

# Rhaglen Monitro a Modelu Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP)

## ERAMMP Adroddiad-68: Adolygiad o Leihau Allyrru Nwyon Tŷ Gwydr a Dal a Storio Carbon mewn Amaethyddiaeth i Ffurio Polisi Amaethyddiaeth a Defnydd Tir

Havard Prosser

Cyfeirnod y Cleient: Llywodraeth Cymru / Contract C210/2016/2017  
Fersiwn 1.0  
Dyddiad: 21-Mehefin-2022



Wedi'i Ariannu gan:



**Hanes y Fersiwn**

<b>Fersiwn</b>	<b>Diweddarwyd Gan</b>	<b>Dyddiad</b>	<b>Newidiadau</b>
1.0	Tîm Awduron	21/06/2022	Cyhoeddi

Mae'r adroddiad hwn ar gael yn electronig yma / This report is available electronically at: [www.erammp.wales/68](http://www.erammp.wales/68)

Neu trwy sganio'r cod QR a ddangosir / Or by scanning the QR code shown.



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

<b>Cyfres</b>	Rhaglen Monitro a Modelu Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP)
<b>Teitl</b>	ERAMMP Adroddiad-68: Adolygiad o Leihau Allyrru Nwyon Tŷ Gwydr a dal a Storio Carbon mewn Amaethyddiaeth i Ffurio Polisi Amaethyddol a Defnydd Tir
<b>Cleient</b>	Llywodraeth Cymru
<b>Cyfeirnod cleient</b>	C210/2016/2017
<b>Cyfrinachedd, hawlfraint ac atgynghyrchu</b>	© Hawlfraint y Goron 2022 Mae'r adroddiad hwn wedi'i drwyddedu o dan y Drwydded Llywodraeth Agored 3.0
<b>Manylion cyswllt UKCEH</b>	Bronwen Williams Canolfan Ecoleg a Hydroleg y DU (UKCEH) Canolfan Amgylchedd Cymru, Ffordd Deiniol, Bangor, Gwynedd, LL57 2UW 01248 374500 erammp@ceh.ac.uk
<b>Awdur gohebol</b>	Havard Prosser g/o erammp@ceh.ac.uk
<b>Awduron</b>	Prosser, H.
<b>Awduron ac adolygwyr sy'n cyfrannu</b>	<b>Rydym yn cydnabod ac yn hynod ddiolchgar am y mewnbwn a roddwyd gan Ken Stebbings a nifer o adolygwyr allanol eraill a roddodd sylwadau a heriau i'r testun. Arweiniodd hyn at wybodaeth ychwanegol ac egluriadau i'r adroddiad, y mae wedi elwa'n fawr ohonynt. Diolch i Hugh Martineau am drafodaeth, Robert Matthews am fewnbwn ar goedwigaeth a Chris Evans am fewnbwn ar briddoedd mawn.</b>
<b>Sut i ddyfynnu (hir)</b>	Prosser, H. (2022). <i>Rhaglen Monitro a Modelu Amgylchedd a Materion Gwledig (ERAMMP)</i> . ERAMMP Adroddiad-68: Adolygiad o Leihau Allyrru Nwyon Tŷ Gwydr a Dal a Storio Carbon i Ffurio Polisi Amaethyddol a Defnydd Tir Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017)(Prosiectau Canolfan Ecoleg a Hydroleg y DU 06297 a 06810)
<b>Sut i ddyfynnu (byr)</b>	Prosser, H. (2022). ERAMMP Adroddiad-68: Adolygiad Lleihau Allyrru Nwyon Tŷ Gwydr a Dal a Storio Carbon mewn Amaethyddiaeth i Ffurio Polisi Amaethyddol a Defnydd Tir. Adroddiad i Lywodraeth Cymru (Contract C210/2016/2017)(UKCEH 06297/06810)
<b>Cymeradwywyd gan</b>	

## Byrfoddau a Ddefnyddir yn yr Adroddiad hwn

3-NOP	3-Nitrosopropanol
AN	Amoniwm Nitrad
AHDB	Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth
BAU	Busnes Fel Arfer
BCMS	Gwasanaeth Symud Gwartheg Prydain
BNF	Sefydlogi N Biolegol
C	Carbon Organig
CAN	Calsiwm Amoniwm Nitrad
CARBINE	Model Cyfrifo Carbon Ymchwil Coedwigoedd
CP	Protein Amrwd
CTS	Cynllun Orlhain Gwartheg
DCD	DeuCyanDeuamid
DEFRA	Adran ar gyfer Amgylchedd, Bwyd a Materion Gwledig
DMPP	3,4-dimethylpyrasol ffosffad
ECOSSE	Amcangyfrif Carbon mewn Priddoedd Organig - Model Dal a Storio ac Allyriadau
EF	Ffactorau Allyrru
ERAMMP	Rhaglen Monitro a Modelu Amgylchedd a Materion Gwledig
FYM	Gwrtaith Buarth Fferm
GHG	Nwy Tŷ Gwydr
GMEP	Rhaglen Monitro a Gwerthuso Glastir
GWP	Potensial Cynhesu Byd-eang
HWP	Cynhyrchion Coed Wedi'u Cynaeafu
IACS	System Integreiddio Gweinyddu a Rheoli
IPCC	Panel Rhynglywodraethol ar Newid Hinsawdd
JAS	Arolwg Amaethyddiaeth Mehefin
LCA	Dadansoddiad Cylch Bywyd
LIDAR	Darganfod a Mesur Golau
LULUCF	Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth
MACC	Cromlin Cost Lleihad Ymylol
MAFF	Gweinyddiaeth Amaethyddiaeth, Pysgodfeydd a Bwyd
MORECS	Model Cyfrifo Glawiad ac Anweddiad Swyddfa'r Tywydd
NARSES	System Gwerthuso Strategol Cenedlaethol Lleihau Amonia
NIAB	Sefydliad Cenedlaethol Botaneg Amaethyddol
NBPT	N-(n-butyl) thiofosfforig triamid
NI	Ataliwr Nitrad
CNC	Cyfoeth Naturiol Cymru
NSRI	Sefydliad Adnoddau Pridd Cenedlaethol
NUE	Effeithlonrwydd Defnydd Maetholyn
REV	Gwerth Economaidd Cymharol
RFT	Math Cadarn o Fferm
SOC	Carbon Organig Pridd
SRUC	Coleg Gwledig Yr Alban
UKCCC	Comisiwn Newid Hinsawdd y DU
UKCEH	Canolfan Ecoleg a Hydroleg y DU
U	Wrea
UI	Ataliwr Wreas
WFPS	Gofod Twll Bach Wedi'i Lenwi â Dŵr
LIC	Llywodraeth Cymru
WSC	Cynnwys Toddadwy mewn Dŵr
WTD	Dyfnider Bwrdd Dŵr
ZT	Dim Trin Tir

