhwng 1978 a 1998. Mewn cymhariaeth, nododd CS newid cymedrig o  $-3.7 \pm 4.8$  g/kg.

**Tabl 4. Cymharu ffigurau amcangyfrifedig\* yr Arolwg Cefn Gwlad (CS) a'r Rhestr Genedlaethol o Briddoedd (NSI) ar gyfer a) SOC cymedrig (cyfyng hyder o  $\pm 95\%$ ) a newid mewn SOC dros amser, b) cyfran y samplau ym mhob dosbarth SOC ac c) y newid cymedrig (cyfyng hyder o  $\pm 95\%$ ) mewn SOC ar gyfer mathau eang o ddefnydd tir**

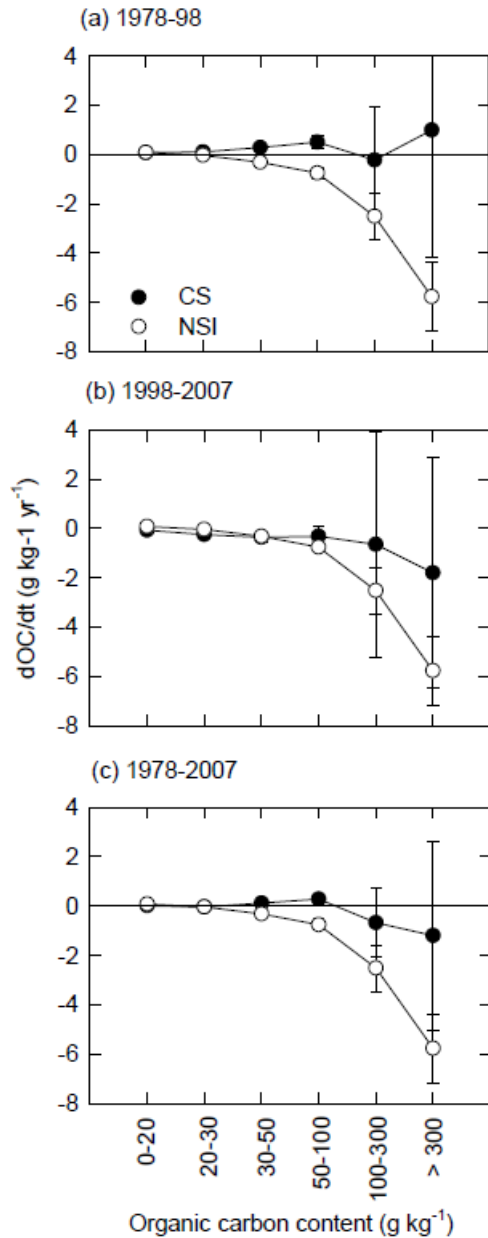
a)	C organig (g/kg)			Newid mewn OC (g/kg/blwyddyn)		
	1978	1998	2007	1978-1998	1998-2007	1978-2007
CS	$79.2 \pm 10.8$	$83.9 \pm 10.6$	$80.3 \pm 9.6$	$0.24 \pm 0.26$	$-0.40 \pm 0.54$	$0.04 \pm 0.20$
NSI	$70.0 \pm 4.6$	$56.3 \pm 3.4$		$-0.68 \pm 0.12$		

b)	CS 1978		NSI 1978		Gwahaniaeth
	n	%	n	%	
Dosbarth OC (g/kg)					
0-20	73	10.4	1061	18.7	+8.3
20-30	150	21.4	1158	20.5	0.9
30-50	238	34.0	1607	28.4	-5.6
50-100	147	21.0	1140	20.1	-0.9
100-300	63	9.0	313	5.5	--3.5
>300	30	4.3	383	6.8	+2.4
<b>Cyfanswm</b>	<b>701</b>	<b>100</b>	<b>5662</b>	<b>100</b>	

c)	CS		NSI	
	N	Newid cymedrig (g/kg)	N	Newid cymedrig (g/kg)
Tir â'r/gwyndwn	82	$-3.7 \pm 4.8$	842	$-7.9 \pm 2.7$
Glaswellt parhaol	197	$+7.3 \pm 4.9$	745	$-10.8 \pm 3.1$
Coed	25	$+56.7 \pm 44.9$	204	$-10.4 \pm 9.7$
Arall	35	$+12.9 \pm 72.4$	358	$-36.7 \pm 10.7$
Cymysg**	92	$-7.1 \pm 13.2$		

\*Mae'r gwerthoedd yn y tablau yn werthoedd amcangyfrifedig sy'n seiliedig ar ddadansoddiadau ychwanegol gan Kirk *et al.*, 2011

\*\*Newid mewn defnydd tir rhwng y samplau



**Ffigur 6. Newidiadau mewn OC rhwng dyddiadau samplu'r CS a'r NSI wedi'u grwpio yn ôl dosbarthiadau OC. Mae'r ffigurau cymedrig a'r cyfyngau hyder yn deillio o ddata wedi'u pwysoli.**

### 2.3.5 Casgliadau

- Daeth Kirk *et al.* (2011) i'r casgliad canlynol:
  - Nid newid yn y dull labordy a ddefnyddiwyd gan yr NSI ar gyfer OC oedd yn gyfrifol am y gostyngiadau mawr mewn C yn yr uwchbridd a welwyd rhwng y samplau cyntaf a'r ail samplau. Dangosodd y gwaith o ailddadansoddi'r samplau cyntaf a archifwyd fod y newid mewn methodoleg wedi cael effaith fach ar y SOC a fesurwyd, ond bod yr effaith yn rhy fach i egluro'r newidiadau a welwyd mewn SOC rhwng yr arolwg cyntaf a'r ail arolwg.
  - Ni fyddai'r dulliau samplu gwahanol (CS: 1 craidd o bob un o'r 5 llain X; NSI: 25 o greiddiau mewn 1 sampl) yn achosi'r newidiadau a welwyd ac ni fyddent yn debygol o arwain at unrhyw duedd gyson ar raddfa genedlaethol. Yn yr un modd, ni fyddai cyfeiliornadau adleoli yn debygol o arwain at unrhyw duedd yn yr amcangyfrifon newid ar raddfa genedlaethol.

- Mae'n llawer anos canfod newid cyfrannol mewn SOC pan fo lefel gychwynnol SOC yn isel. Mae'r ddau arolwg yn dosbarthu safleoedd yn ddsbarthiadau SOC mewn ffyrdd gwahanol (mae'r NSI yn cynnwys mwy o safleoedd â SOC cychwynnol isel ar gyfartaledd) ac mae hyn yn golygu bod y broses o ddehongli newidiadau yn y stoc SOC a fesurwyd yn fwy cymhleth.
- Er bod rhai o'r esboniadau posibl am y gwahaniaethau rhwng y ddau arolwg wedi'u diystyru, ni nodwyd unrhyw ffactorau a allai roi eglurhad pendant ynghylch y gwahaniaethau.

### **3 Dulliau ar gyfer mesur deunydd organig pridd a charbon organig pridd**

#### **3.1 Deunydd organig pridd o gymharu â charbon organig pridd**

- Bydd pobl yn aml yn drysu rhwng deunydd organig pridd (SOM) a charbon organig pridd (SOC) ac yn eu defnyddio'n gyfnewidiol ar gam; bydd carbon pridd pellach (h.y. carbon organig ac anorganig) hefyd yn cael ei ddefnyddio ar gam weithiau. Fodd bynnag, er bod carbon organig pridd yn un elfen o ddeunydd organig, nid yw'n gyfystyr â deunydd organig, sydd hefyd yn cynnwys elfennau eraill fel hydrogen, ocsigen a nitrogen yn ogystal â deunyddiau planhigion/anifeiliaid ffres (byw) a dadalfenedig (marw) (FAO, 2019). Mae'r rhan 'fyw' yn cynnwys gwreiddiau planhigion a micro-organebau ac mae'r rhan 'farw' fwy o faint yn cynnwys gwastraff gwreiddiau a dail, gronynnau ysgafn (cyfansoddion organig dŵr-hydawdd) a deilbridd (yr elfen fwyaf o'r rhan 'farw').
- Mae'r gronfa garbon yn y pridd yn cynnwys carbon organig (deunyddiau sy'n deillio o blanhigion ac anifeiliaid yn dadelfennu) a charbon anorganig. Y ffurfiau mwyaf cyffredin ar garbon anorganig yw carbonadau o ffynonellau daearegol neu famgraig.
- Mae angen nodi'n fanwl newidiadau mewn stociau SOC er mwyn deall rôl priddoedd yn y cylch carbon byd-eang a dilysu newidiadau mewn stociau oherwydd ffactorau rheoli (Schrumpf *et al.*, 2011). Felly, er bod amcangyfrifon o garbon pridd yn seiliedig ar amcangyfrifon wedi'u trosi o ddeunydd organig yn gallu bod yn ddefnyddiol, os mai diben astudiaeth yw mesur carbon pridd, yna dylai'r carbon gael ei fesur yn uniongyrchol yn hytrach na'i amcangyfrif o fesuriad o rywbeth y tybir ei fod yn ddeunydd organig.

#### **3.2 Colled wrth danio**

- Dull cyflym a chymharol rad o amcangyfrif deunydd organig yn uniongyrchol yw Colled wrth Danio (LOI). Fodd bynnag, ymddengys mai hwn yw'r dull mwyaf dadleuol hefyd (Pribyl, 2010). Mae rhai awduron yn ei argymhell tra bo eraill yn feirniadol ohono (e.e. De Vos *et al.*, 2005). Mae dull LOI yn rhoi amcangyfrif o gynnwys SOM ond nid yw'n rhoi gwybodaeth uniongyrchol am gynnwys SOC, sydd fel arfer yn cyfrif am rhwng 43% a 58% ohono (FAO, 2019). Un rhagdybiaeth bwysig yw mai dim ond drwy hylosgi SOM y ceir LOI a bod cynnwys SOC mewn SOM yn gyson (Christensen a Mamros, 1982 a ddyfynnwyd gan Pribyl, 2010).
- Mae'r egwyddor sylfaenol yn syml: cynnwys SOM yw'r gwahaniaeth rhwng màs y pridd cyn ac ar ôl iddo gael ei danio ar dymereddau uchel (rhwng 350°C a 500°C fel arfer). Mae cywirdeb y rhagdybiaeth honno yn dibynnu ar yr amser a'r tymheredd tanio, ac ar gyfansoddiad y sampl. Mae'n rhaid i'r tymheredd a ddefnyddir ar gyfer LOI fod yn ddigon uchel i waredu deunydd organig yn gyfan gwbl ond yn ddigon isel i atal mwynau clai rhag cael eu dadhydrocsyleiddio (pan fydd hydrogen yn cael ei ychwanegu at grŵp hydrocsyl ac yn creu dŵr ac alcyl) a charbonadau rhag cael eu hocsyleiddio (Wang *et al.*, 2012). Wrth i swm y deunydd organig mewn sampl gynyddu, mae'n anoddach gwaredu'r deunydd organig yn gyfan gwbl, ac wrth i swm y deunydd organig leihau, mae'n fwy tebygol y caiff clai ei ddadhydrocsyleiddio (Pribyl,

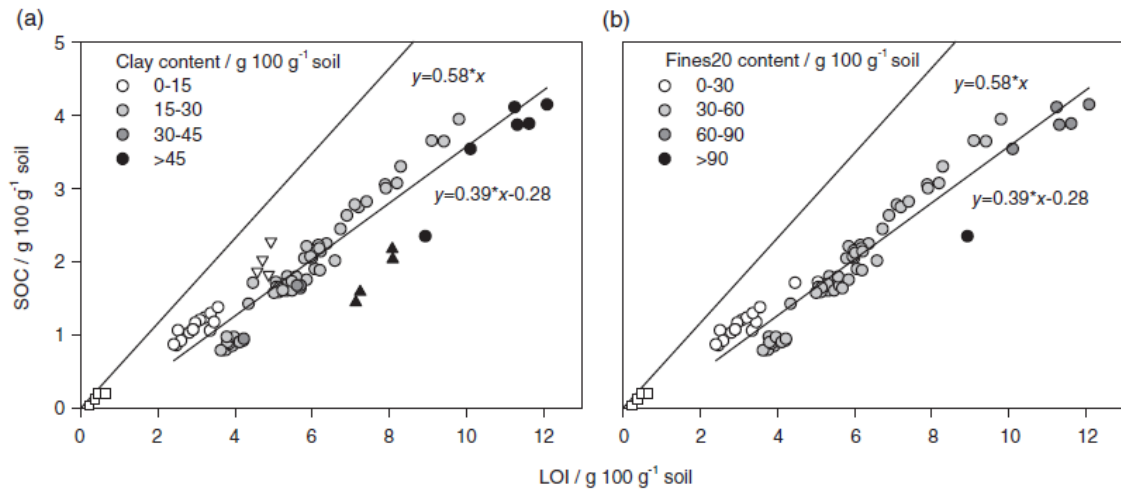
2010). Yn gyffredinol, os bydd y tymheredd tanio yn aros islaw tua 450°C, disgwylir y byddai modd gwaredu deunydd organig yn ddigonol heb fawr ddim dadhydrocsyleiddio na cholli carbonadau (Nelson a Sommers, 1996 a ddyfynnwyd gan Pribyl, 2010). Gall methu â sychu'r sampl yn ddigonol ar dymheredd isel cyn gwaredu'r deunydd organig ar dymheredd uchel chwyddo'r amcangyfrif o'r deunydd organig yn y sampl oherwydd tybir mai deunydd organig yw'r pwysau a gollir wrth waredu dŵr hydradu.

- Nid oes protocol safonol ar gyfer dadansoddi LOI, ond mae'n dra hysbys bod y tymheredd tanio, hyd y tanio a màs y sampl a gaiff ei thanio yn effeithio ar LOI, (e.e. Salehi *et al.*, 2011; Hoogsteen *et al.*, 2015). Mae cyfeiliornadau dadansoddol yn dibynnu hefyd ar wahaniaethau o ran priodweddau pwysig pridd, fel faint o clai sydd ynddo, y math o glai a faint o garbonadau a sescwosidau sydd ynddo (FAO, 2019). Mae gwahaniaethau o'r fath yn golygu bod safoni dull LOI yn her. Er enghraifft, dylid cymryd rhagofalon arbennig wrth gymhwyso'r dull at briddoedd carbonaidd iawn (h.y. priddoedd sy'n cynnwys llawer o garbonadau) a phriddoedd sy'n cynnwys haearn rhydd.
- Manteision dull LOI yw: mae'n syml i'w roi ar waith, nid oes angen ymweithredyddion a gellir dadansoddi samplau mawr. Gall samplau mawr arwain at lai o gyfeiliornadau dadansoddol gan fod màs y sampl yn fwy cynrychioliadol (FAO, 2019).
- Prif anfantais LOI yw nad yw'n darparu mesuriad uniongyrchol o SOC. Hefyd, mae diffyg protocol safonol ar gyfer mesur LOI yn cymhlethu cymariaethau rhwng arolygon neu arbrofion gwahanol. O ganlyniad, mae'r FAO (2019) yn awgrymu y dylid defnyddio dulliau eraill lle y bo'n bosibl. Fodd bynnag, erys LOI yn ddull cyffredin o asesu SOC mewn priddoedd amaethyddol a phriddoedd coedwigoedd, gyda LOI yn cael ei drosi'n SOC naill ai drwy ffactor trosi sefydlog neu drwy ddadansoddiadau atchwel.

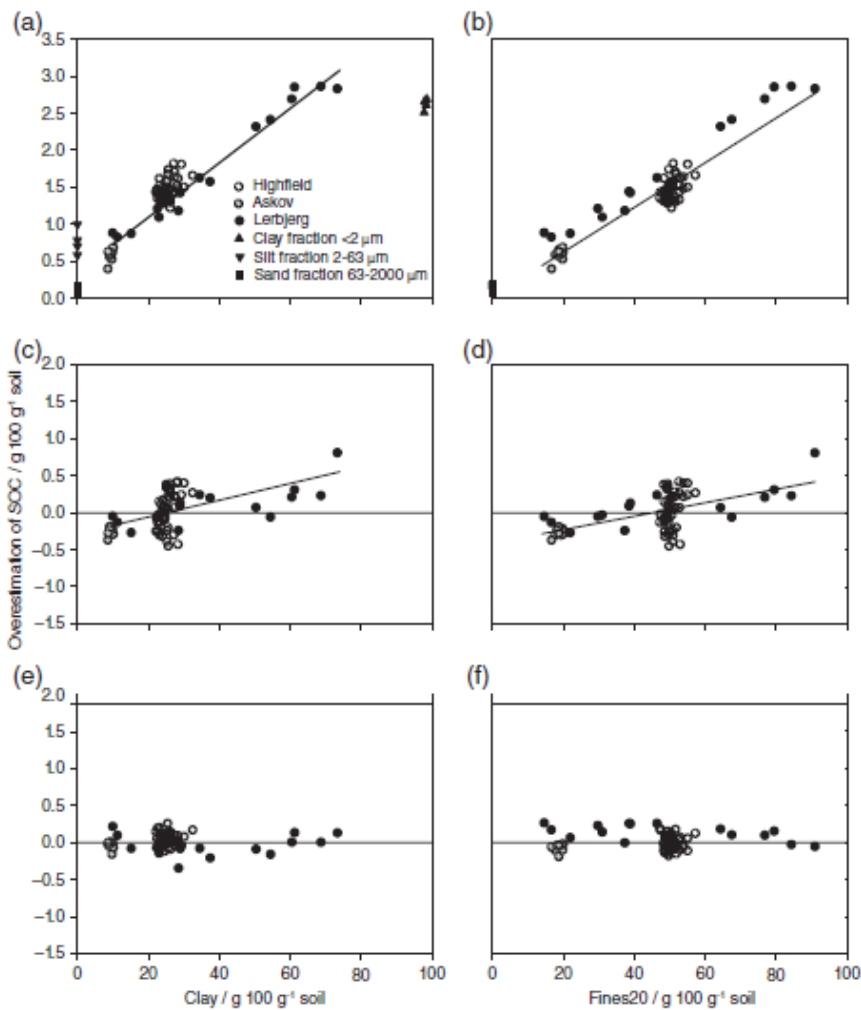
### 3.2.1 Trosi SOM yn SOC

- Y ffactor confensiynol (Van Bemmelen) ar gyfer trosi SOM yn SOC yw 0.58, neu 1.724 ar gyfer trosi SOC yn SOM) (Van Bemmelen, 1891) er bod adolygiad o'r llenyddiaeth yn 2010 yn awgrymu y byddai 2 (neu ei ffactor gwrthdro, 0.5) yn ffactor trosi mwy priodol (Pribyl, 2010). Yn fwy diweddar, nododd Jensen *et al.* (2018) ffactorau trosi o 0.45-0.52 yn seiliedig ar y gydberthynas rhwng SOC (wedi'i fesur gan ddadansoddydd elfennol a LOI) (Ffigur 7) ar gyfer tair set ddata (un o'r DU a dwy o Ddenmarc). Roedd cydberthynas gadarnhaol gref rhwng LOI a SOC ( $SOC = 0.39 \times LOI - 0.28$ , Ffigur 7A); yn gyffredinol, roedd priddoedd tywodlyd uwchlaw'r llinell atchwel ac roedd priddoedd cleiog oddi tani. Roedd yr holl bwyntiau islaw'r llinell a gynrychiolai'r ffactor trosi confensiynol o 0.58, gan olygu y byddai'r cynnwys SOC yn cael ei oramcangyfrif pe bai'r ffactor hwn yn cael ei ddefnyddio. Er enghraifft, ar gyfer sampl â LOI o 4 g/100g, byddai'r ffactor trosi confensiynol yn rhagweld cynnwys SOC o 2.32 g/100g. Mewn cymhariaeth, ar gyfer yr un LOI (4 g/100g), byddai'r hafaliad yn Ffigur 7 yn rhagweld SOC o 1.28 g/100g.
- Yn ôl dadansoddiad pellach, pan ddefnyddiwyd y ffactor trosi confensiynol o 0.58, cynyddodd y goramcangyfrif o SOC yn sylweddol wrth i'r cynnwys clai (gronynnau mwynol <2 µm) a Fines20 (gronynnau mwynol <20 µm (Ffigur 8 ab) gynyddu. Er enghraifft, wrth ddefnyddio'r ffactor trosi o 0.58 i drosi LOI yn SOC, rhoddwyd goramcangyfrif o tua 1 g/100g pan oedd 20% o'r cynnwys yn glai a goramcangyfrif o rhwng 2.5 a 3 g/100g pan oedd 60% ohono yn glai. Mewn cymhariaeth, gwnaeth y model atchweliad yn Ffigur 7 ( $SOC = 0.39 \times LOI - 0.28$ ) oramcangyfrif SOC ar gyfer priddoedd â chynnwys clai o fwy na 30% a chynnwys Fines20 o fwy na 50% hefyd, ond tanamcangyfrifodd SOC pan oedd lefelau is o glai (Ffigur 8 cd). Gwaredwyd y cyfeiliornad systematig (Ffigur 8 ef) drwy gynnwys ffactor clai neu Fines20 cwadratig (newidyn i'r pŵer) ac ychydig iawn o wahaniaeth oedd rhwng y SOC a ragweldwyd a'r SOC a fesurwyd (h.y. mae'r holl

bwyntiau ar y siart yn eistedd ar, neu o amgylch, 0 felly nid yw SOC wedi'i oramcangyfrif na'i danamcangyfrif).



**Ffigur 7. SOC fel swyddogaeth LOI ar gyfer samplau wedi'u grwpio yn ôl a) cynnwys clai a b) gronynnau mwynol pridd <20 µm. Dangosir y llinell sy'n cynrychioli'r gydberthynas gonfensiynol rhwng LOI a SOC (SOC = 0.58 x LOI) hefyd (Ffynhonnell: Jensen *et al.*, 2018).**





**Ffigur 8. Goramcangyfrif (gwerthoedd a ragwelwyd llai gwerthoedd a fesurwyd) SOC fel swyddogaeth gronynnau clai neu fwynol <20 µm (Fines20), a) a b) SOC = LOI x 0.58, c) i f) SOC, wedi'i amcangyfrif yn seiliedig ar gydberthnasau a fodelwyd. (Ffynhonnell: Jensen *et al.*, 2018).**

### 3.3 Dull Walkley Black

- Mae dull Walkley a Black (1934) (WB) yn defnyddio ïonau deugromad ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ) i ocsideiddio cyfansoddion carbon organig (ocsideiddio gwlyb cyflym) ac yna defnyddio sylffad amoniwm fferus i ymgymryd â phroses titradu sy'n lleihau ocsideiddio. Mae awduron wedi nodi y gall y dull hwn arwain at ocsideiddio C organig yn anghyflawn, a threulio ffurfiau C elfennol yn wael (Wallace *et al.*, 2011). Yn ogystal, nododd Walkley (1947) mai dim ond 2-11% o SOC yr oedd dull WB yn ei adfer mewn deunyddiau wedi'u carboneiddio.
- Dangosodd Walkley a Black (1934) fod rhwng 60% ac 86% o C organig yn cael ei adfer gan ddefnyddio gweithdrefn WB, gyda 76% yn cael ei adfer ar gyfartaledd (cymhwysir ffactor cywiro o 1.33 at y canlyniadau fel arfer er mwyn addasu'r ffigur adfer C organig). Arweiniodd hyn at ddatblygu dull addasedig lle nad oedd angen ffactor cywiro (Tinsley, 1950 a Mebius, 1960). Roedd y dull WB addasedig (MWB) yn cynnwys gwresogi'r sampl yn helaeth yn ystod y broses dreulio. Fodd bynnag, mae angen rheoli'r tymheredd yn ofalus oherwydd y gall deugromad asid ddadelfennu uwchlaw 150°C. Ni chaiff MWB ei ddarparu gan labordai masnachol mwyach gan fod yr ymweithredyddion cromiwm yn garsinogenig ac mae'n rhaid sefydlogi'r gweddillion cyn eu gwaredu ar safleoedd tirlenwi. Caiff deugromad potasiwm ei restru fel sylwedd sy'n peri llawer iawn o bryder o ran proses reoleiddio REACH felly mae angen awdurdodiad i'w ddefnyddio.
- Dim ond sampl pridd fach (rhwng 0.3 a 0.5 g) sydd ei hangen er mwyn defnyddio dull MWB. Fodd bynnag, mae'r dull yn un llafurddwys, mae'n gofyn am lawer iawn o sgiliau dadansoddi, mae'n defnyddio ocsidau ac asidau cryf y mae'n rhaid eu gwresogi, ac mae'n cynhyrchu gwastraff peryglus. Anfantais arall, ar wahân i ddeunydd anhydryn fel siarcol, yw y gall presenoldeb ocsidau haearn a manganês mewn priddoedd hindreuliedig arwain at gyfeiliornadau. Yn dibynnu ar y math o bridd a'r cynnwys C, gall y tanamcangyfrif fod yn sylweddol (Davis *et al.*, 2018).

### 3.4 Dulliau hylosgi sych

- Dull uniongyrchol sy'n mesur cynnwys SOC drwy ddefnyddio proses hylosgi ar dymereddau uchel (1000°C) mewn dadansoddydd elfennol yw hylosgi sych (Wallace *et al.*, 2011). Cynhelir y weithdrefn fel arfer mewn ocsigen pur er mwyn sicrhau hylosgiad cyflawn. Y cynnyrch terfynol yw  $\text{CO}_2$ , a fesurir drwy gromatograffi nwy gan ddefnyddio canfodydd dargludedd thermol neu ïoneiddio fflam (FAO, 2019). Caiff carbonadau anorganig (rhan o gronfa carbon anorganig y pridd (SIC)) eu gwaredu drwy asideiddio cyn y broses ddadansoddi. Fel arall, cânt eu mesur yn anghywir fel rhan o'r gronfa SOC. Ar y llaw arall, defnyddir gweithdrefn ar wahân i fesur y carbon anorganig yn y sampl, a chaiff y swm ei dynnu o gyfanswm C ar ôl prosesu. Yn absenoldeb carbondau anorganig, ystyrir mai hylosgi sych yw'r ffordd fwyaf dibynadwy o fesur SOC (Roper *et al.*, 2019).
- Ymhlith y prif fanteision mae cywirdeb (cymerir y canlyniadau yn uniongyrchol o'r offeryn), hylosgiad cyflawn yr holl SOC, a phrosesu cyflym. Ymhlith yr anfanteision mae cost yr offerynnau labordy a'r sampl fach (8-10 mg i > 1 g, yn dibynnu ar yr offer) a all gynyddu'r risg o gyfeiliornadau a achosir gan broses is-samplu anghynrychioliadol (FAO, 2019).

### 3.5 Dulliau eraill

- Mae dulliau sbectrol newydd o fesur crynodiad a stociau SOC yn cael eu datblygu'n gyflym ar gyfer mesur SOC yn uniongyrchol mewn labordai ac yn y maes, ond hefyd ar gyfer mesur patrymau ar raddfa fwy ar draws tirweddau a rhanbarthau (Smith *et al.*, 2020). Mae sbectrosgopeg priddoedd yn defnyddio'r rhyngweithio rhwng ymbelydredd electromagnetig a deunydd mwynol ac organig i nodweddu cyfansoddiad ffisegol a biocemegol priddoedd (FAO, 2019). Caiff golau ei ddisgleirio ar sampl pridd a bydd priodweddau'r golau adlewyrchedig (gweledol-lled-isgoch, lled-isgoch, neu isgoch canolig) yn cynrychioli dirgryniadau molecwaid sy'n ymateb i gyfansoddiad mwynol ac organig priddoedd. Caiff golau a adlewyrchir neu a amsugnir ei gasglu gan ganfodydd ar donfeddi gwahanol a defnyddir model mathemategol (yn seiliedig ar setiau data llyfrgell sbectrol) i amcangyfrif SOC. Gellir defnyddio'r llyfrgelloedd sbectrol hyn hefyd i galibradu sbectromedrau maes, ond byddant yn aml yn llai cywir, a hynny'n bennaf oherwydd gwlybanaeth y pridd a garwder yr wyneb (Smith *et al.*, 2020).

### 3.6 Cymharu dulliau

- Aeth Roper *et al.* (2019) ati i gymharu pedair techneg wahanol ar gyfer mesur SOM gan ddefnyddio 84 o samplau o dreialon amaethyddol hirdymor (a oedd yn cymharu arferion amaethu a systemau rheoli confensiynol ac organig) mewn tri rhanbarth yng Ngogledd Carolina. Y dulliau oedd MWB, LOI, hylosgi sych awtomataidd (ADC) a mesur lliwiau deunydd hwmig (HM).
- Roedd y methodolegau ar gyfer MWB, LOI a hylosgi sych yn debyg i'r rhai a amlinellir uchod. Roedd y broses o fesur lliwiau deunydd hwmig yn dilyn gweithdrefnau confensiynol ar gyfer echdynnu asid hwmig o briddoedd (Mehlich, 1984 a ddyfynnwyd gan Roper *et al.*, 2019; Hardy, 2014). Yn fras, cafodd hylif echdynnu (yn cynnwys sodiwm hydrocsid, asid pentasodiwm diethylenetriaminepentaacetig ac alcohol ethyl) ei gymysgu â phridd a awyrsychwyd (<2 mm) a'i adael i setlo dros nos. Yna, cafodd amsugnedd yr uwchwaddodion na tharfwyd arnynt (a wanhawyd â dŵr) ar 650 nm ei fesur mewn perthynas â thoddiant a oedd ond yn cynnwys hylif echdynnu a dŵr; cafodd gwerthoedd amsugnedd eu troi yn grynodiad deunydd hwmig yn seiliedig ar ddata calibradu.
- Dangosodd y gymhariaeth fod y SOC a fesurwyd gan ddefnyddio MWB yn cyfrif am 56% o fâs SOM (drwy LOI), ar gyfartaledd, yn unol â'r ffactor trosi confensiynol o 0.58. Mewn cymhariaeth, roedd mäs cyfartalog SOC gan ddefnyddio ADC tua 33% o fâs cyfartalog SOM (Tabl 5) a fesurwyd drwy LOI. Roedd y SOC cyfartalog a fesurwyd gan ddefnyddio MWB (12.9 g C/kg) 1.75 gwaith yn fwy na'r hyn a fesurwyd drwy ddull hylosgi sych (7.7 g C/kg). Mewn cymhariaeth, fel y gellid disgwyl, roedd mäs cyfartalog HM yn llai (2.37 g HM/kg), sef tua 10% o fâs cyfartalog SOM, gan adlewyrchu'r ffaith mai dim ond rhan o SOM yw HM.
- Gan fod dadansoddydd elfennol yn mesur SOC yn uniongyrchol, gellir ystyried ei fod yn werth cyfeirio a'i ddefnyddio i asesu cywirdeb y dulliau eraill. Gan dderbyn y rhagdybiaeth bod y gwerth ADC yn gywir, mae'r data yn awgrymu bod dull MWB yn goramcangyfrif SOC; nid oedd yr awduron yn gallu egluro pam roedd dull WB yn mesur mwy o SOC nag ADC. Fel y nodwyd gan Roper *et al.* (2019), pe bai canlyniadau MWB yn cael eu cywiro er mwyn rhoi cyfrif am ocsideiddio anghyflawn, yna byddai'r goramcangyfrif o gynnwys SOC hyd yn oed yn fwy. Fel y nodwyd uchod, roedd canlyniadau dull MWB yn gyson â'r rhagdybiaeth gyffredin bod C yn cyfrif am tua 58% o fâs SOM (er mai'r ystod oedd 46-77%), tra bo canlyniadau dull ADC yn awgrymu bod y rhagdybiaeth hon yn anghywir (ystod 22-53%). Y safle â'r pridd mwyaf tywodlyd oedd â'r ffraciwn SOC mwyaf o ran SOM ar gyfer canlyniadau ADC a MWB.