Mae ehangu ar fyrfoddau a rhai o'r termau technegol a ddefnyddir yn yr adroddiad hwn yn cael eu hesbonio yng ngeirfaeod y rhaglen: <https://erammp.wales/en/glossary> (Saesneg) a <https://erammp.cymru/geirfa> (Cymraeg)

## Cynnwys

<b>1</b>	<b>Prif Negeseuon.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Crynodeb Gweithredol.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Rhestr a Methodoleg Nwyon Tŷ Gwydr.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth (LULUCF).....</b>	<b>10</b>
4.1	Cyflwyniad.....	10
4.2	Coedwigaeth.....	12
4.3	Priddoedd Amaethyddol.....	15
4.4	Mawndiroedd.....	25
4.5	Senarios.....	28
4.6	Crynodeb.....	30
<b>5</b>	<b>Gwrteithiau a ffrwythlonwyr.....</b>	<b>32</b>
5.1	Cyflwyniad.....	32
5.2	Rheoli anifeiliaid.....	33
5.3	Storio a thrafod gwrtaithe.....	36
5.4	Taenu Gwrtaithe a Ffrwythlonwr.....	39
5.5	Rheoli Tir.....	45
5.6	Crynodeb Gwrteithiau a ffrwythlonwyr.....	49
<b>6</b>	<b>FFERMIO DA BYW - LLAETH, CIG EIDION A DEFAID.....</b>	<b>53</b>
6.1	Cyflwyniad.....	53
6.2	Opsiynau Lleihau Allyriadau.....	54
6.3	Dadansoddiad Sector.....	60
6.4	Crynodeb da byw.....	66
<b>7</b>	<b>Asesiad economaidd ac ymarferol.....</b>	<b>68</b>
7.1	Asesiad Economaidd.....	68
7.2	Dichonoldeb Ymarferol.....	72
<b>8</b>	<b>Casgliadau.....</b>	<b>76</b>
8.1	Opsiynau lliniaru.....	76
8.2	Gweithredu newid.....	77
8.3	Monitro newid.....	77
8.4	Buddion lleihau allyriadau.....	78
<b>9</b>	<b>Atodiad-1: Comisiwn Newid Hinsawdd y DU 6<sup>ed</sup> Adroddiad.....</b>	<b>79</b>
9.1	Arolwg o Amaethyddiaeth.....	79
9.2	Trosolwg o Defnydd Tir a Newid Defnydd Tir.....	81
<b>10</b>	<b>Cyfeiriadau.....</b>	<b>82</b>