- Byddai dealltwriaeth o'r cydberthnasau rhwng canlyniadau'r dulliau gwahanol yn ddefnyddiol wrth ddehongli crynodiadau SOM a fesurir gan ddefnyddio technegau gwahanol. Nododd Roper *et al.* (2019) fod cydberthyniad agos rhwng canlyniadau SOC a gasglwyd drwy dulliau MWB a LOI, er bod yr union gydberthynas yn amrywio ar sail safleoedd unigol. Roedd cydberthyniad rhwng mesuriadau ADC a MWB a LOI, ond nododd yr awduron fod cydberthyniad agosach rhwng ADC a LOI o gymharu â'r cydberthyniad rhwng MWB a LOI. Efallai fod hyn yn adlewyrchu'r ffaith bod dulliau ADC a LOI ill dau yn cynnwys proses hylosgi sych ar gyfer deunydd organig o gymharu â dull MWB sy'n dibynnu ar occsideiddio SOC yn gemegol.
- Wrth gymharu samplau a gymerwyd o wahanol arferion rheoli amaethyddol, roedd y canlyniadau'n amrywio rhwng dulliau a lleoliadau gwahanol. Daeth Roper *et al.* (2019) i'r casgliad y dylid bod yn ofalus iawn wrth gymharu SOM a SOC a gasglwyd gan ddefnyddio technegau gwahanol a mathau gwahanol o briddoedd, nes y bydd dull dibynadwy ar gael i drosi'r canlyniadau a geir drwy ddefnyddio dulliau dadansoddi gwahanol.

**Tabl 5. Cymharu pedwar dull\* o fesur deunydd organig pridd (SOM), carbon organig pridd (SOC) a deunydd hwmig (HM) mewn 84 o briddoedd yng Ngogledd Carolina (Ffynhonnell: Roper *et al.*, 2019).**

Dull	Cymedr	Gwriad safonol	Isafswm	Uchafswm	Amrediad
	<i>SOM (g/kg)</i>				
LOI	23.2	5.6	14.5	38.8	24.3
	<i>SOC (g/kg)</i>				
MWB	12.9	2.1	9.7	18.8	9.1
ADC	7.7	2.1	3.7	13.3	9.6
	<i>HM (g/kg)</i>				
HM	2.37	1.29	0.3	6.6	6.3

\*Y dulliau a ddefnyddiwyd oedd colled wrth danio (LOI), dull addasedig Walkley-Black (MWB), hylosgi sych awtomataidd màs (ADC), a mesur lliwiau deunydd hwmig (HM).

### 3.7 Casgliadau

- Un o'r prif wahaniaethau rhwng cronfeydd data'r NSI a'r CS oedd y dulliau a ddefnyddiwyd i fesur crynodiadau SOC. Y dull a ddefnyddiwyd gan yr NSI oedd MWB, sy'n mesur SOC yn uniongyrchol. Y dull a ddefnyddiwyd gan y CS oedd LOI, sy'n mesur SOM ac sy'n gofyn am gyfrifiad i'w drosi'n SOC. Gall dewis ffactor trosi priodol arwain at gyfeiliornadau wrth adrodd ar SOC, er bod y defnydd o ffactor trosi sy'n benodol i set ddata yn debygol o fod wedi lleihau'r risg hon. Fodd bynnag, lle mae angen mesur SOC (yn hytrach na SOM), ystyrir mai mesuriadau uniongyrchol sydd fwyaf priodol.
- Wrth gymharu dulliau, nododd Roper *et al.* (2019) fod dull MWB (a ddefnyddiwyd gan yr NSI) yn goramcangyfrif SOC o gymharu â data o ddadansoddydd elfennol. Roedd y goramcangyfrif yn sylweddol (x 1.75), sy'n awgrymu y byddai'r dull hwn yn goramcangyfrif crynodiad SOC. Byddai goramcangyfrif yn arwain at gyfeiliornadau yn y gwerthoedd SOC a nodwyd. Fodd bynnag, ni fyddai'n effeithio ar y newid a nodwyd dros amser (gan dybio bod y goramcangyfrif o grynodiad SOC yn gyson ar ddechrau a diwedd y cyfnod monitro).
- Yn bwysig ddigon, daeth Roper *et al.* (2019) i'r casgliad y dylid bod yn ofalus iawn wrth gymharu SOM a SOC a gasglwyd drwy ddefnyddio dulliau dadansoddi gwahanol a phriddoedd gwahanol,

nes y caiff dull dibynadwy ei ddatblygu i drosi canlyniadau rhwng dulliau dadansoddol gwahanol o fesur SOC/SOM.

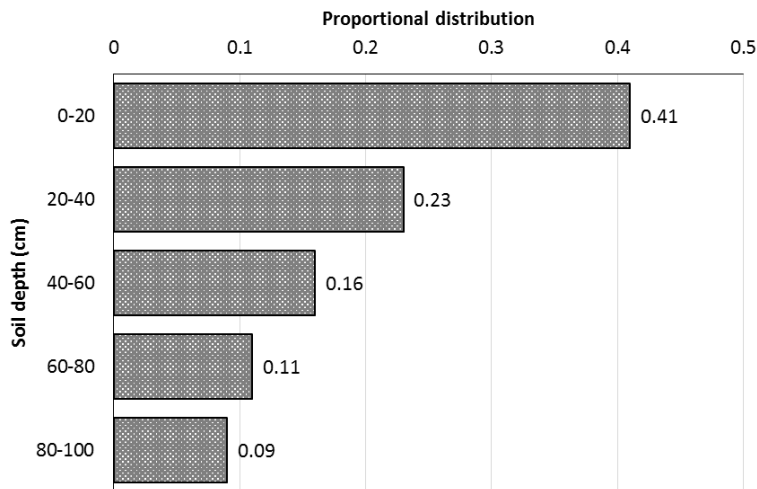
#### 4 Crynodiad SOC o gymharu â stoc SOC

- Er mwyn cyfrifo stociau carbon mewn pridd mae angen nodi crynodiad SOC, swmp ddwysedd (BD), cynnwys cerrig, a dyfnder y pridd. Mae'r rhain yn amrywio'n ofodol ac mae cyfeiliornadau mesur gwahanol yn gysylltiedig â nhw. Mae angen deall a yw'r holl newidynnau hyn yn cyfrannu at amrywioldeb stociau SOC yn yr un modd (Schumpf *et al.*, 2011).
- Trafodwyd cymhariaeth o fethodolegau ar gyfer mesur crynodiad SOC yn yr adran flaenorol. Bydd yr adran hon yn trafod y ffactorau eraill sy'n dylanwadu ar y broses o gyfrifo stociau SOC.

##### 4.1 Dyfnder samplu

- Yn y mwyafrif o briddoedd mwynol tymherus, mae'r rhan fwyaf o'r carbon yn yr uwchbridd lle y caiff y rhan fwyaf o'r deunydd organig ei ddychwelyd o weddillion cnydau, ychwanegiadau deunydd organig ac ati. Yr eithriadau yw priddoedd organo-fwynol sy'n cynnwys haen organig o  $\leq 40$  cm a phriddoedd mawn dwfn a all gynnwys lefelau uchel o ddeunydd organig sydd dros 1 m o ddyfnder. Wrth fesur SOC, cymerir samplau o'r uwchbridd fel arfer. Mae'r Panel Rhynglywodraethol ar y Newid yn yr Hinsawdd (IPCC) yn argymhell dyfnder o 30 cm a dyna a ragnodir ar gyfer rhestrau SOC cenedlaethol. Fodd bynnag, mae 0-30 cm uchaf y pridd yn fwy agored i newidiadau byrdymor mewn SOC, felly gall samplau a gymerir yn ddyfnach adlewyrchu newidiadau hirdymor mewn SOC yn fwy cywir.
- Er mwyn nodi newid mewn stociau C yn y pridd o ganlyniad i newid mewn arferion rheoli tir, mae rhai awduron wedi awgrymu y dylai'r broses samplu gwmpasu dyfnderau gwreiddio (Wendt a Hauser, 2013). Fodd bynnag, dim ond ar gyfer arbrofion maes sy'n cymharu arferion rheoli dros yr hirdymor yn hytrach na gwaith monitro cenedlaethol y mae hyn yn debygol o fod yn ymarferol neu'n werth chweil. Er enghraifft, aeth Gregory *et al.* (2016) ati i brofi'r ddamcaniaeth bod systemau rheoli hirdymor cyferbyniol yn newid dynameg SOC yn yr uwchbridd a'r isbridd (hyd at 75 cm). Cafodd yr arbrawf maes ei gynnal ar safle lle y trowyd glaswelltir a reolwyd yn dir â (59 o flynyddoedd ynghynt) a braenar heb gnydau (49 o flynyddoedd ynghynt). Collwyd 65% a 78% o SOC o dan dir â a braenar, yn y 0-15 cm uchaf, yn y drefn honno, o gymharu â glaswelltir. Mewn cymhariaeth, collwyd 41% a 52% o SOC ar ddyfnder o 30-60 cm, yn y drefn honno, o gymharu â glaswelltir. Daeth yr awduron i'r casgliad bod angen clir i fonitro, modelu a rhagfynegi newidiadau mewn priodweddau priddoedd, nid dim ond yn agos at yr wyneb ond ar gyfer y proffil cyfan. Argymhellodd yr awduron y dylid defnyddio dull arbrofol rheoledig.
- Gall dyfnderau samplu o lai na 30 cm arwain at gasgliadau diffygiol ynghylch newidiadau mewn OC yn sgil amaethu ac arferion defnydd tir (e.e. Baker *et al.*, 2007).
- Aeth Jobbáry a Jackson (2000) ati i ddadansoddi data ar  $>2700$  o broffiliau priddoedd mwynol (1271 o dan ddefnydd amaethyddol ac 802 o dan lystyfiant naturiol) o dair cronfa ddata fyd-eang (Cronfa Ddata Nodweddu Priddoedd Cenedlaethol Adran Amaethyddiaeth yr Unol Daleithiau, Cronfa Ddata Rhestr Fyd-eang o Allyriadau Posibl o Briddoedd a chronfa ddata priddoedd Gwasanaeth Coedwigoedd Canada) er mwyn asesu proffil fertigol carbon organig pridd hyd at 1 m o ddyfnder; cafodd data eu hallosod hefyd er mwyn amcangyfrif SOC dwfn (100-300 cm o ddyfnder). Cafodd gwerthoedd data eu trawsnewid yn sail cyfeintiol gan ddefnyddio gwerthoedd swmp ddwysedd cysylltiedig. O ran 1 m uchaf pridd, amcangyfrifodd yr awduron, ar gyfartaledd, fod tua 40% o SOC yn 0-20 cm uchaf y pridd a bod bron i 65% yn y 0-40 cm uchaf; roedd 40-100 cm isaf pridd yn cynnwys tua 35% o SOC (Ffigur 9). Mae'r data hyn yn

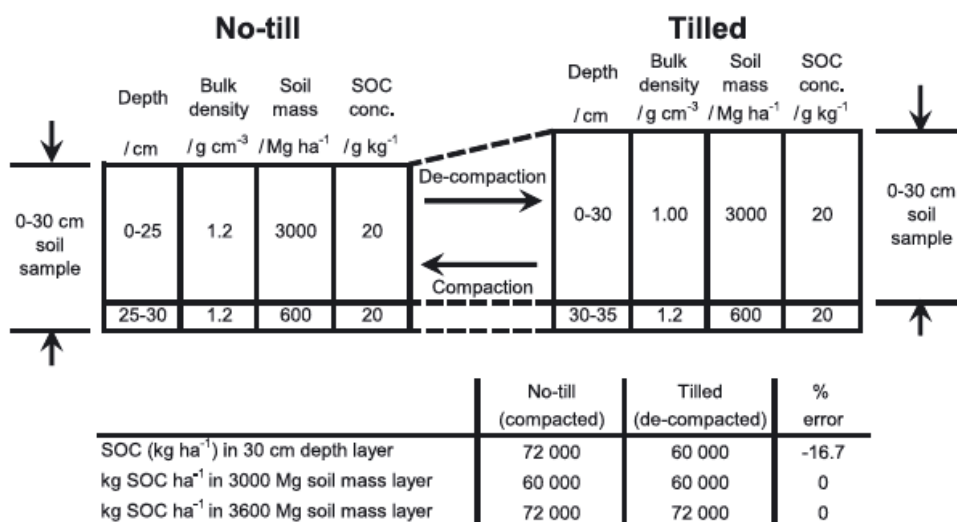
awgrymu, ar gyfer y rhan fwyaf o briddoedd mwynol, y bydd sampl a gymerir ar ddyfnder o 30 cm (fel yr argymhellwyd gan yr IPCC) yn dangos newidiadau yn y rhan fwyaf o'r stoc SOC.



**Ffigur 9. Dosbarthiad fertigol cyfartalog byd-eang carbon organig pridd yn 1 m uchaf y proffil pridd (Ffynhonnell: Jobbáry a Jackson (2000))**

#### **4.2 Swmp ddwysedd pridd**

- Defnyddir crynodiad SOC, swmp ddwysedd (BD) a dyfnder y pridd i gyfrifo'r stoc SOC ar gyfer dyfnder penodol. Yn ôl Wendt a Hauser (2013), gall amrywiadau mewn BD ar draws dyfnderau samplu oherwydd newidiadau rheoli byrdymor arwain at duedd wrth bennu SOC, yn enwedig yn haen arwynebol y pridd oherwydd cyffredinrwydd biomas gwreiddiau a sofl. Yn Ffigur 10 dangosir effaith amaethu ar ddwy driniaeth. Caiff un pridd ei drin i ddyfnder o 25 cm a chaiff y llall ei adael heb ei drin gan arwain at ostyngiad mewn swmp ddwysedd yn y pridd a driniwyd (o 1.20 i 1.00 g/cm<sup>3</sup>). Mae'r newid mewn swmp ddwysedd oherwydd amaethu yn golygu bod yr haen 25 cm yn cyrraedd dyfnder o 30 cm. Byddai cymharu'r crynodiad SOC ar yr un dyfnder (0-30 cm) ar gyfer y ddau bridd yn awgrymu bod gan y pridd nas triniwyd 72,000 kg o SOC a bod gan y pridd a driniwyd 60,000 kg o SOC. Gallai hyn arwain at y casgliad bod SOC wedi gostwng tua 17% oherwydd amaethu. Mewn gwirionedd, dim ond gwahaniaethau ym màs y pridd yn yr haenau 0-30 cm a ddangosir gan y gwahaniaeth hwn, yn hytrach na newidiadau mewn stociau SOC.



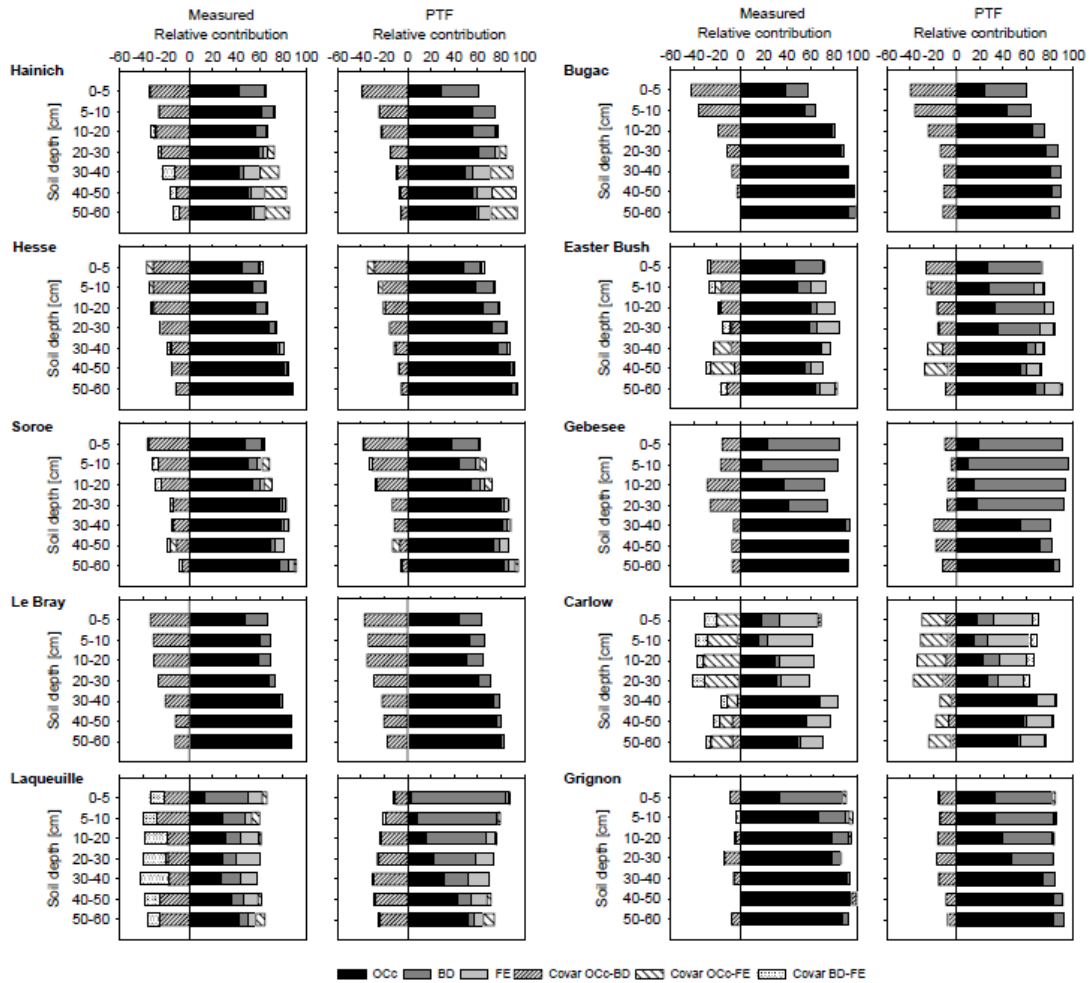
**Ffigur 10. Tuedd oherwydd cyfeilornad wrth fesur stociau SOC ar ddyfnderau penodol pan fo gwahaniaethau yn y swmp ddwysedd (Ffynhonell: Wendt a Hauser, 2013).**

- Defnyddir sawl dull i gywiro cyfanswm data SOC mewn ymateb i newidiadau mewn defnydd tir neu arferion rheoli sydd wedi'u cyplysu, yn eu hanfod, â newid cysylltiedig mewn swmp ddwysedd (Lee *et al.*, 2009). Fodd bynnag, nid oes unrhyw werthusiadau cynhwysfawr o'r dulliau hyn o hyd (Nayak *et al.*, 2019).
- Mae swmp ddwysedd pridd yn amrywio gydag amser, gan adlewyrchu effeithiau'r tywydd (e.e. rhewi a dadmer; gwlychu a sychu) ac arferion rheoli tir. Yn ddefnyddol, er mwyn rhoi cyfrif am y newidiadau tymhorol hyn, dylid defnyddio'r un craidd ag a ddefnyddir i fesur crynodiad SOC i fesur BD (Schrumpf *et al.*, 2011). Y rheswm am hyn yw y bydd prosesau samplu pridd sy'n defnyddio creiddiau bron yn anochel yn arwain at rywfaint o gywasgu ac, fel arfer, bydd dwysedd y pridd yn y craidd yn fwy na swmp ddwysedd y cae (FAO, 2019).

#### 4.3 Swyddogaeth bedodrosglwyddo

- Gellir defnyddio swyddogaeth bedodrosglwyddo (PTF) i ragfynegi un o briodweddau pridd gan ddefnyddio newidynnau mesuredig eraill (priodweddau sydd yn aml yn gyflymach ac yn rhatach i'w mesur). Er enghraifft, mae swyddogaethau PTF ar gyfer swmp ddwysedd yn adlewyrchu priodweddau eraill priddoedd sy'n dylanwadu ar gywasgiad pridd, e.e. cynnwys clai a SOC (e.e. de Vos *et al.*, 2005). Mae defnyddio swyddogaethau PTF yn aml yn arwain at fwy o amrywiant mewn stociau SOC amcangyfrifedig a'r ansicrwydd yn eu cylch os na roddir cyfrif cywir am gyfeilornad sy'n gysylltiedig â chymhwyso'r swyddogaeth. Gall hyn arwain at duedd systematig o ran y stoc SOC a gyfrifir (Schrumpf *et al.*, 2011) a llawer o ansicrwydd wrth amcangyfrif SOC ar raddfa ranbarthol (Xu *et al.*, 2015).
- Defnyddiodd Schrumpf *et al.* (2011) ddata o rwydwaith CarboEurope i ymchwilio i'r defnydd posibl o swyddogaethau PTF ar gyfer amcangyfrif BD mewn rhestrau niferus. Roedd y rhwydwaith yn cynnwys safleoedd monitro ledled Ewrop, o dan ddefnydd tir gwahanol, ac mewn rhanbarthol hinsoddol gwahanol. Yn 2004, cymerwyd 100 o samplau pridd a geogyfeiriwyd o 12 safle ar ddyfnder o 60 cm o leiaf. Yna, aethpwyd ati i'w dadansoddi o ran OC, swmp ddwysedd a chynnwys cerrig/gwreiddiau. Defnyddiwyd y gydberthynas negyddol rhwng OC a BD i bennu swyddogaeth bedodrosglwyddo â chyfeilornadau hysbys.

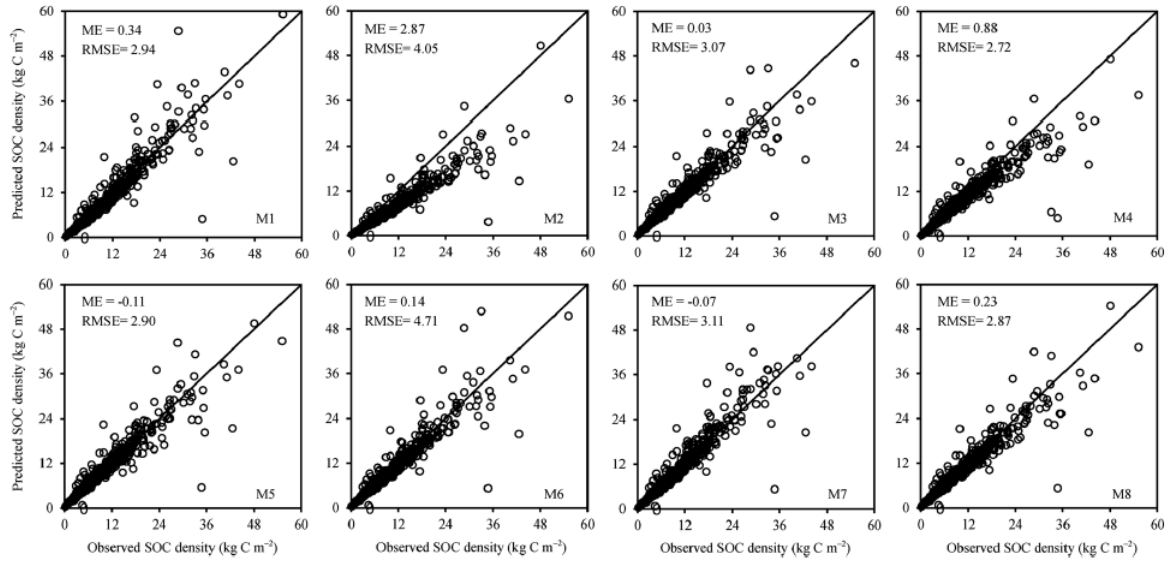
- Ar gyfer 10 safle, cymharwyd y ffactorau a oedd yn cyfrannu at yr amrywiant mewn stociau OC ar ôl eu cyfrifo gan ddefnyddio a) gwerthoedd mesuredig a b) y swyddogaeth PTF. Cafodd y ffordd y cymhwyswyd y swyddogaeth PTF (Ffigur 11) effaith ar gyfraniad cymharol ffactorau unigol at yr amrywiant mewn stociau SOC. Roedd cyfraniad cymharol ansicrwydd ynghylch BD at yr amrywiant mewn stociau OC 11-19% yn uwch ar gyfartaledd ar gyfer gwerthoedd amcangyfrifedig (gan gynnwys lluosogi cyfeiliornadau) o gymharu â gwerthoedd mesuredig yn 30 cm uchaf y pridd mwynol. Roedd perthnasedd crynodiadau OC 8–12% yn is.
- Mae defnyddio swyddogaeth PTF i amcangyfrif BD yn dylanwadu hefyd ar yr amrywiant mewn stociau OC ac felly ar y posibilrwydd o gyflawni canlyniadau sylweddol. Daeth Schrupf *et al.* (2011) i'r casgliad bod methu â rhoi cyfrif am yr ansicrwydd ychwanegol a gyflwynir gan y swyddogaeth PTF wrth amcangyfrif stociau C yn arwain at danamcangyfrif sylweddol o gyfanswm yr amrywiant a welir ar raddfa llain/cae. Maent yn awgrymu, lle bo swyddogaeth PTF wedi'i defnyddio i amcangyfrif BD heb roi cyfrif am gyfeiliornad ychwanegol y PTF, ei bod yn debygol y bydd rhagdybiaethau anghywir wedi'u gwneud ynghylch arwyddocâd newidiadau mewn stociau SOC.
- Awgrymodd Schrupf *et al.* (2011) fod angen ailystyried yn ofalus unrhyw newidiadau a nodwyd mewn rhestrau OC pridd yn y gorffennol lle y cafodd swmp ddwysedd ei gyfrifo o'r PTF yn hytrach na'i fesur, gan nad oedd y rhan fwyaf o'r adroddiadau yn rhoi cyfrif am yr ansicrwydd a ychwanegwyd at yr amcangyfrifon o'r stoc gan y swyddogaeth. Daethant i'r casgliad hefyd na ddylid defnyddio PTF i gyfrifo swmp ddwysedd ar gyfer prosiectau monitro yn y dyfodol gan fod newidiadau yn haws i'w nodi pan ddefnyddir gwerthoedd mesuredig ac nid oes unrhyw weithdrefn resymol ar gael i allu rhoi cyfrif am newidiadau mewn BD dros amser (Schrumpf *et al.*, 2011). Ar y cyfan, er y gall mesur BD yn uniongyrchol ar adeg y broses samplu fod yn llafurus, mae'n ei gwneud hi'n haws adnabod newidiadau ac yn arwain at ganlyniadau mwy cywir.



**Ffigur 11.** Cyfraniad cymharol crynodiad carbon organig (OCc), swmp ddwysedd (BD), gronynnau bach o bridd (FE) a chydarnwiant OCc-BD, OCc-FE a BD-FE i'r amrywiant mewn stociau SOC (dyfnder pridd, cm; cyfraniad cymharol %).

- Defnyddiodd Xu *et al.* ddata o'r ail arolwg pridd cenedlaethol yn Tsieina (8,210 o samplau pridd) i ymchwilio i effaith 8 swyddogaeth PTF wahanol ar amcangyfrifon o gynnwys SOC. Cymharwyd y cynnwys SOC a fesurwyd a'r cynnwys SOC a ragfynegwyd ar gyfer pob PTF (Ffigur 12). Cafodd y cynnwys SOC a ragfynegwyd ei danamcangyfrif gan chwe PTF a'i oramcangyfrif gan ddau PTF (M5 ac M7). Roedd amcangyfrifon storio SOC (0-100 cm) yn amrywio rhwng 64.19 Pg C (M2) a 95.97 Pg C (M7). Cyfartaledd yr 8 amcangyfrif oedd  $87.36 \pm 8.93$  Pg C. Mae'r gwaith ymchwil hwn yn cadarnhau bod swyddogaethau PTF yn ffynhonnell bwysig o ansicrwydd wrth amcangyfrif SOC.



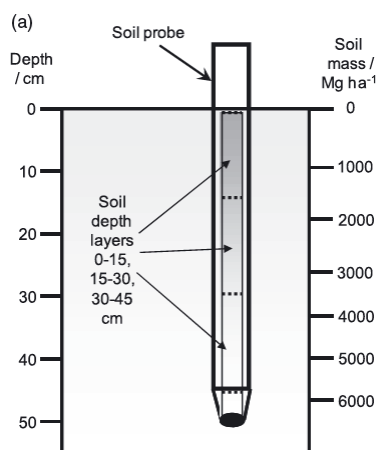


**Ffigur 12.** Cymharu dwysedd SOC a fesurir ac a ragfyneir yn ôl 8 swyddogaeth bedodrosglwyddo gyda chyfeiriornad cymedrig (ME) (sy'n nodi'r gwahaniaeth rhwng gwerthoedd a ragfyneir a gwerthoedd gwirioneddol) a chyfeiriornad isradd sgwâr cymedrig (RMSE) (sy'n nodi i ba raddau y mae'r data wedi crynhoi o amgylch y llinell ffit orau).

#### 4.4 Mâs pridd cyfatebol

- Diffinnir mâs pridd cyfatebol fel mâs cyfeirio'r pridd fesul ardal unedol a ddewisir mewn haen a diffinnir mâs C cyfatebol fel y mâs C a gaiff ei storio mewn mâs pridd cyfatebol (Ellert *et al.*, 2001).
- Fel y nodir uchod (ac yn Ffigur 10), mae'n y bydd mâs pridd yn wahanol os bydd y swmp ddwysedd yn wahanol, gan arwain at sail anghyson wrth gymharu. Yn yr enghraifft uchod, caiff OC mewn 3000 Mg pridd/ha yn y pridd a driniwyd ei gymharu ag OC mewn 3600 MG pridd/ha yn y pridd cyn iddo gael ei drin, gan arwain at gyfeiriornad sylweddol. Y rheswm am y cyfeiriornad hwn yw bod stociau OC yn cael eu cymharu ar ddyfnderau penodol sy'n cynnwys mâs pridd gwahanol. Felly, mae rhai awduron wedi dadlau bod angen cymharu'r stociau SOC ar gyfer yr un mâs o bridd er mwyn olrhain newidiadau mewn stociau SOC dros amser, hynny yw, drwy amcangyfrif stociau SOC ar sail mâs pridd cyfatebol (ESM).
- Mae Wendt a Hauser (2013) yn awgrymu mai'r ffordd orau o ddeall mâs pridd cyfatebol yw drwy ystyried proffiliau pridd yn nhermau haenau o fâs yn hytrach na haenau o ddyfnder. Bydd mâs pridd mewn haen o ddyfnder penodol yn amrywio yn ôl swmp ddwysedd, ond bydd mâs pridd mewn haen o ddyfnder penodol yn sefydlog ac felly'n rhoi sail gyson ar gyfer cymharu newidiadau (Ffigur 13). Er mwyn cyfrifo'r mâs pridd a gynrychiolir gan haen dyfnder (DL) sampl pridd, caiff mâs y sampl sych ( $M_{\text{SAMPLE(DL)}}$ , g) ei rannu â'r arwynebedd a samplwyd gan y chwiliedydd neu'r ebill ( $\pi(D/2)^2$ ):

$$M_{\text{SOIL(DL)}} = \frac{\text{mass}}{\text{area}} = \frac{M_{\text{SAMPLE(DL)}}}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times N} \times 10000.$$