## 1 Prif Negeseuon

- A. Mae ymchwil rhyngwladol ar ffyrdd o leihau allyriadau Methan ac ocsid nitrus yn dangos bod y gostyngiadau posibl yn gynyddol yn bennaf a bod angen iddynt gael eu cyfuno i wneud cynnydd arwyddocaol at leihau allyriadau. **Ar gyfer amaethyddiaeth, amcangyfrifir i'r ushafswm technegol posibl ar gyfer lleihau allyriadau fod yn 22.5% ar gyfer ocsid nitrus ac yn 32.4% ar gyfer methan erbyn 2050.** Gan ystyried gostyngiad mewn allyriadau peiriannau amaethyddol gan **drydan a thanwydd hydrogen, gallai cyfanswm allyriadau o amaethyddiaeth ostwng o 5603kt CO<sub>2</sub>e yn 2018 i 3802kt CO<sub>2</sub>e erbyn 2050 – gostyngiad o 32.1%, yn seiliedig ar gynnal y lefelau cynhyrchu presennol.**
- B. Gallai ehangu cynnydd coetir o 180,000 hectar erbyn 2050 yn unol ag argymhellion UKCCC, ynghyd ag adfer mawndir leihau allyriadau o isfaswm o 2176kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn yn 2050. **Byddai allyriadau net a ragwelir yn 1626 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn yn 2050 o weithredu'r mesurau lliniaru ar yr uchafswm potensial technegol ar gyfer amaethyddiaeth a defnydd tir gyda'i gilydd.**
- C. Mae gostwng allyriadau methan o anifeiliaid sy'n cnoi cil yn canolbwyntio'n bennaf ar ddwyschau cynhyrchu o lai om anifeiliaid trwy wella deiet, rheoli da byw a geneteg. **Ond os yw cynhyrchu yn dwysáu, mae hyn yn gallu arwain at ffermwyr yn cynyddu niferoedd eu hanifeiliaid ar eu tir cynhyrchiol yn dibynnu ar gostau mewnbyn.** Yn ei dro mae hyn yn arwain at allyriadau cynyddol gan fod rhestr Nwyon Tŷ Gwydr yn cyfrif niferoedd o anifeiliaid ac mae'n defnyddio ffactorau allyrru safonol sydd ddim yn ystyried unrhyw allyriadau is o newidiadau mewn rheoli da byw a fydd yn lleihau allyriadau.
- D. Dim ond dau ymyriad wedi'u hymchwilio'n ddiweddar sydd wedi dangos effeithiau arwyddocaol mewn lleihau allyriadau. Mae 3-Nitrosopropanol (3-NOP) yn atal ffurfio methan o hyd at 40% pan fydd yn cael ei gynnwys mewn deietau anifeiliaid sy'n cnoi cil, ond mae ei ddefnydd yn debygol o fod yn gyfyngedig i'r sector llaeth a gwartheg eidion sydd dan do yn ystod misoedd y gaeaf, pan gânt eu bwydo â dognau rheoledig. Nid oes ffyrdd ymarferol i ddefnyddio 3-NOP ar gyfer anifeiliaid sy'n pori. Mae'r defnydd o NOP-3 yn gofyn am gymeradwyaeth milfeddyg a byddai'n gofyn am ffactorau allyrru diwygiedig ar gyfer y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr. Heb y defnydd o allyriadau 3-NOP byddai allyriadau yn 160 kt CO<sub>2</sub>e yn fwy – yn bennaf o'r fuches laeth.
- E. Yr ail ymyriad yw'r defnydd o DeuCyanoDeuamid (DCD) sy'n atal ffurfio ocsid nitrus o osod gwrteithiau a ffrwythlonwyr i gnydau a phridd o hyd at 42%. Gallai DCD gael ei ychwanegu at ffrwythlonwyr ar gyfer eu gosod ar gnydau â'r a glaswelltir wedi'i wella - ond nid tir pori helaeth. Byddai cymeradwyaeth reolaethol yn ofynnol ar gyfer ei ddefnydd yn yr amgylchedd. Ar gyfer y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr, byddai defnydd o DCD yn gofyn am ffactor allyrru penodol, ynghyd â chasgliad o ddata gweithgaredd ar ei ddefnydd.
- F. Mae defnydd mwy effeithlon o wrteithiau a ffrwythlonwyr i ateb gofynion cnydau, â storio a dulliau gosod gwell ar gyfer gwrteithiau yn gallu gostwng allyriadau. Mae sefydlu biolegol o nitrogen â llysiâu a meillion hefyd yn gostwng allyriadau. Yn y DU mae gormodedd o fewnbyn nitrogen o gymharu ag allbynnau - sy'n dangos y golled sylweddol o faetholion i'r amgylchedd, a'r potensial sylweddol i barhau i ostwng defnydd gwrtaith o 50% ychwanegol. Bydd hyn yn cael ei gymell gan y cynnydd mawr diweddar mewn prisiau gwrtaith. Byddai'r gostyngiad yn cael ei adlewyrchu yn y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr.

- G. Mae adfer mawn eang a pharhaol wedi cyfrannu at ostyngiad yng nghyfanswm yr allyriadau, ond mae'r rhan fwyaf o'r adfer wedi digwydd o fewn corysdd uwchtiroedd a addaswyd, ag allyriadau cymedrol. **Byddai gostyngiadau helaethach yn cael eu sicrhau o adfer mawniau iseldir diraddiedig a ddefnyddir ar gyfer amaethyddiaeth a choedwigaeth planhigfeydd.**
- H. Mae ffermwyr yn bwriadu defnyddio dal a storio carbon fel ffordd bosibl o wrthweithio allyriadau. **Fodd bynnag nid yw gwrthweithio i gyflawni allyriadau sero net yn bosibl Nid yw honiadau fod glaswelltir parhaol yn parhau i ddal a storio carbon yn cael eu cadarnhau gan dystiolaeth ymchwil.** Yr unig eithriad yw lle mae glaswelltir wedi cael ei sefydlu'n ddiweddar ar dir â'r ac ar briddoedd diraddiedig. Byddai allyriadau'n cael eu gostwng lle mae mawniau iseldir yn cael eu hadfer.
- I. Yng Nghymru, mae'r cyfrannau uchel o laswelltir parhaol a phriddoedd sydd eisoes yn uchel mewn carbon yn cyfyngu'n ddifrifol ar y potensial am ddal a storio carbon ychwanegol. Y gofyniad hanfodol yw cynnal stociau carbon presennol mewn priddoedd a mawniau i ostwng allyriadau carbon deuocsid. **Ni fyddai'r dulliau rheoli yn cael eu cyfrif yn y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr fel wedi'i gorffennu ar hyn o bryd.**
- J. Mae'n bwysig i gydnabod y buddion eraill o leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Mae gan fesurau i leihau allyriadau o ocsid nitrus fuddion lluosog mewn gwella ansawdd aer a dŵr a gostwng ewtroffigedd cynefinoedd. Mae gan leihau allyriadau methan hefyd fudd eilaidd mewn gostwng ffurfio oson yn yr atmosffer is (hyd at 15km) Mae oson ei hun yn nwy tŷ gwydr ac mae'n achosi problemau iechyd dynol yn ogystal â difrod i llystyfiant.
- K. **Mae'r ymchwil diweddar wedi dangos yr uchafswm potensial technegol i leihau allyriadau, ond mae darparu'r opsiynau hyn yn ymarferol gan ffermwyr Cymru yn dibynnu'n hanfodol ar y fframwaith economaidd, rheolaethol a diwylliannol i gymell ymgymryd â hyn.**

## 2 Crynodeb Gweithredol

Mae'r adroddiad yn diweddarau adolygiadau blaenorol Llywodraeth Cymru yn 2008 a 2010. Mae'r adolygiad hwn wedi canolbwyntio ar y swm mawr o ymchwil sydd wedi cael ei wneud yn y degawd diwethaf i ganfod ffyrdd o leihau'r allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o'r prif sectorau - priddoedd a defnydd tir, gwrteithiau a ffrwythlonwyr a ffermio da byw - yn benodol y sectorau llaeth, eidion a defaid. **Mae'r adroddiad hwn yn gwneud y rhagdybiaeth bod lefelau cynhyrchu presennol yn cael eu cynnal, ond bydd pwysau iechyd cyhoeddus i leihau'r cymeriant o gig coch a chynhyrchion llaeth yn herio'r rhagdybiaeth hon.** Mae 6<sup>ed</sup> Adroddiad UKCCC yn argymhell gostyngiad sylweddol yng nghymeriant cynhyrchion cig a llaeth (UKCCC, 2020).