**Ffigur 13. Haenau dyfnder pridd (cm) a haenau màs (Mg/ha) (Ffynhonnell: Wendt a Hauser, 2013)**

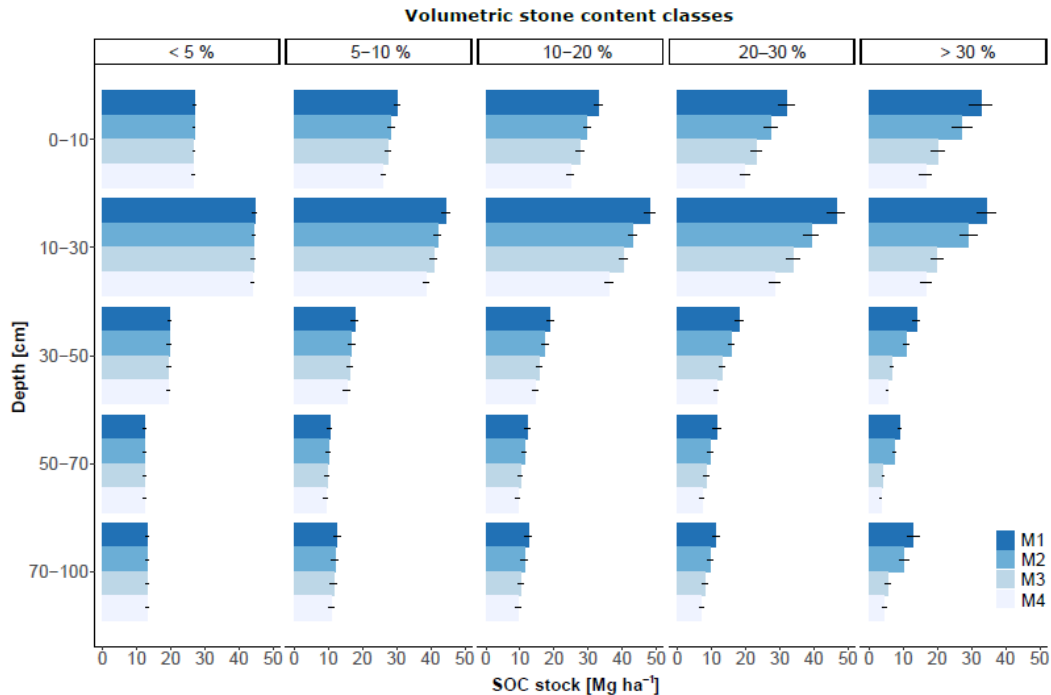
- Mae'n bosibl mai dull Ellert a Bettany (1995) yw'r dull ESM mwyaf cyffredin. Er mwyn rhoi cyfrif am fàs pridd gwahanol, cyrifodd Ellert a Bettany (1995) swm C mewn màs union debyg neu 'gyfatebol' o bridd o dan systemau rheoli cyferbyniol (coedwig, a glirowyd yn ddiweddar, alffalffa/hadau olew a gwenith/braenar). Cymharwyd SOC ar ddyfnder penodol â SOC a gyfrifwyd gan ddefnyddio dull ESM. Dewisodd Ellert a Bettany (1995) y driniaeth borfa fel y driniaeth fàs gyfatebol (màs pridd o 2,340 t/ha wedi'i fesur ar ddyfnder o 18 cm). Dangosodd eu cyfrifiadau, ar ddyfnder penodol o 18 cm, mai 52.4 t/ha oedd y cynnwys SOC mewn porfa o gymharu â 45.7 t/ha mewn alffalffa/hadau olew. Fodd bynnag, pan ailgyfrifwyd SOC ar sail ESM (h.y. gan ddefnyddio'r un màs â'r driniaeth borfa cyfeirio, a gynyddodd y dyfnder cyfrifo i 18.6 cm yn hytrach na 18 cm), cynyddodd y cynnwys SOC alffalffa/hadau olew i 46.2 t/ha. Daeth yr awduron i'r casgliad bod yn rhaid i fàs y pridd a gaiff ei gymharu gyfateb er mwyn gallu asesu newidiadau mewn SOC yn sgil arferion rheoli yn ddibynadwy.
- Pan gaiff yr haen ESM ei chofnodi a phan adroddir arni, mae'n golygu bod posibilrwydd y gellir dychwelyd i'r un safle samplu yn ddiweddarach a chyfrifo stociau OC yn y màs pridd hwnnw, sy'n angenrheidiol wrth fonitro newidiadau mewn OC pridd dros amser (Wendt a Hauser (2013)). Dim ond lle y caiff arferion rheoli eu cymharu ar un safle yn hytrach nag ar gyfer rhaglenni monitro cenedlaethol mawr y mae dull ESM yn debygol o fod yn ymarferol.

#### **4.5 Natur garegog pridd**

- Fel arfer, defnyddir pridd wedi'i ridyllu i fesur SOC mewn labordai fel bod gro neu gerrig yn cael eu gwaredu cyn mynd ati i wneud y gwaith dadansoddi. Er mwyn cywiro hyn, dylai canlyniadau labordai gael eu haddasu er mwyn adlewyrchu cyfansoddiad gwreiddiol y sampl pridd. Er enghraifft, ar gyfer canlyniad labordy o 1.4% o garbon organig, a fesurwyd ar sampl yn cynnwys 10% o ro neu gerrig, 1.26% fyddai cynnwys carbon organig y pridd hwnnw (h.y. 90% o 1.4%). Weithiau, caiff addasiadau o'r fath eu diystyru a gall hyn arwain at nodi newidiadau cyflym neu anarferol o fawr yng nghyfanswm y carbon organig pridd (GRDC, 2013).
- Fel y nodwyd yn flaenorol, mewn astudiaethau rhanbarthol neu restrau cenedlaethol o briddoedd, caiff BD ei frasmcanu'n aml gan ddefnyddio swyddogaethau pedodrosglwyddo a chaiff cyfran y darnau o gerrig ei hanwybyddu'n aml (Poepplau *et al.*, 2017). Mae'r IPCC yn ystyried mai natur garegog pridd a'i swmp ddwysedd yw'r ddwy brif ffynhonnell o ansicrwydd wrth amcangyfrif stociau SOC mewn priddoedd mwynol (IPCC, 2003). Fodd bynnag, hyd yn oed

pan gaiff pob paramedr ei gofnodi, mae'n bosibl y gwelir gwahaniaeth sylweddol wrth i baramedrau gael eu defnyddio mewn ffyrdd gwahanol yn yr hafaliadau a ddefnyddir i gyfrifo stociau SOC.

- Aeth Poeplau *et al.* ati i adolygu'r llenyddiaeth ar fethodoleg swmp ddwysedd pridd a nodwyd pedwar dull ar gyfer rhoi cyfrif am ddarnau o gerrig, a nodir yn Tabl 6 isod. Mae'r pedwar dull yn defnyddio'r un mesuriad SOC (h.y. SOC pridd sych/wedi'i ridyllu) ond yn amrywio o ran y ffordd y rhoddir cyfrif am y paramedrau ar gyfer swmp ddwysedd a darnau o gerrig. Yn y dull cyntaf (M1), mae'r cyfrifiad yn 'llenwi'r' gofod a feddiannwyd gan garreg â gronynnau bach o bridd (gyda BD goramcangyfrifedig: yn seiliedig ar y sampl nid y gronynnau bach o bridd) ac ni chaiff y gyfran honno o ronynnau ei thynnu o gyfanswm cyfaint y pridd gan arwain at oramcangyfrif BD a'r stoc SOC. Yn yr un modd, mae'r ail dull (M2) yn goramcangyfrif y stoc SOC drwy 'llenwi'r' gofod a feddiannwyd gan ddarnau o gerrig â gronynnau bach o bridd (BD wedi'i amcangyfrif yn ôl y gronynnau bach o bridd). Fodd bynnag, gan fod BD a'r crynodiad SOC yn cael eu cyfrifo ar sail y gronynnau bach o bridd (o gymharu ag M1 lle mae BD yn seiliedig ar y sampl yn hytrach na'r gronynnau bach o bridd), ceir llai o oramcangyfrif o ran SOC nag yn M1. Mae'r trydydd dull (M3) yn rhoi cyfrif am y darnau o gerrig y gellir tybio nad ydynt yn cynnwys SOC ond yn goramcangyfrif BD drwy ddefnyddio BD y sampl yn hytrach na BD y gronynnau bach o bridd. Awgrymir mai'r dull olaf (M4) yw'r agosaf at realiti gan ei fod yn rhoi cyfrif am unrhyw ddarnau o gerrig a dim ond y gronynnau bach o bridd yn y sampl a ddefnyddir i gyfrifo BD. Er mwyn cymharu effaith y methodolegau gwahanol ar y stoc SOC, defnyddiodd yr awduron ddata o Restr Priddoedd Amaethyddol yr Almaen (>3000 o samplau pridd), a ddangosodd fod y gwahaniaeth mewn stociau SOC rhwng dulliau cyfrifo yn cynyddu gyda maint y darnau o gerrig yn y pridd (Ffigur 14).
- Fodd bynnag, nid oedd Hobley *et al.* (2017) yn cytuno mai M4 oedd y dull gorau o roi cyfrif am SOC, gan awgrymu bod y ffynonellau ychwanegol o gyfeiliornad yn M4 (rhagdybiaeth ynghylch dwysedd cerrig) yn golygu bod y dull hwn yn llai cywir na'r dull a gynigiwyd ganddyn nhw. Awgrymodd yr awduron y byddai dull yn seiliedig ar gynnwys C y gronynnau bach o bridd, cyfran mäs y cerrig a swmp ddwysedd y sampl gyfan yn arwain at amcangyfrifiad mwy cywir o stociau C (Tabl 6).



**Ffigur 14. Y stoc SOC gyfartalog o Restr Priddoedd Amaethyddol yr Almaen ar wahanol gynnyddiadau dyfnder wedi'i chyfrifo gan ddefnyddio dulliau cyfrifo gwahanol ar gyfer pum dosbarth cyfeintiol o ddarnau o gerrig. Mae'r bariau cyfeiliornadau yn nodi cyfeiliornadau safonol. (Ffynhonnell: Poeplau *et al.*, 2017).**

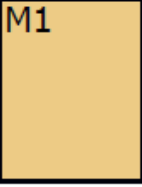
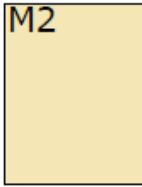
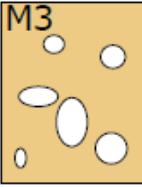
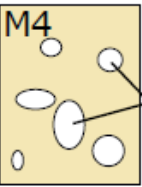
#### 4.6 Casgliadau

- Mae swmp ddwysedd pridd yn ffactor allweddol y dylid ei ystyried wrth fesur stociau SOC (Schrumpf *et al.*, 2011). Byddai cymharu stoc SOC ar yr un dyfnder (e.e. 0-15 cm) mewn priddoedd â BD gwahanol ond yr un crynodiad SOC yn awgrymu bod gan y pridd â'r BD isaf lai o SOC hefyd. Mewn gwirionedd, dim ond gwahaniaethau ym mäs y pridd yn yr haenau 0-30 cm a ddangosir gan y gwahaniaeth hwn, yn hytrach na newidiadau mewn stociau SOC. Mae newidiadau mewn BD yn debygol o ddigwydd yn amlach yn yr haenau arwynebol, felly byddai newidiadau dros amser yn debygol yn y samplau pridd cymharol fas yn y CS a'r NSI.
- Y CS yn 2007 oedd yr arolwg cenedlaethol cyntaf yn y DU i amcangyfrif y stoc carbon uwchbridd gan ddefnyddio mesuriadau swmp ddwysedd a chrynodiad C mewn pridd o'r un safleoedd. Mae hyn yn rhoi mwy o hyder yn y broses o gyfrifo SOC ar gyfer yr arolwg diweddaraf.
- Ar gyfer samplau CS blaenorol (h.y. 1978 a 1998), defnyddiwyd swyddogaeth bedodrosglwyddo yn seiliedig ar y gydberthynas rhwng BD a chrynodiad SOC yn 2007 i gyfrifo'r stoc SOC. Yn yr un modd, defnyddiodd yr NSI swyddogaeth bedodrosglwyddo (PTF) (un wahanol i'r un a ddefnyddiwyd ar gyfer y CS), yn hytrach na BD mesuredig i gyfrifo'r stoc SOC. Mae defnyddio swyddogaethau PTF yn aml yn arwain at fwy o amrywiant mewn stociau SOC amcangyfrifedig a'r ansicrwydd yn eu cylch os na roddir cyfrif cywir am gyfeiliornad sy'n gysylltiedig â chymhwyso'r swyddogaeth.
- Awgryma Schrumpf *et al.* (2011) fod angen ailystyried yn ofalus unrhyw newidiadau a nodwyd mewn rhestrau OC pridd yn y gorffennol lle y cafodd swmp ddwysedd ei gyfrifo o'r PTF yn hytrach na'i fesur, gan nad oedd y rhan fwyaf o'r adroddiadau yn rhoi cyfrif am yr ansicrwydd a ychwanegwyd at yr amcangyfrifon o'r stoc gan y swyddogaeth. Maent hefyd yn dod i'r casgliad

na ddylid defnyddio PTF i gyfrifo swmp ddwysedd ar gyfer prosiectau monitro yn y dyfodol gan fod newidiadau yn haws i'w nodi pan ddefnyddir gwerthoedd mesuredig ac nad oes gweithdrefn resymol ar gael i allu rhoi cyfrif am newidiadau mewn BD dros amser (Schrumpf *et al.*, 2011). Ar y cyfan, er y gall mesur BD yn uniongyrchol ar adeg y broses samplu fod yn llafurus, mae'n ei gwneud hi'n haws adnabod newidiadau ac yn arwain at ganlyniadau mwy cywir.

- Yr her o hyd yw amcangyfrif cynnwys cerrig priddoedd a samplwyd yn gywir, a all gael effaith sylweddol ar swmp ddwysedd y pridd (e.e. Poeplau *et al.*, Hopley *et al.*, 2018). Yn aml, bydd PTF yn anwybyddu cyfran y pridd a ffurfir o ddarnau o gerrig. Mae angen ystyried y gyfran hon er mwyn adlewyrchu cyfansoddiad gwreiddiol y sampl pridd. Weithiau, caiff addasiadau o'r fath eu diystyru a gall hyn arwain at nodi newidiadau cyflym neu anarferol o fawr yng nghyfanswm y carbon organig pridd (GRDC, 2013). Ar gyfer samplau arolwg CS yn 2007, cyfrifwyd BD ar samplau heb gynnwys cerrig; lle y defnyddiwyd PTF i gyfrifo BD, ni rhoddir cyfrif am y cerrig.
- Mae'n amlwg, os yw'r swmp ddwysedd yn wahanol, y bydd màs y pridd yn wahanol, gan arwain at sail anghyson ar gyfer cymharu. Felly, mae rhai awduron wedi dadlau, er mwyn olrhain newidiadau mewn stociau SOC dros amser, bod angen cymharu'r stociau SOC ar gyfer yr un màs o bridd. Gellir gwneud hyn drwy amcangyfrif stociau SOC ar sail màs pridd cyfatebol (ESM). Cafodd newidiadau mewn SOC dros amser yn y CS a'r NSI eu cymharu ar ddyfnder penodol yn hytrach nag ar sail màs cyfatebol.
- Ar y cyfan, mae newidiadau mewn arferion rheoli sy'n dylanwadu ar gynnwys carbon hefyd yn effeithio ar swmp ddwysedd y pridd (Haynes a Naidu, 1998), ac felly hefyd ar swm y pridd sy'n cael ei samplu ar ddyfnder samplu penodol. Awgrymwyd mai 'sail màs cyfatebol' fyddai'r ffordd fwyaf priodol o gymharu stociau SOC ar draws defnyddiau tir a systemau rheoli gwahanol (e.e. Ellert a Bettany, 1995; Wendt a Hauser, 2013). Fodd bynnag, efallai na fyddai'r dull hwn yn ymarferol ar gyfer rhaglenni monitro cenedlaethol.