Mae lleihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o amaethyddiaeth a defnydd tir yn canolbwyntio ar:

- Leihau allyriadau methan o anifeiliaid sy'n cnoi cil
- Lleihau allyriadau ocsid nitrus o osod gwrteithiau a ffrwythlonwyr ar briddoedd
- Lleihau allyriadau o storio gwrtaith, ei drafod a'i osod
- Cynnal stociau carbon mewn priddoedd a mawniau,
- Ehangu dal a storio carbon mewn biomas a phriddoedd i wrthweithio allyriadau o ffynonellau eraill.

Dim ond trwy leihau nifer yr anifeiliaid y gellir lleihau allyriadau methan anifeiliaid cnoi cil yn y rhestr, lleihau nifer yr anifeiliaid tra gallai cynyddu cynhyrchiant anifeiliaid unigol gynnal y lefelau cynhyrchu presennol. Ond mae tuedd naturiol i ffermwyr ddefnyddio'u holl dir ar gyfer cynhyrchu, tra byddai rhyddhau tir ar gyfer cynyddu bioamrywiaeth, dal a storio carbon neu liniaru llifogydd yn helpu i ddarparu manteision cyhoeddus. Mae angen ystyried y cymhellion i wneud hyn yn ofalus i osgoi cynhyrchiant cynyddol yn arwain at gynnydd niferoedd anifeiliaid ac allyriadau cynyddol.

Mae gostwng allyriadau methan o anifeiliaid sy'n cnoi cil yn gofyn am ddeietau o ansawdd da sy'n uchel mewn ffibr treuliadwy. Yn hanesyddol, mae gwelliant genetig wedi gwella cynhyrchiant, Mae gwelliant genetig penodol i leihau allyriadau methan yn y flaenstwmog yng nghanau cynnar datblygiad o hyd. Mae llawer o'r datblygiad genetig wedi canolbwyntio ar y sector llaeth, a llai o ddatblygiad yn y sectorau eidion a defaid. Mae opsiynau eraill ar gyfer lleihau allyriadau methan yn seiliedig ar amrywiaeth o ychwanegion deiet, a 3-nitropropanol sy'n profi'n fwyaf effeithiol mewn atal cynhyrchu methan. Un opsiwn yw datblygu ffyrdd i gipio methan o feudai. Mae gwaith yng Nghanaada yn awgrymu y gall hyn fod yn opsiwn lliniaru defnyddiol. (Fedrizzi et al., 2018).

Mae rheoli da byw ar ffermydd Cymru yn dangos amrywiadau mawr rhwng y mentrau sy'n perfformio orau a gwaethaf. enterprises (Jones et al., 2014). Ar ffermydd defaid, mae canrannau wyna uchel a chyfraddau magu pwysau yn bwysig i ddarparu gostyngiad allyriadau fesul uned cynhyrchu.

Y prif ffordd o leihau allyriadau ocsid nitrus yw gwneud defnydd clyfrach o wrteithiau wedi'u calibradu i anghenion planhigion. Mae gwella effeithlonrwydd defnydd ynghyd â dadansoddiad o gyfraniad gwrteithiau i anghenion cynydu yn hanfodol. Ers 2010, mae ymchwil ar atalwyr nitrad a gymhwysir â gwrteithiau wedi dangos gostyngiad arwyddocaol mewn allyriadau yn gallu cael ei gyflawni er bod canlyniadau'n amrywiol. Mae ailhadu glaswelltiroedd â llyisiau i sefydlogi nitrogen o'r atmosffer yn ffordd arall i leihau defnydd o wrtaith.



Gellir lleihau allyriadau o wrteithiau trwy orchuddion dros ferllynnoedd a thomenni storio. Mae technegau cipio methan yn cael eu datblygu ar gyfer storfeydd i drosi methan wedi hynny mewn ymosgiad neu fiohidlo. Mae technegau eraill gan gynnwys asideiddio pisweiliau yn lleihau allyriadau methan, sy'n cael eu defnyddio ar ffemysydd Denmarc. Mae gosod gwrteithiau piswail trwy chwistrelliad hafn i mewn i briddoedd o fudd mewn lleihau allyriadau o ocsid nitrus yn ogystal ag amonia. Mae gan y lleihau fudd eilaidd hefyd o ostwng y swm o wrtaith mwnol sy'n ofynnol i ddiwallu anghenion cynydu. Mae buddion pwysig eraill mewn gostwng llygredd aer o ronynnau mân wedi'u ffurfio o amonia a lleihau llygredd o redeg i mewn i gyrsiau dŵr. Dylai'r Rheoliadau Rheoli Llygredd Amaethyddol (Cymru) 2021 hefyd leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr a digwyddiadau llygredd. Mae tabl 2.1 yn crynhoi'r uchafswm potensial technegol ar gyfer lleihau allyriadau o adolygu'r opsiynau ar gyfer rheoli da byw, gwrteithiau a ffrwythlonwyr.

Tabl 2.1 Y Lleihad Technegol Uchaf Posibl o reoli da byw, gwrteithiau a ffrwythlonwyr

Dull lliniaru	Lleihau ocsid nitrus (kt CO <sub>2</sub> e)	Lleihau methan (kt CO <sub>2</sub> e)
<b>Gwrteithiau a Ffrwythlonwyr</b>		
Effeithlonrwydd ffrwythlonwr a gwrtaith N - 50% o ostyngiad ffrwythlonwyr	236	
Atalwyr N ar ffrwythlonwyr sy'n weddill a'r holl wrteithiau 40% o ostyngiad	138	
Lleihau allyriadau methan o letya a storfeydd o 50% trwy asideiddio, cipio methan a/neu dreulio anaerobig -		205
<b>Rheoli da byw</b>		
Deiet, rheolaeth, geneteg a 3-NOP mewn buches laeth - 43% o leihad mewn allyriadau		341
Deiet, rheolaeth, geneteg a 3-NOP mewn buches eidion - 30% o leihad mewn allyriadau		356
Deiet, rheolaeth a geneteg mewn praid defaid - 30% o leihad mewn allyriadau		215
<b>Cyfanswm Allyriadau (2018)</b>	<b>1660</b>	<b>3449</b>
<b>Cyfanswm Gostyngiad Allyriadau</b>	<b>374</b>	<b>1117</b>

Gan ystyried gostyngiad posibl o 310 kt CO<sub>2</sub>e o'r sector cerbydau amaethyddol trwy'r defnydd o danwyddau trydan a hydrogen neu fethan (UKCCC, 2020), byddai hyn yn lleihau allyriadau rhestriad amaethyddol o 1801 kt CO<sub>2</sub>e.

Mae cynnal y lefelau uchel o garbon mewn priddoedd a mawniau yn bwysig i leihau allyriadau carbon deuocsid. I briddoedd, mae'r prif bwyslais ar gynnal y ffrwythlondeb a lleihau trosi'r glaswelltir yn dir cynydu â. Er bod honiadau am allu dal a storio arwyddocaol glaswelltiroedd, tystiolaeth yr ymchwil yw fod y gallu yn gyfyngedig i'r ychydig ddegawdau cyntaf ar ôl i'r priddoedd â neu ddirywiedig gael eu troi'n laswelltir. Nid oes gan reoli glaswelltir fuddion clir ar gyfer dal a storio. I laswelltir parhaol, tystiolaeth yr ymchwil yw fod dal a storio yn fach iawn. Mae gan gynnyddu amaethgoedwigaeth ac ynni fuddion posibl, gan gydnabod y bydd tarfu ar bridd ar adeg y plannu cychwynnol yn arwain at rai allyriadau carbon deuocsid.

I fawniau a phriddoedd organig, y prif fesur lliniaru yw ailwlychu ardaloedd presennol i atal allyriadau carbon deuocsid. Mae gan gynyddu ardaloedd mawndir y perygl o gyflymu allyriadau methan mewn amodau anaerobig oni bai fod rheolaeth ofalus o lefelau'r bwrdd dŵr.

Y prif gyfle ar gyfer dal a storio carbon yw i ehangu coedwigaeth, coetiroedd a chloddiau sy'n dal a storio carbon yn y llystyfiant a'r priddoedd. Mae modelu ehangu coetir o 100,000 hectar/y flwyddyn erbyn 2050 wedi dangos y gellid cael sinc carbon arwyddocaol mewn priddoedd a llystyfiant, ond heb fod yn digon i wrthweithio allyriadau amaethyddol. Mae Llywodraeth Cymru wedi cyflwyno'i darged i blannu 43,000 hectar o goetir newydd erbyn 2030, a 180,000 hectar erbyn 2050, gan alinio â'r Llwybr Cytbwys a amlinellwyd gan yr UKCCC (Llywodraeth Cymru, 2021). Mae tabl 2.2 yn crynhoi faint o allyriadau o'r sectorau amaethyddiaeth a LULUCF allai gael eu lleihau erbyn 2050 os cyrhaeddir yr Uchafswm Technegol Posibl.

Tabl 2.2 Yr Uchafswm Technegol Posibl o'r sectorau Defnydd Amaethyddiaeth a Thir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth (LULUCF)

Sector	Allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn 2018	Allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr Blynyddol a Ragwelir yn 2050	
Amaethyddiaeth	5603 kt CO <sub>2</sub> e	3802 kt CO <sub>2</sub> e	
LULUCF	-444 kt CO <sub>2</sub> e	-1872 kt CO <sub>2</sub> e (1)	-2176 kt CO <sub>2</sub> e (2)
Cyfanswm	5159 kt CO <sub>2</sub> e	1930 kt CO <sub>2</sub> e	1626 kt CO <sub>2</sub> e

Sylwch: (1) yn seiliedig ar ehangu coetir o 100,000ha erbyn 2050

(2) yn seiliedig ar ehangu coetir o 180,000ha erbyn 2050

Bydd newidiadau i ymarferion ffermio a defnydd tir yn cael costau a buddion economaidd. I asesu'r rhain, mae Cromlin Cost Lleihad Ymylol (MACC) wedi cael ei mabwysiadu. Mae gwaith diweddar i Loegr (Moran et al, 2020) wedi dangos mai'r opsiynau mwyaf cost effeithiol yw

1. Rheolaeth cnydau gwell i wneud defnydd effeithiol o wrteithiau a ffrwythlonwyr trwy ffermio manwl, gydag amrywiaethau cnydau gwell, gweiriau uchel mewn siwgr a llyisiau i wella sefydlogi nitrogen biolegol.
2. Gwell rheoli ar dda byw a geneteg i wella cynhyrchiant fesul anifail ac i leihau allyriadau methan.
3. Rheolaeth well ar wrtaith

Mae defnydd atalwyr nitrad wedi'u hychwanegu at wrteithiau yn achosi costau arwyddocaol fesul tonnell fetrig o allyriadau a arbedir ac mae'r defnydd o ychwanegyn bwyd 3-NOP hefyd yn creu cost. Mae casgliadau tebyg wedi cael eu canfod yn yr Alban (Eory et al. 2020).