Tabl 6. Dulliau o roi cyfrif am ddarnau o gerrig mewn pridd

Dull			
		$\text{sampl BD} = \frac{\text{sampl màs}}{\text{sampl cyfaint}}$ $\text{stoc SOC} = \% \text{SOC}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{sampl BD} \times \text{dyfnder}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caiff y cyfaint hysbys o bridd ei samplu, ei sychu a'i bwyso er mwyn nodi BD. Ni wahenir y gronynnau bach o bridd oddi wrth y gronynnau breision (darnau o gerrig, gwreiddiau). Cyfrifir BD ar gyfer y sampl gyfan.</li> <li>• Nodir y crynodiad C mewn sampl o ronynnau bach o bridd wedi'u rhidyllu (&lt; 2 mm fel arfer).</li> <li>• Ni rhoddir cyfrif am ddarnau o gerrig.</li> </ul>
		$\text{BD}_{\text{gronynnau bach o bridd}} = \frac{\text{sampl màs-màs}_{\text{darnau o gerrig}}}{\text{sampl cyfaint} - (\text{màs}_{\text{darnau o gerrig}} / \text{dwysedd}_{\text{darnau o gerrig}})}$ $\text{stoc SOC} = \% \text{SOC}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{BD}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{dyfnder}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caiff y cyfaint hysbys o bridd ei samplu, ei sychu a'i bwyso er mwyn nodi BD. Ar ôl rhidyllu'r pridd, caiff màs a chyfaint y darnau o gerrig/gwreiddiau eu nodi. Cyfrifir BD ar gyfer y gronynnau bach o bridd.</li> <li>• Nodir y crynodiad C mewn sampl o ronynnau bach o bridd wedi'u rhidyllu (&lt; 2 mm fel arfer).</li> <li>• Tybir dwysedd darnau o gerrig, tua 2.6 g/cm<sup>3</sup> wrth gyfrifo BD.</li> </ul>
		$\text{sampl BD} = \frac{\text{sampl màs}}{\text{sampl cyfaint}}$ $\text{stoc SOC} = \% \text{SOC}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{sampl BD} \times \text{dyfnder} \times (1 - \text{cyfran y darnau o gerrig})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caiff y cyfaint hysbys o bridd ei samplu, ei sychu a'i bwyso er mwyn nodi BD. Ar ôl rhidyllu'r pridd, caiff màs a chyfaint y darnau o gerrig/gwreiddiau eu nodi.</li> <li>• Nodir y crynodiad C mewn sampl o ronynnau bach o bridd wedi'u rhidyllu (&lt; 2 mm fel arfer).</li> <li>• Defnyddir y darnau o gerrig i leihau cyfaint y pridd wrth gyfrifo SOC.</li> </ul>
	Cyfaint y pridd heb SOC	$\text{BD}_{\text{gronynnau bach o bridd}} = \frac{\text{sampl màs-màs}_{\text{darnau o gerrig}}}{\text{sampl cyfaint} - (\text{màs}_{\text{darnau o gerrig}} / \text{dwysedd}_{\text{darnau o gerrig}})}$ $\text{stoc SOC} = \% \text{SOC}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{BD}_{\text{gronynnau bach o bridd}} \times \text{dyfnder} \times (1 - \text{cyfran y darnau o gerrig})$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caiff y cyfaint hysbys o bridd ei samplu, ei sychu a'i bwyso er mwyn nodi BD. Ar ôl rhidyllu'r pridd, caiff màs a chyfaint y darnau o gerrig/gwreiddiau eu nodi.</li> <li>• Nodir y crynodiad C mewn sampl o ronynnau bach o bridd wedi'u rhidyllu (&lt; 2 mm fel arfer).</li> <li>• Tybir dwysedd darnau o gerrig, tua 2.6 g/cm<sup>3</sup> wrth gyfrifo BD, a'i ddefnyddio i leihau cyfaint y pridd wrth gyfrifo SOC.</li> </ul>
Hobley <i>et al.</i> , 2018.		$\text{stoc SOC} = C_{\text{gronynnau bach}} (1 - \text{cyfran màs}_{\text{gronynnau breision}}) \times \text{BD} \times \text{dyfnder}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C<sub>gronynnau bach</sub> yw cyfran màs C mewn gronynnau bach o bridd (g/kg).</li> <li>• Cyfran màs<sub>gronynnau breision</sub> yw cyfran màs gronynnau breision o bridd o gymharu â'r pridd i gyd.</li> </ul>

\*Defnyddir gwahanol arlliwiau o frown i nodi dwyseddau gwahanol: defnyddir y brown tywyllach i gynrychioli'r darnau o gerrig a defnyddir y brown goleuach i gynrychioli'r gronynnau bach o bridd.

## 5 Monitro newid mewn SOC

- Mae dealltwriaeth anghyflawn o ddylanwad yr hinsawdd ar newidiadau mewn SOC, defnydd tir a ffactorau rheoli priddoedd yn gwneud y broses o gynllunio llwyfannau monitro, adrodd a dilysu (MRV) yn fwy cymhleth (Smith *et al.*, 2020). Fodd bynnag, mae rhoi cyfrif am newidiadau mewn SOC yn amcan polisi pwysig o hyd (Jensen *et al.*, 2018). Yng Nghymru, nod y Llywodraeth, fel y'i nodir yn y Polisi Adnoddau Naturiol, yw 'cydgysylltu ac ymwreiddio'r arferion gorau ar gyfer rheoli ein hadnoddau pridd yn gynaliadwy' (Llywodraeth Cymru, 2017). Caiff arferion gorau eu llywio 'trwy fonitro tueddiadau mewn stoc garbon, gwella dealltwriaeth o'r adnodd pridd a thanlinellu pwysigrwydd gweithredol bioamrywiaeth y pridd a'r tueddiadau mewn macrofaethynnau a'r dulliau o'u rheoli'.
- Mae dau fath o newid y gellir ei fesur o ran stociau SOC: newid dros amser o gymharu â llinell sylfaen (neu gyfnod cyfeirio), a newid mewn perthynas â strategaeth reoli amgen. Mae amcangyfrifon cywir o newidiadau yn y stoc SOC yn dibynnu'n helaeth ar werthoedd sylfaen cadarn, a bennir drwy broses samplu ffisegol a thrwy fesur cynnwys C y pridd. Yr her yw nodi'r llinell sylfaen a'i hamrywioldeb cynhenid yn gywir (Tabl 7).

**Tabl 7. Ffynonellau cyfeiliornadau wrth fesur SOC ar raddfeydd sampl, proffil, llain a thirwedd. Nodir y ffynonellau sy'n debygol o gynhyrchu nifer mawr o gyfeiliornadau mewn testun trwm (Ffynhonnell: Vanguelova *et al.*, 2016).**

Graddfa	Ffynhonnell Cyfeiliornad
Sampl	Ni chaiff samplau cyfansoddiad pridd eu homogoneiddio Gweithdrefnau dadansoddi anghyson ar gyfer C <b>Ni chaiff swmp ddwysedd ei asesu'n gywir</b> <b>Ni chaiff cyfaint darnau breision ei asesu</b> Ni chaiff haenau'r pridd eu gwahanu'n gywir
Proffil	Samplu yn ôl haenau o gymharu â dyfnder y pridd, yn dibynnu ar nodau ymchwil <b>Nid yw'r dyfnder samplu yn ddigonol i roi cyfrif am amrywioldeb fertigol</b>
Llain	<b>Ni roddir cyfrif am amrywioldeb micro-ofodol (nid yw'r strategaeth samplu yn briodol)</b>  Cyfeiliornad samplu ystadegol oherwydd cynlluniau samplu gwahanol Geo-gyfeirio anghywir (o ran y gwerthoedd a nodwyd) <b>Nid oes digon o bwyntiau samplu</b> <b>Ni chaiff swmp ddwysedd a chyfran y gronynnau breision eu dadansoddi</b> Cyfeiliornadau (mesur) dadansoddol gan gynnwys paratoi'r sampl Gwerthoedd coll, cyfeiliornadau cofnodi a blaendorri Cyfeiliornadau model (e.e. wrth ddewis rheolau neu swyddogaethau pedodrosglwyddo annigonol, ffactorau trosi a chysonion model annigonol ac ati, nid rhai wedi'u calibradu yn ôl safle/pridd penodol)
Tirwedd/Cenedlaethol	Diffyg cynrychiolaeth leol a rhanbarthol o ran lleiniau samplu <b>Caiff strata pwysig eu tangynrychioli (e.e. priddoedd mwynol gwlyb neu briddoedd mawn)</b> <b>Diffyg mapiau o rywogaethau coed/gorchudd coedwigoedd</b>



	<b>Diffyg mapiau cywir o briddoedd/hydroleg</b> Tirwedd – data hinsoddol nad ydynt yn ddigon manwl
--	---

- Mae'n rhaid i raglen monitro SOC i Gymru sydd wedi'i chynllunio'n dda fynd ati mewn ffordd gosteffeithiol i bennu llinell sylfaen ar gyfer crynodiadau a stociau SOC a gallu monitro newid dros amser yn hyderus. Mae'r adrannau canlynol yn ystyried elfennau'r cynllun monitro hwn.

### 5.1 Mesur crynodiad a stociau SOC

- Er mwyn pennu crynodiad/stociau SOC, mae'n rhaid mesur y canlynol:
  - Y gronynnau mwynol bach yn y pridd (<2 mm) a'r gronynnau mwynol breision (>2 mm) yn y pridd
  - Crynodiad SOC yn y gronynnau bach o bridd
  - Swmp ddwysedd y pridd neu fàs y gronynnau bach o bridd.
  - Dyfnder y sampl pridd a/neu'r màs pridd a samplwyd.
  - Lleoliad y sampl
- Mae angen ystyried nifer y samplau a'r cynllun samplu yn ofalus hefyd.

#### 5.1.1 Crynodiad SOC

- Mae'n hollbwysig bod cynnwys SOC yn cael ei nodi'n gywir ac yn drachywir er mwyn sicrhau y ceir amcangyfrifon dibynadwy o stociau SOC (e.e. Goidts *et al.*, 2009; Schrupf *et al.*, 2011). Er bod LOI wedi cael ei ddefnyddio'n aml yn y gorffennol, dull o fesur SOM ydyw (yn hytrach na SOC) ac mae angen defnyddio ffactor trosi i bennu SOC. Fodd bynnag, nid oes cytundeb cyffredinol ynghylch y ffactor trosi mwyaf priodol. Mae proses o fesur SOC yn uniongyrchol, drwy dulliau hylosgi sych awtomataidd ar dymheredd uchel (Chatterjee *et al.*, 2009) yn debygol o roi mesuriad mwy cyson a chywir. Fodd bynnag, nododd adolygiad o gostau dadansoddi ar gyfer LOI a dulliau hylosgi sych a ddefnyddir mewn labordai masnachol nad oedd technegau hylosgi sych yn cael eu cynnig gan bob labordy a'u bod yn costio dwywaith cymaint ag asesiadau LOI (Tabl 7).

**Tabl 8. Cost gwaith dadansoddi SOC a SOM mewn labordai yn y DU (Ionawr 2020).**

Labordy	Dull	Cost (£ fesul sampl heb TAW)
Labordy A	SOM drwy LOI	£10.20
	Soc drwy hylosgi sych	£22.66
Labordy B	SOC drwy hylosgi sych	£8.00
Labordy C	SOM drwy LOI	£8.00

#### 5.1.2 Swmp ddwysedd a màs pridd

- Mae'n hollbwysig bod swmp ddwysedd pridd yn cael ei fesur yn gywir er mwyn mesur stociau SOC (Schrumpf *et al.*, 2011). Bydd swmp ddwysedd pridd, yn enwedig yn yr uwchbridd, yn amrywio yn ôl y tywydd a dulliau rheoli'r pridd/tir. Mae swyddogaethau PTF wedi cael eu defnyddio i amcangyfrif swmp ddwysedd. Fodd bynnag, mae tystiolaeth o'r llenyddiaeth yn awgrymu bod defnyddio'r swyddogaethau hyn yn aml yn cynyddu amrywiant stociau SOC amcangyfrifedig a'r ansicrwydd yn eu cylch. Yn gyffredinol, proses fesur uniongyrchol ar adeg samplu SOC sy'n debygol o roi'r asesiad mwyaf cywir o swmp ddwysedd. Fodd bynnag, mae'r dechneg yn un llafurddwys ac yn fwy costus na defnyddio gwerthoedd amcangyfrifedig.

- Bydd newidiadau mewn swmp ddwysedd pridd yn effeithio ar faint o bridd a gaiff ei samplu o fewn dyfnder samplu penodol. Bydd defnyddio 'màs cyfatebol' wrth gyfrifo stociau SOC yn ystyried newidiadau mewn swmp ddwysedd dros amser wrth gymharu stociau SOC ar draws defnyddiau tir a systemau rheoli gwahanol. Fodd bynnag, mae'n bosibl bod y dull màs cyfatebol yn fwy addas ar gyfer cymharu effaith newidiadau rheoli pridd ar raddfa cae.
- Dylai defnyddio samplau o'r un lle i fesur SOC a BD arwain at lai o gyfeiliornadau wrth fesur stociau SOC. Bydd sicrhau bod SOC yn cael ei bennu ar sail màs cyfatebol yn hytrach nag ar sail dyfnder pridd rhagosodedig yn arwain at lai o gyfeiliornadau hefyd mewn perthynas â newidiadau mewn swmp ddwysedd pridd.

### 5.1.3 Dyfnder samplu pridd

- Mae cymryd samplau ar y dyfnder priodol yn ffactor allweddol wrth sicrhau bod newidiadau yng nghynnwys C y pridd yn cael eu gwerthuso'n gywir. Yn y rhan fwyaf o briddoedd, bydd y mwyafrif helaeth o ddeunydd organig yn bresennol yn yr uwchbridd gan mai dyma ble y ceir y rhan fwyaf o'r deunydd organig o weddillion planhigion. Mae'r IPCC yn nodi y dylid samplu pridd i ddyfnder o 30 cm o leiaf ar gyfer rhestrau C pridd. Mae hyn yn debygol o nodi'r rhan fwyaf o'r newidiadau byrdymor mewn stociau SOC sy'n deillio o ddefnydd tir ac arferion rheoli (e.e. amaethu, defnyddio gwrteithiau ac ati), er bod rhai arferion yn gallu effeithio ar rannau dyfnach y proffil pridd (Smith *et al.*, 2020). Argymhellir y dylid samplu pridd yn ddyfnach (100 cm) (FAO, 2019) ond, yn aml, bydd angen peiriannau penodol ac mae'n broses gostus.
- Mae dyfnder samplu o 0-30 cm (ynghyd ag asesiad o swmp ddwysedd) yn debygol o roi cyfrif am y mwyafrif o SOC a chynrychioli'r opsiwn gorau o ran cost. Mae hyn yn ddyfnach na'r samplau a gymerwyd yn flaenorol ar gyfer yr NSI a'r CS ond mae'n gyson ag argymhellion yr IPCC ar gyfer canfod effaith newidiadau sy'n deillio o arferion rheoli ar stociau SOC

### 5.1.4 Lleoli/adleoli samplau

- Wrth asesu effaith newidiadau mewn SOC dros amser, mae cymryd samplau o leoliadau penodol yn debygol o leihau'r ansicrwydd sy'n gysylltiedig â'r asesiadau. Drwy ddewis lleoliad penodol, bydd modd ystyried unrhyw effeithiau sy'n gysylltiedig â newid mewn defnydd tir (Black *et al.*, 2008). Dylid cymryd digon o fanylion am y safle er mwyn gallu adleoli ar ôl 5-10 mlynedd (e.e., cyfesurynnau GPS ac ati).

### 5.1.5 Nifer y samplau a'r cynllun samplu

- Bydd y cynllun mwyaf priodol ar gyfer cynllun monitro pridd yn dibynnu ar y paramedrau a fesurir ac amcan y cynllun. Mae Black *et al.* (2008) yn awgrymu y gellir categorio monitro fel 1) statws/amgylchol: i nodweddu neu fesur SOC ac asesu newid dros amser, 2) tuedd/effaith: i asesu effeithiau pwysau neu newidiadau rheoli ar SOC a 3) rheoleiddiol/cydymffurfiaeth: i nodi a yw priddoedd yn cyrraedd safonau neu dargedau penodol. Yn aml, bydd angen i gynllun monitro fynd i'r afael â'r tair agwedd hyn.
- Aeth Black *et al.* (2008) ati i gymharu cynlluniau samplu ar gyfer monitro SOC. Roedd yr astudiaeth yn cymharu dau gynllun sy'n seiliedig ar fodelau: 1) grid a 2) grid wedi'i optimeiddio a dau gynllun sy'n seiliedig ar gynllun: 1) haenedig ar hap (yn ôl gwlad a chynffin) a 2) haenedig ac wedi'i glystyru ar hap (yn ôl gwlad, cynffin a samplu clwstwr). Mae cynlluniau sy'n seiliedig ar fodelau yn tybio bod amrywiadau mewn SOC yn deillio o broses sy'n digwydd ar hap fel y gellir gosod pwyntiau samplu mewn ffordd systematig (e.e. mae'r NSI yn defnyddio grid 5 km). I'r gwrthwyneb, mae rhai sy'n seiliedig ar gynllun yn seiliedig ar hapsamplu poblogaeth neu is-boblogaeth (strata) (e.e. mae'r CS yn cymryd is-sampl haenedig ar hap o sampl systematig). Nodwyd mai'r cynllun haenedig ar hap oedd yr opsiwn mwyaf addas i fynd i'r afael â statws

carbon organig pridd a'r newid ynddo. Mae dulliau sy'n seiliedig ar gynllun â samplu haenedig ar hap yn golygu bod modd targedu'r samplau, gan sicrhau'r targedu gofodol gorau posibl. Roeddent hefyd yn dangos llai o amrywiant o ran amcangyfrifon o gymharu â strategaethau sy'n seiliedig ar fodolau.

- Mae mesuriadau cywir yn dibynnu ar gynllun astudiaethau a phrotocolau samplu priodol er mwyn mynd i'r afael â'r amrywioldeb gofodol mawr mewn stociau SOC (Minasny *et al.*, 2017). Yn aml, nid yw'n bosibl canfod newidiadau mewn SOC oni chaiff nifer mawr iawn o samplau eu defnyddio a bod y newidiadau cronus dros amser yn ddigon mawr i gael eu canfod (Schrumpf *et al.*, 2011). Yn gyffredinol, bydd arolygon cenedlaethol mawr â dwysedd samplu isel (<1 safle fesul 100 km<sup>2</sup>) yn mabwysiadu cynllun haenedig er mwyn cynnwys yr holl unedau pwysig (van Wesemael *et al.*, 2011). Fel y nodwyd uchod, y cynllun samplu mwyaf cyffredin ar gyfer rhwydweithiau sy'n monitro stociau SOC rhanbarthol/cenedlaethol yw cynllun haenedig (yn ôl pridd/defnydd tir/hinsawdd) neu gynllun sy'n seiliedig ar grid. Dylid nodi'r amrywioldeb (disgwyliedig) o fewn yr unedau hyn er mwyn asesu'r nifer optimaidd o samplau sydd eu hangen er mwyn sicrhau bod y gwaith samplu yn gynrychioliadol (Smith *et al.*, 2020).
- Gellir cyfrifo'r gwahaniaeth canfyddadwy lleiaf (h.y. y gwahaniaeth lleiaf mewn stoc SOC y gellir ei ganfod fod gwahaniaeth ystadegol bwysig rhwng dau gyfnod samplu) i fesur arwyddocâd unrhyw newidiadau mewn SOC a fesurir dros amser. Nodwyd yr enghraifft isod gan Lark (2009). Mewn astudiaeth maes 3 blynedd lle roedd 5 atgynhyrchiad a SOC cychwynnol o 40-46 Mg C/ha (gwryiad safonol o wahaniaethau paredig ar ôl y cyfnod arbrofol o 3 blynedd 1.34) a chynnydd disgwyliedig o 0.8 Mg C/ha/blwyddyn mewn SOC, byddai modd canfod gwahaniaethau o 2.58 Mg/ha mewn SOC ar ôl 5 mlynedd gyda thebygolrwydd o 90%. Yn yr enghraifft hon, mae'r gwahaniaeth canfyddadwy lleiaf (MDD) yn fwy na'r newid disgwyliedig (0.8 x 3 = 2.4 Mg C/ha) a byddai angen cynyddu nifer y samplau. Gyda 10 sampl, byddai'r MDD yn 1.55 a byddai sampl o 10 yn ddigon mawr i ganfod gwahaniaethau sylweddol ar ddiwedd yr arbrawf. Fodd bynnag, mae'r dull hwn yn tybio bod yr amrywiad yng nghymedrau'r samplau eisoes yn hysbys. Er mwyn helpu i bennu'r defnydd mwyaf effeithlon o'r ymdrech samplu a phennu amrywiant, gellid cynnal arolwg ailsamplu archwiliol cychwynnol er mwyn amcangyfrif amrywiant y newid.

$$\sqrt{\frac{1.34^2}{5}} \cdot (2.776 + 1.533) = 2.58$$

$$\sqrt{\frac{1.34^2}{10}} \cdot (2.262 + 1.383) = 1.55$$

gwerthoedd t o 2.776 (gwerth critigol o'r dosbarthiad t) ac  
1.533 (chwartel unochrog o'r dosbarthiad t). Graddau rhyddid:  
4

gwerthoedd t o 2.262 (gwerth critigol o'r dosbarthiad t) ac  
1.383 (chwartel unochrog o'r dosbarthiad t). Graddau rhyddid:  
9

- Dull arall a gynigiwyd o fonitro newid yw nodi safleoedd meincnod (Smith *et al.*, 2020). Awgrymodd Smith *et al.* (2020) y dylai'r safleoedd gael eu lleoli ar fathau o orchudd tir/defnydd tir cynrychioliadol â mathau o bridd cynrychioliadol ac arferion rheoli cynrychioliadol. Gallai'r safleoedd ddarparu llwyfan i brofi arferion rheoli er mwyn cynyddu SOC mewn cynlluniau bloc sy'n gwbl seiliedig ar hapsamplau, gyda newid mewn SOC yn cael ei fesur dros amser (mesuriadau bob ychydig flynyddoedd) a phrosesau tymor byrrach (fel allyriadau nwyon tŷ gwydr) yn cael eu mesur yn amlach. Yn ymarferol, byddai'r adnoddau sydd eu hangen er mwyn sefydlu safleoedd meincnod yn cyfyngu ar y cyfuniadau o ddefnydd tir, hinsawdd, math o bridd ac arferion rheoli a fesurir.

## 5.2 Casgliadau ar gyfer rhaglen fonitro

- Ymhlith y gofynion ar gyfer rhaglen monitro SOC gynhwysfawr mae:

- Mesuriadau uniongyrchol o garbon organig pridd yn hytrach na mesuriadau a gesglir o fesuriadau SOM.
- Mesuriadau swmp ddwysedd a SOC o samplau a gydleolir er mwyn lleihau ansicrwydd wrth gyfrifo stociau SOC.
- Samplu i 30 cm; mae hyn yn ddyfnach na'r samplau a gymerwyd yn flaenorol ar gyfer yr NSI a'r CS ond mae'n gyson ag argymhellion yr IPCC.
- Rhaglen ehangach ychwanegol â chymariaethau paredig mwy penodol ynghylch effaith newidiadau mewn arferion rheoli tir ar SOC.

## 6 Argymhellion ar gyfer monitro carbon organig pridd yng Nghymru

### 6.1 Cynllun monitro cenedlaethol/arolygion mynych

- Bydd cynllun monitro cenedlaethol sydd wedi'i gynllunio'n dda yn golygu bod modd mesur newidiadau gofodol a thymhorol mewn SOC a stociau SOC, gan roi troslwg cenedlaethol o newid. Fodd bynnag, gall fod yn anodd cysylltu newidiadau mewn carbon pridd ag unrhyw ffactorau rheoli ysgogol rhwng dyddiadau samplu (y gall fod nifer o flynyddoedd rhyngddynt) gan nad yw'n debygol y bydd gwybodaeth fanwl ar gael.
- Awgrymir y dylai'r gwaith o samplu SOC yng Nghymru gael ei drefnu gan ddefnyddio cynllun sy'n seiliedig ar broses hapsamplu haenedig. Y prif reswm am yr elfen haenu yw gwella effeithlonrwydd y broses samplu o gymharu â phroses hapsamplu syml. Mae'r dull hwn yn golygu bodd modd targedu'r samplau, gan sicrhau'r targedu gofodol gorau posibl. Dangoswyd hefyd fod llai o amrywiant o ran amcangyfrifon o gymharu â strategaethau sy'n seiliedig ar fodolau. Gallai'r haenu fod yn seiliedig ar ddefnydd tir (e.e. glaswelltir o gymharu â thir â'r), glawiad a chynnwys clai yn y pridd; Dangosodd Verheijen *et al.* (2005) fod angen ystyried % clai a dyodiad wrth reoli SOC ac ymchwilio i effeithiau arferion rheoli ar % SOC.
- Mae canllawiau'r IPCC yn awgrymu y dylai'r samplau gael eu cymryd hyd at ddyfnder o 30 cm (dylai hyn hefyd nodi'r rhan fwyaf o'r newidiadau byrdymor mewn SOC a achosir gan newidiadau mewn arferion amaethyddol). Mae protocolau samplu pridd safonol (e.e. Canllaw Rheoli Maethynnau AHDB) yn awgrymu y dylid cymryd swmp sampl sy'n cynnwys tua 25 o greiddiau ym mhob safle. Dylid cofnodi lleoliad y samplau yn gywir (e.e. gan ddefnyddio GPS) ynghyd â data ynghylch gweithgaredd fferm (e.e. cnydio, amaethu, gwrtaith organig/defnyddio maethynnau), gan ddefnyddio nifer o gategorïau diffiniedig yn seiliedig ar reoli tir. Bydd hyn yn golygu y bydd modd cymryd samplau dilynol o'r un pwynt fel bod modd asesu newid dros amser yn gywir.
- Mae'n fwy tebygol y ceir amcangyfrifon cywir o SOC drwy fesur SOC yn uniongyrchol yn hytrach na thrwy ddefnyddio mesuriadau SOM, a gymhlethir gan yr angen i ddefnyddio ffactor trosi.
- Mae amcangyfrifon o stociau SOC cenedlaethol hefyd yn gofyn am nifer digonol o samplau er mwyn sicrhau bod y gronfa ddata yn rhoi cynrychiolaeth gywir o'r haeniad. Er enghraifft, yng Nghymru, cymerwyd samplau pridd CS o 107 o sgwariau 1 km (mewn 8 dosbarth tir) sy'n cyfateb i ddwysedd samplu o 0.5% o gyfanswm yr arwynebedd tir yng Nghymru (21,091 km<sup>2</sup>) (Wood, 2011). Dyrannwyd nifer y samplau yn unol â'r dosbarthiadau tir er mwyn sicrhau bod 0.5% o'r sgwariau 1 km<sup>2</sup> ym mhob dosbarth yn cael ei samplu. Pe bai'r broses samplu yn seiliedig unwaith eto ar haenu sgwariau grid o 1 km, yna byddai angen 210 o samplau i sicrhau dwysedd samplu o 1% a 2,100 i sicrhau dwysedd samplu o 10%.
- Argymhellir y dylid cymryd mesuriadau swmp ddwysedd o samplau a gydleolir er mwyn lleihau ansicrwydd wrth gyfrifo stociau SOC. Gellir defnyddio swyddogaethau pedodrosglwyddo (sy'n defnyddio newidynnau eraill i amcangyfrif swmp ddwysedd), ond mae tystiolaeth o'r llenyddiaeth yn awgrymu bod hyn yn aml yn cynyddu amrywiant stociau SOC amcangyfrifedig

a'r ansicrwydd yn eu cylch. Yn gyffredinol, proses fesur uniongyrchol ar adeg samplu SOC sy'n debygol o roi'r asesiad mwyaf cywir o swmp ddwysedd a'r stoc SOC. Fodd bynnag, mae'r dechneg yn un llafurddwys ac yn fwy costus na defnyddio gwerthoedd amcangyfrifedig.

- Byddai mesuriadau ychwanegol o pH y pridd, P, K ac Mg, ynghyd â data gweithgarwch sy'n disgrifio arferion rheoli tir mewn caeau a gaiff eu samplu fel rhan o'r arolwg, yn rhoi gwybodaeth ddefnyddiol er mwyn helpu i ddehongli ac egluro gwahaniaethau mewn stociau SOC rhwng safleoedd.

## **6.2 Monitro newidiadau mewn SOC ar raddfa cae**

- Gellir monitro newidiadau mewn SOC ar raddfa cae er mwyn ategu gwaith monitro cenedlaethol a rhoi gwybodaeth fanylach am effaith arferion rheoli penodol ar stociau SOC. Gallai hyn gynnwys rhaglen o arbrofion yn y maes neu gymariaethau paredig wedi'u targedu o effaith newidiadau mewn arferion rheoli tir (e.e. o laswelltir i dir âr) ar SOC. Gallai arferion arfaethedig i gynyddu SOC gael eu profi mewn cynlluniau bloc sy'n gwbl seiliedig ar hapsamplu gyda SOC a swmp ddwysedd yn cael eu mesur yn rheolaidd er mwyn monitro newid. Dylai lleoliadau safleoedd gael eu dewis yn unol â'r paramedrau a ddefnyddir i haenu'r cynllun monitro cenedlaethol.

## **7 Casgliadau cyffredinol**

- Er mwyn gwobrwyo arferion rheoli sy'n cynnal neu'n gwella SOC, mae'n hanfodol bod unrhyw fetrigau a ddewisir yn gallu pennu lefelau sylfaen yn gyntaf ac, yn ail, yn gallu monitro cynnydd neu ostyngiad yn y lefel sylfaen. Mae dwy raglen monitro pridd genedlaethol (y Rhestr Genedlaethol o Briddoedd (NSI) a'r Arolwg Cefn Gwlad (CS)) wedi nodi tystiolaeth anghyson o ran newidiadau mewn carbon yn yr uwchbridd yng Nghymru a Lloegr. Yn ôl yr NSI, gwelwyd colledion mewn carbon yn pridd rhwng 1978 a 2007 ond, yn ôl y CS, ni fu unrhyw newid. Roedd samplau pridd mwy diweddar a gymerwyd ar gyfer Rhaglen Monitro a Gwerthuso Glastir rhwng 2012 a 2016 hefyd yn awgrymu na fu unrhyw newid mewn carbon uwchbridd yng Nghymru (Emmett *et al.*, 2017). Mae'r anghysondeb hwn mewn lefelau SOC a nodwyd gan y ddwy raglen fonitro yn golygu ei bod hi'n anodd mynd ati'n hyderus i bennu lefel sylfaen ar gyfer SOC.
- Mewn adolygiad gan Kirk *et al.* (2011), cafodd gwahaniaethau yn y gwaith dehongli ystadegol, y broses samplu neu'r fethodoleg ddadansoddi, y cynllun samplu neu'r broses o adleoli safleoedd fel rhesymau dros y gwahaniaethau rhwng y ddau arolwg. Fodd bynnag, ni nodwyd unrhyw ffactorau a oedd yn rhoi eglurhad pendant ynghylch y gwahaniaethau.
- Un o'r prif wahaniaethau rhwng yr NSI a'r CS oedd y dulliau gwahanol a ddefnyddiwyd i fesur crynodiad SOC. Y dull a ddefnyddiwyd gan yr NSI oedd MWB, sy'n mesur SOC yn uniongyrchol. Y dull a ddefnyddiwyd gan yr CS oedd LOI. Mae'r dull hwnnw'n mesur SOM a gaiff ei drosi'n SOC yn ddiweddarach gan ddefnyddio ffactor trosi priodol; Gallai dewis ffactor trosi priodol (i drosi SOM yn SOC) arwain at gyfeiriadau wrth amcangyfrif SOC, er y dylai'r defnydd o ffactor trosi sy'n benodol i set ddata (yn y CS) fod wedi lleihau'r ansicrwydd hwnnw. Fodd bynnag, lle mae angen mesur SOC (yn hytrach na SOM), awgrymir (fel arfer gorau) y dylai gael ei fesur yn uniongyrchol yn hytrach na'i allosod. Mae'r fethodoleg wahanol a ddefnyddir i nodi'r crynodiad SOC yn golygu ei bod hi'n anodd cymharu'r ddau yn uniongyrchol. Yn bwysig ddigon, daeth Roper *et al.* (2019) i'r casgliad y dylid bod yn ofalus iawn wrth gymharu SOM a SOC a gasglwyd drwy ddefnyddio dulliau dadansoddi gwahanol a phriddoedd gwahanol, nes y bydd dull dibynadwy yn cael ei ddatblygu i drosi canlyniadau dulliau dadansoddi gwahanol o fesur SOC/SOM (e.e. MWB a LOI fel y'u defnyddiwyd yn yr NSI a'r CS, yn y drefn honno).