Ar wahân i'r agweddau economaidd, roedd ffactorau pwysig ar gyfer mabwysiadu mesurau gan ffermwyr yn Lloegr yn cynnwys hunanadnabyddiaeth y ffermwr a normau cymdeithasol, rheoli risg, caffael gwybodaeth, a'r cyfyngiadau cynllunio tymor hir oherwydd effeithiau asedau ac ymarferion wedi'u cloi i mewn. Yn ogystal y rôl mae ymarferion presennol yn eu cael ar bennu sut mae rhai newydd yn cydweddu, ffactorau cylch bywyd teulu, dyfodiad ffermwyr mwy newydd i'r diwydiant, a ffactorau sefydliadol megis cyfyngiadau cadwyn gyflenwi yn cael dylanwad wrth weithredu newid.

O arolwg o agweddau ffermwyr yn Lloegr yn 2020, adroddodd 18% o ffermwyr ei bod yn "bwysig iawn" i ystyried Nwyon Tŷ Gwydr wrth wneud penderfyniadau ynglŷn â'u tir, cnydau a da byw ac roedd 46% ychwanegol yn meddwl ei bod yn "weddol bwysig". Fodd bynnag rhoddodd 30% ychydig neu ddim pwysigrwydd ar ystyried Nwyon Tŷ Gwydr wrth wneud

penderfyniadau, neu a feddyliai nad oedd eu fferm yn cynhyrchu allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Gall y sefyllfa yn Lloegr yn 2020 fod yn debyg yng Nghymru, ond mae angen cadarnhad.

Mae meddwl ffermwyr yn Lloegr wedi cael ei adlewyrchu yn y cynnydd araf mewn lleihau allyriadau a amlinellir yng Nghynllun Gweithredu Lloegr. Er mai'r targed oedd lleihau allyriadau cynhyrchiant amaethyddol o 3 MtCO<sub>2e</sub> erbyn 2020 o gymharu â llinell sylfaen 2007, dim ond 0.9 MtCO<sub>2e</sub> o leihad oedd wedi cael ei gyflawni.

Yn amlwg mae rhaglen hyfforddi sylweddol yn ofynnol ag amrediad o gymhellion rheolaethol ac ariannol. Mae mynediad at gyngor ymarferol trwy Farming Connect a'r Bwrdd Ardoll yn hanfodol i gynyddu derbyniad mesurau lliniaru. Bydd cymhellion ariannol a rheolaethol yn ofynnol i wneud arbedion allyriadau sy'n agosáu at yr Uchafswm Technegol Posibl.

**Bydd y data a gesglir ar gyfer y rhestr nwyon tŷ gwydr yn gofyn am ddealltwriaeth well o systemau rheoli tail a gwrtaithe ar draws ffermydd. Bydd angen hefyd amcangyfrif dulliau rheoli da byw yn fanylach. Bydd angen data mwy cywir ar ffactorau allyriadau ar gyfer systemau gwahanol a chasglu data gweithgaredd fferm i adlewyrchu allyriadau gwirioneddol. Byddai hyn yn gwella'r rhestr eiddo ac yn gwobrwyo ffermwyr unigol am unrhyw gamau y maent yn eu cymryd i leihau eu hallyriadau fferm eu hunain.**

### 3 Rhestr a Methodoleg Nwyon Tŷ Gwydr

Mae rhestrau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr y DU a Chymru yn defnyddio'r Posibiliadau Cynhesu Byd-eang yn seiliedig ar y Pedwerydd Adroddiad Asesu (IPCC, 2007). Mae gwerthoedd ar gyfer methan yn 25 ac yn 298 ar gyfer ocsid nitrus yn seiliedig ar orwel 100 mlynedd. Mae'r GWPau ychydig yn wahanol i'r rhai a ddefnyddiwyd yn adroddiadau 2008-2010 Llywodraeth Cymru. Yn yr adolygiad hwn y llinell sylfaen a ystyriwyd oedd rhestr Nwyon Tŷ Gwydr 2018 wedi'i mynegi fel kilodunelli metrig o'r hyn sy'n cyfateb i Garbon deuocsid (ktCO<sub>2e</sub>). Mae tabl 3.1 yn crynhoi'r rhestr Nwyon Tŷ Gwydr ar gyfer Cymru yn 2018 (Llywodraeth Cymru 2021)

Tabl 3.1 Rhestr Nwyon Tŷ Gwydr ar gyfer Cymru -Sectorau Amaethyddiaeth a Defnydd Tir - 2018 (mewn unedau kilodunelli metrig o'r hyn sy'n Cyfateb i Garbon Deuocsid kt CO<sub>2e</sub>)