- Yn ogystal â'r amrywiant yn y crynodiad SOC dros amser, mae swmp ddwysedd pridd hefyd yn amrywio dros amser. Gall hyn gael effeithiau sylweddol ar y broses o gyfrifo stociau SOC. Byddai cymharu stoc SOC ar yr un dyfnder (e.e. 0-30 cm) mewn priddoedd â BD gwahanol ond yr un crynodiad SOC yn awgrymu bod gan y pridd â'r BD isaf lai o SOC hefyd. Mewn gwirionedd, dim ond gwahaniaethau ym mäs y pridd yn yr haenau 0-30 cm a ddangosir gan y gwahaniaeth hwn, yn hytrach na newidiadau mewn stociau SOC. Mae newidiadau mewn BD yn debygol o ddigwydd yn amlach yn yr haenau arwynebol, felly byddai newidiadau dros amser yn debygol yn y samplau pridd a gymerwyd ar ddyfnder o 0-15 cm yn astudiaethau'r CS a'r NSI.
- Y CS yn 2007 oedd yr arolwg cenedlaethol cyntaf yn y DU i amcangyfrif y stoc carbon uwchbridd gan ddefnyddio mesuriadau swmp ddwysedd a chrynodiad C mewn pridd o'r un safleoedd. Mae hyn yn rhoi mwy o hyder yn y broses o gyfrifo SOC ar gyfer yr arolwg diweddaraf.
- Ar gyfer samplau CS blaenorol (h.y. 1978 a 1998), defnyddiwyd swyddogaeth bedodrosglwyddo yn seiliedig ar y gydberthynas rhwng BD a chrynodiad SOC yn 2007 i gyfrifo'r stoc SOC. Yn yr un modd, defnyddiodd yr NSI swyddogaeth bedodrosglwyddo (PTF) (un wahanol i'r un a ddefnyddiwyd ar gyfer y CS), yn hytrach na mesuriadau BD gwirioneddol i gyfrifo'r stoc SOC. Mae'r dulliau gwahanol o asesu swmp ddwysedd pridd yn ei gwneud hi'n anodd cymharu'r data o'r ddau arolwg yn uniongyrchol. Mae defnyddio swyddogaethau PTF yn aml yn arwain at fwy o amrywiant mewn stociau SOC amcangyfrifedig a'r ansicrwydd yn eu cylch os na roddir cyfrif cywir am gyfeiliornad sy'n gysylltiedig â chymhwysu'r swyddogaeth.
- Mae'r ansicrwydd a ychwanegir at amcangyfrifon o'r stoc drwy ddefnyddio PTF yn arwain at fwy o ansicrwydd ynghylch stociau SOC a amcangyfrifwyd gan yr NSI a samplau CS cynharach. Nid argymhellir defnyddio PTF i gyfrifo swmp ddwysedd mewn prosiectau monitro yn y dyfodol gan fod modd nodi newidiadau yn fwy cywir drwy ddefnyddio gwerthoedd mesuredig. Ar y cyfan, er y gall mesur BD yn uniongyrchol ar adeg y broses samplu fod yn llafurus, mae'n ei gwneud hi'n haws adnabod newidiadau ac yn arwain at ganlyniadau mwy cywir.
- Mae'n amlwg, os yw'r swmp ddwysedd yn wahanol, y bydd mäs y pridd yn wahanol, gan arwain at sail anghyson ar gyfer cymharu. Felly, mae rhai awduron wedi dadlau bod angen cymharu'r stociau SOC ar gyfer yr un mäs o bridd er mwyn olrhain newidiadau mewn stociau SOC dros amser. Gellir gwneud hyn drwy nodi stociau SOC ar sail mäs pridd cyfatebol (ESM), er mai dim ond ond ar raddfa cae y mae'r dull hwn yn ymarferol yn hytrach nag ar gyfer gwaith monitro cenedlaethol.

## 8 Cyfeiriadau

- Amundson, R., Berhe, A.A., Hopmans, J.W., Olson, C., Sztein, A.E. a Sparks, D.L. (2019) Soil science. Soil and human security in the 21st century. *Science*, 48: 1261071. doi:10.1126/science.1261071.
- Baker, J.M., Ochsner, T.E., Venterea, R.T. a Griffis, T.J. (2007). Tillage and carbon sequestration – What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118, 1-4.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lary, R.M. a Kirk, G.D. (2005). Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003. *Nature*, 437, 245-248
- Black, H., Bellamy, P., Creamer, R. Elston, D., Emmett, B., Frogbrook, Z., Hudson, G., Jordan, C., Lark, M., Lilly, A., Marchant, B., Plum, S., Potts, J., Reynolds, B., Thompson, R. a Booth, P. (2008). *Design and operation of a UK soil monitoring network*. Adroddiad Gwyddoniaeth SC060073. Asiantaeth yr Amgylchedd.
- Chapman, S.J., Bell, J.S., Campbell, C.D., Hudson, G., Lilly, A., Nolan, A.J., Robertson, A.H.J., Potts, J.M. a Towers, W. (2013), Comparison of soil carbon stocks in Scottish soils between 1978 and 2009. *European Journal of Soil Science*, 64, 455-465.
- Chatterjee, A., Lal, R., Wielopolski, L., Martin, M.Z. ac Ebinger, M.H. (2009). Evaluation of Different Soil Carbon Determination Methods. *Critical Reviews in Plant Science*, 28, 164-178.
- Christensen, B.T. a Malmros, P.Å. (1982). Loss-on-ignition and carbon content in a beech forest soil profile. *Holarctic Ecology*, 5, 376-380.
- Davis, M.R., Alves, B.J.R., Karlen, D.L., Kline, K.L., Galdos, M. ac Abulebdeh, D. (2018). Review of soil organic carbon measurement protocols: A US and Brazil comparison and recommendation. *Sustainability*, 10: 53. doi:10.3390/su10010053.
- De Vos, B., Vandecasteele, B., Deckers, J. a Muys, B. (2005). Capability of loss-on-ignition as a predictor of total organic carbon in non-calcareous forest soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2899-2921.
- Defra (2018). A Green Future. A 25 year Environment Plan To Improve the Environment. [www.gov.uk/government/publications](http://www.gov.uk/government/publications).
- Ellert, B.H. a Bettany, J.R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529-538.
- Ellert, B.H., Janzen, H.H. a McConkey, B.G. (2001). Measuring and comparing soil carbon storage. Yn: *Assessment Methods for Soil Carbon* (goln R. Lal, G. Kimble, R. Follet a B. Stewart), tt. 131-146. Lewis Publishers, Boca Raton, FL
- Emmett, B.E. a thîm GMEP (2017). *Rhaglen Monitro a Gwerthuso Glastir*. Adroddiad Terfynol i Lywodraeth Cymru. Cyfeirnod y contract: C147/2010/11. NERC/Y Ganolfan Ecoleg a Hydroleg (Prosiectau CEH: NEC04780/NEC05371/NEC05782).
- Emmett, B.A., Reynolds, B., Chamberlain, P.M., Rowe, E., Spurgeon, D., Brittain, S.A., Frogbrook, Z., Hughes, S., Lawlor, A.J., Poskitt, J., Potter, E., Robinson, D.A., Scott, A., Wood, C., Woods, C. (2010). *Countryside Survey: Soils Report from 2007*. Rhif Adroddiad Technegol CS 9/07.
- England, J.R. a Viscarra Rossel, R.A. (2018). Proximal sensing for soil carbon accounting. *SOIL*, 4, 101-122.

FAO (2019). *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems. Guidelines for assessment*. (Fersiwn 1). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Goidts, E., van Wesemael, B. a Crucifix, M. (2009). Magnitude and sources of uncertainties in soil organic carbon (SOC) stock assessments at various scales. *European Journal of Soil Science*, 60, 723-739.

GRDC (2013). *Managing soil organic matter. A practical guide*. Grains Research & Development Corporation.

Gregory, A.S., Dungait, J.A.J., Watts, C.W., Bol, R., Dixon, E.R., White, R.P. a Whitmore, A.P. (2016). Long-term management changes topsoil and subsoil organic carbon and nitrogen dynamics in a temperate agricultural system. *European Journal of Soil Science*, 67, 421-430.

Hardy, D. (2014). *Colorimetric Determination of Humic Matter with 0.2 N NaOH Extraction*. Yn: F.J. Sikora a K.P. Moore, golygyddion, Soil test methods from the Southeasten United States. Southern Extension and Research Activity Information Exchange Group 6. Prifysgol Georgia, Athens. t. 162–166.

Haynes, R.J. a Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51, 123-137.

Hobley, E.U., Murphy, B. a Simmons, A. (2018). Sylwadau ar “Soil organic stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content” gan Poeplau *et al.* (2017). *SOIL*, 4, 169-171.

Hoogsteen, M.J.J., Lantinga, E.A., Bakker, E.J., Groot, J.C.J. a Tiftonell, P.A. (2015). Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *European Journal of Soil Science*, 66, 320-328

IPCC. (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Y Panel Rhyngwladol ar Newid yn yr Hinsawdd.

Jensen, J.L., Christensen, B.T., Schjøning, P., Watts, C.W. a Munkholm, L.J. (2018). Converting loss-on-ignition to organic carbon content in arable topsoil: pitfalls and proposed procedure. *European Journal of Soil Science*, 69, 604-612.

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.

Kirk, G., Bellamy, P., Emmett, B. a Scott, A. (2011). *Comparison of topsoil carbon changes across England and Wales estimated in the Countryside Survey and the National Soil Inventory*. Prosiect SP1101 Defra.

Lark, P.M. (2009). Estimating the regional mean status and change of soil properties: two distinct objectives for soil survey. *European Journal of Soil Science*, 60, 748-756.

Lee, J., Hopmans, J.W., Rolston, D.E., Baer, S.G. a Six, J. (2009). Determining soil carbon stock changes: simple bulk density corrections fail. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 134, 251-256.

Meibus, L. J. (1960). A rapid method for the determination of organic carbon in soil. *Analytica Chimica Acta*, 22, 120-121.

Mehlich, A. (1984). Photometric determination of humic matter in soils, a proposed method. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1417-1422.

Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D., Chambers, A., Chaplot, V., Chen, Z-S., Cheng, K., Das, B.S., Field, D.J., Gimona, A., Hedley, C.B., Hong, S.Y., Mandal, B., Marchant,



- B.P., Martin, M., McConkey, B.G., Mulder, V.L., O'Rourke, S., Richer-de-Forges, A.C., Odeh, I., Padarian, J., Paustian, K., Pan, G., Poggio, L., Savin, I., Stolbovoy, V., van Wesemael, B. a Winowiecki, L. (2017). *Soil carbon 4 per mille. Geoderma*, 292, 59-86.
- Nayak, A.K., Mahmudur Rahman, M., Naidu, R., Dhal, B., Swain, C.K., Nayak, A.D., Tripathi, R., Shadid, M., Rafiqul Islam, M. a Pahak, H. (2019). Current and emerging methodologies for estimating carbon sequestration in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 665, 890-912.
- Nelson, D.W. a Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. Yn: Sparks, D.L. *et al.* (Golygyddion), *Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical Methods*. Cymdeithas Gwyddor Pridd America, Cyfres Llyfrau Rhif 5. Cymdeithas Gwyddor Pridd America — Cymdeithas Agronomeg America, Madison, WI, tt. 961–1010.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., a Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532, 49–57.
- Poeplau, C., Vos, C. a Don, A. (2017). Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *SOIL*, 3, 61-66
- Pribyl, D.W. (2010). A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma*, 156, 75-83.
- Rollett, A. J. a Williams, J.R. (2019). *SPEP2018-19/12 ALC literature review (Part 1)*. Adroddiad i Lywodraeth Cymru
- Roper, W.R., Robarge, W.P., Osmond, D. a Heitman, J.L. (2019). Comparing four method of measuring soil organic matter in North Carolina soils. *Soil Science Society of America Journal*, 83, 466-474.
- Salehi, M.H., Beni, O.H., Harchegani, H.B., Esfandiarpour Borujeni, I. a Motaghian, H.R. (2011). Refining soil organic matter determination by loss-on-ignition. *Pedosphere*, 21, 473-482.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K. a Schumacher, J. (2011). How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories? *Biogeosciences*, 8, 1193-1212.
- Smith, P., Soussana, J-F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D.P., Batjes, N.H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Arias-Navarro, C., Olesen, J.E., Chirinda, N., Fornara, D., Wollenberg, E., Álvaro-Fuentes, J., Sanz-Cobena, A. a Klumpp, K. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26, 219-241.
- Tinsley, J. (1950). Determination of organic carbon in soils by dichromate mixtures. Yn: Trans. 4th Int. Congr. Soil Sci., Cyf. 1. tt. 161–169. Hoitsemo Brothers, Gronigen, Yr Iseldiroedd.
- Van Bemmelen, J.M. (1891). Ueber die Bestimmungen des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den Colloidalen Silikaten gebunden Kieselsaeuren, des man-gans, u.s.w. im Ackerboden. *Landwirtschaftliche Versuch Station*, 37, 279-290.
- Vanguelova, E.I., Bonifacio, E., De Vos, B., Hoosbeek, M.R., Berger, T.W., Vesterdal, L., Armolaitis, K., Celi, L., Dinca, L., Kjønaas, O.J., Pavlenda, P., Pumpanen, J., Püttsepp, Ü., Reidy, B., Simončič, P., Tobin, B. a Zhiyanski, M. (2016). Sources of errors and uncertainties in the assessment of forest soil carbon stocks at different scales - review and recommendations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 630
- Van Wesemael, B., Paustian, K., Andrén, O., Cerri, C.E.P., Dodd, M., Etchevers, J., Goidts, E., Grace, P., Kätterer, T., McConkey, B.G., Ogle, S., Pan, G. a Siebner, C. (2011). How can soil monitoring

networks be used to improve predictions of organic carbon pool dynamics and CO<sub>2</sub> fluxes in agricultural soils? *Plant Soil*, 338, 247-259.

Verheijen, F.G.A., Bellamy, P.H., Kibblewhite, M.G. a Gaunt, J.L. (2005). Organic carbon ranges in arable soils of England and Wales. *Soil Use and Management*, 21, 2-9.

Wallace, P., Kirk, G., Bellamy, P., Emmett, B., Robinson, D., Robinson, I., Rawlins, B., Corstanje, R. a Bol, R. (2011). *Exploration of methodologies for accurate routine determination of soil carbon. Sub-Project IV of Defra Project SP1106: Soil carbon: studies to explore greenhouse gas emissions and mitigation*

Walkley A, Black LA (1934). An examination of the Dgtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29–38. doi: 10.1097/00010694-193401000-00003

Walkley, A. (1947). A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63, 251-263.

Wang, X., Wang, J. a Zhang, J. (2012). Comparisons of Three Methods for Organic and Inorganic Carbon in Calcareous Soils of Northwestern China. *PLoS ONE* 7(8): e44334.

Llywodraeth Cymru (2017). *Polisi Adnoddau Naturiol*.

Wendt, J.W. a Hauser, S. (2013). An equivalent soil mass procedure for monitoring soil organic carbon in multiple soil layers. *European Journal of Soil Science*, 64, 58-65.

Wood, C.M. (2011). *The sampling strategy for Countryside Survey (up to 2007)*. Diwygiwyd a diweddarwyd o: 'The sampling strategy for Countryside Survey', C.J. Barr, Medi 1988. Rhif Contract DETR CR0212.

Xu, L., He, N.P., Yu, G.R., Wen, D., Gao, Y. a He, H.L. (2015). Differences in pedotransfer functions of bulk density lead to high uncertainty in soil organic carbon estimation at regional scales: Evidence from Chinese terrestrial ecosystems. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120, 1567-1575.