Categori Allyriadau	Ffynhonnell Allyriadau	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Cyfanswm
<b>Peiriannau Amaethyddol</b>	Symudol	469		52	521
	Llonydd	25		3	28
<b>Enterig</b>	Llaeth		792		792
	Gwartheg eraill		1188		1188
	Defaid		981		981
	Eraill		43		43
<b>Gwrteithiau</b>	Llaeth		243	47	290
	Gwartheg eraill		166	153	319
	Defaid		25	6	31
	Da byw eraill		11	72	83
<b>Priddoedd amaethyddol</b>	Gosod gwrtaith			472	472
	Gosod gwrtaith/carthion			110	110
	Pori - dyddodi uniongyrchol			145	145
	Gweddillion cnydau			69	69
	Mwneiddiad o golli/ennill			34	34
	Deunydd Organig Pridd				
	Priddoedd Organig wedi'u hamaethu			296	296
	Yn anuniongyrchol o gyfansoddion N wedi'u gollwng			92	92
	Yn anuniongyrchol o ddyddodi atmosfferig N o amaethyddiaeth			43	43
	Calchu			58	58
Gosod wrea			8	8	
<b>Is-gyfansymiau</b>		<b>494</b>	<b>3449</b>	<b>1660</b>	<b>5603</b>
<b>Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth</b>					<b>-444</b>
<b>Cyflenwad Ynni</b>		11929			11929
<b>Cyflenwad Ynni Sefydliadau Cyhoeddus</b>		326			324
<b>Preswyl</b>		3699			3699
<b>Trafnidiaeth</b>		6171			6171
<b>Rheoli Gwastraff</b>			1244		1244
<b>Prosesau Diwydiannol</b>		1867			1867
<b>Busnes</b>		8500			850
<b>Cyfanswm Terfynol</b>					<b>38891</b>

Mae amcangyfrifon allyriadau yn seiliedig ar luosi data gweithgaredd - e.e nifer y da byw - â Ffactorau Allyrru (EFau). Cyllidodd Defra a gweinyddiaethau datganoledig Lwyfan Nwyon Tŷ

Gwydr Amaethyddol y DU i fireinio'r EFau i gael eu defnyddio ar gyfer systemau da byw a rheolaeth. Mae angen i bob EF gael ei luosi gan y gweithgaredd e.e. nifer os yn wartheg godro, nifer o ddilynwyr, systemau rheoli gwrtaith, ac ati. Mae gweithgaredd data yn dod o amrywiaeth o ffynonellau, yn bennaf Arolwg Amaethyddol Mehefin ar gyfer allyriadau amaethyddol a'r Arolwg Cefn Gwlad ac Ymchwil Coedwig ar gyfer data defnydd tir. Mae manylion am y methodolegau ar gael o adroddiadau Rhestr Nwyon Tŷ Gwydr y DU (Brown et al. 2021.)

Nid yw gweithgaredd data ar gyfer Cymru yn cael ei ddadagregu ar gyfer data Lloegr a Chymru neu'r DU. Mae cynlluniau amrywiol yn mynd rhagddynt i ddefnyddio data amaethyddol arferol ar gnydau a symudiadau da byw i wella data gweithgaredd (H Martineau - cyfathrebiad personol) Mae'n bwysig i gydnabod wrth i ddulliau dadansoddi ddod yn fwy cywrain maen nhw'n cael eu cymhwyso i'r amcangyfrif AND diweddaraf yn ogystal ag i'r flwyddyn llinell sylfaen (1990). Er enghraifft, gall lleihau EF beidio â chael llawer o effaith gyffredinol wrth gymharu'r allyriadau ar gyfer y flwyddyn bresennol a'r un llinell sylfaen.

I amaethyddiaeth, mae prosiect Nwyon Tŷ Gwydr y DU (DEFRA AC0114, AC0115 a AC0116) (DEFRA, 2013) wedi galluogi symudiad oddi wrth Ffactorau Allyrru safonol – wedi'u dynodi'n Haen 1 i Ffactorau Allyrru penodol i'r DU ar gyfer grwpiau o anifeiliaid, mathau o briddoedd, dulliau storio gwrtaith a dulliau gosod gwrtaith - Haenau 2 a 3. Mae defnydd o Ffactorau Allyrru penodol ar gyfer ymarferion rheoli penodol yn gofyn am gasglu gweithgaredd data yn fanwl i gwmpasu'r categorïau canlynol o ffynonellau.

- CH Enterig<sub>4</sub>,
- Rheoli CH gwrtaith<sub>4</sub> ac allyriadau N<sub>2</sub>O o Laeth, Cig Eidion, Defaid, Moch, Dofednod, Geifr, Ceffylau a Cheirw;
- Allyriadau uniongyrchol ac anuniongyrchol N<sub>2</sub>O o wrtaith N synthetig, N organig (e.e., gwrtaith anifeiliaid, llaid carthion a sylwedd wedi'i dreulio) wedi'i osod ar laswelltir a chnydau â, a gweddillion cnydau.
- Allyriadau N<sub>2</sub>O o N wedi'i ddyddodi o wrin a dom ar dir pori gan Laeth, Cig Eidion, Defaid, Moch, Dofednod, Geifr, Ceffylau a Cheirw.
- Allyriadau N<sub>2</sub>O o fwneiddio priddoedd ac allyriadau CO<sub>2</sub> o galchu a gosod wrea ar briddoedd

Mae data'n cael eu coladu ac mae cyfrifiadau'n cael eu perfformio ar fanylder cell grid 10 x 10 km.

Ar gyfer y rhestr LULUCF, y newidiadau mawr yw:

- Mae'r model CARBINE wedi cael ei ddatblygu ar gyfer coedwigoedd a choetiroedd (Matthews, 2020), ac ar gyfer priddoedd coedwigoedd gan ddefnyddio'r model priddoedd ECOSSE. Mae'r data sy'n gyrru yn dod o'r Rhestr Goedwigaeth Genedlaethol a grantiau/trwyddedau plannu.
- Ar gyfer defnyddiau a newidiadau defnydd tir eraill, mae'r stoc carbon ar gyfer priddoedd sydd ddim yn organig yn seiliedig ar gronfa ddata dwysedd carbon pridd ar ddyfnder o 1m (NSRI). Mae newidiadau carbon yn dod o'r defnydd tir cychwynnol a therfynol. Mae newid stoc carbon biomas yn dod o fatrics newid Defnydd tir. Mae allyriadau N<sub>2</sub>O ar gyfer priddoedd sydd ddim yn organig yn dod o Haen 1 Ffactorau Allyrru IPCC . Mae dosbarthiad priddoedd yn dod o ddsbarthiad pridd RB209 y Bwrdd Datblygu Amaethyddiaeth a Garddwriaeth (ADHB). Mae data gweithgaredd yn dod o ddata cyfrifiad Amaethyddiaeth, map gorchudd tir 2015, ac Arolwg Cefn Gwlad.

Mae Prifysgol Cranfield yn darparu'r data allyriadau pridd ar gyfer priddoedd sydd ddim yn organig.

- Ar gyfer priddoedd organig e.e. mawniau a gwlyptiroedd, mae allyriadau'n seiliedig ar yr adroddiad gan Evans et al. 2017. Mae hyn yn cwmpasu Ffactorau Allyrru ac asesiadau ardal, a senarios ar ardaloedd mawndir y dyfodol a'u rheolaeth.

O fewn y sector amaethyddol mae dadl wedi bod y dylai'r allyriadau methan gael eu trin yn wahanol oherwydd bod oes methan yn yr amgylchedd yn fyrrach (tua 12 mlynedd) (Chen et al. 6ed Adroddiad IPCC, 2021) nac ar gyfer carbon deuocsid ac ocsid nitrus. Mae allyriadau CO<sub>2</sub> yn parhau yn yr atmosffer am gyfnod hir ac maen nhw'n gronnol fel yr arsylwir gan y crynodiad cynyddol yn yr atmosffer (IPCC 6<sup>ed</sup> Adroddiad, 2021). Mewn gwrthgyferbyniad, oherwydd ei fod yn torri i lawr yn gyflym, nid yw allyriadau methan yn gweithredu'n gronnol. Ar gyfer cyfradd barhaol o allyriadau methan, mae un moleciwl yn ymarferol yn disodli un a gafodd ei allyrru'n flaenorol sydd wedi cael ei dorri i lawr ers hynny i garbon deuocsid. Byddai allyriadau methan gostyngol yn arwain at y crynodiad atmosfferig yn syrthio'n gymharol gyflym.

Serch hynny, mae crynodiadau CH<sub>4</sub> wedi cynyddu o 729 ppb yn 1750 i 1866 ppb yn 2019, â chynnydd o 63 ppb mewn crynodiadau CH<sub>4</sub> atmosfferig rhwng 2011 a 2019. Mae'r diwydiannau olew a nwy yn ffynonellau mawr o fethan tra bo amaethyddiaeth yn allyrru 47% o allyriadau methan yn y DU.

I oresgyn y broblem o fethan yn bod yn fyrhoedlog, mae rhai ymchwilwyr wedi cynnig metricsau amgen i ddisodli cyfatebiadau i garbon deuocsid (CO<sub>2</sub>e) gan ddefnyddio'r Potensial Cynhesu Byd-eang 100-mlynedd (GWP100) (Allen et al., 2018, Cain et al. 2019). Mae GWP\* wedi cael ei gynnig yn seiliedig ar y *newid mewn graddfa* o allyriadau methan, o gymharu â *maint cyfanswm* of CO<sub>2</sub>. Mae GWP\*, yn caniatáu allyriadau byrhoedlog a hirhoedlog llygrwyr hinsawdd i gael eu mynegi'n fwy cyson o fewn metrig unigol trwy wneud newid yng nghyfradd allyrru llygrwr hinsawdd byrhoedlog yn gyfartal â phwls allyriadau unigol llygrwr hirhoedlog. Gan ddefnyddio GWP\*, dynodir cyfradd allyriadau methan *cywerthedd CO<sub>2</sub>-llawer uwch* nac y mae o dan GWP100; fel y cyfryw mae'n cipio'r risgiau o gynyddu a'r buddion o leihau cyfraddau allyrru methan yn well.

**Ar hyn o bryd Mae Confensiwn Fframwaith y Cenhedloedd Unedig ar Newid Hinsawdd (UNFCCC) yn cadw'r dull asesu GWP - 100 mlynedd ar gyfer methan (UNFCCC), 2019). Mae oes fer methan yn golygu y byddai lleihau allyriadau methan yn cael effaith gyflym mewn lleihau newid hinsawdd i ateb y targed o gyfyngu tymereddau byd-eang ar gyfartaledd i 1.5%. Mae COP26 wedi cytuno ar darged i leihau allyriadau methan i gyfrannu at gyfyngu cynnydd mewn tymheredd byd-eang.**

Yr her fawr yw amcangyfrif y newidiadau mewn allyriadau nwyon Tŷ Gwydr gan ddefnyddio'r modelau mwy soffistigedig hyn yn hytrach na'r Ffactorau Allyrru Haen 1 syml a ddefnyddiwyd yn 2008-2010. Hefyd mae'r data gweithgaredd sydd ar gael a'i snsitifrwydd i newid yn her e.e. data Arolwg Cefn Gwlad a Gorchudd Tir i fonitro newidiadau defnydd tir, newidiadau mewn cloddiau, newidiadau i reoli gwrtaitaith ac ati.

## 4 Defnydd Tir, Newid Defnydd Tir a Choedwigaeth (LULUCF)

### 4.1 Cyflwyniad

Mae'r bennod hon yn disgrifio rôl LULUCF fel ffynhonnell allyriadau nwyon Tŷ Gwydr, ac fel sinc ar gyfer allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Mae'r allyriadau'n cael eu hadolygu, ynghyd ag opsiynau lliniaru a senarios ar gyfer allyriadau hyd at 2050.

#### 4.1.1 Dal a storio carbon a storio carbon mewn priddoedd.

Mae'n bwysig i wahaniaethu rhwng dal a storio carbon a storio carbon. Dal a storio carbon yw'r broses o drosglwyddo CO<sub>2</sub> o'r atmosffer i mewn i'r pridd, trwy blanhigion, gweddillion planhigion a solidau organig eraill sy'n cael eu storio neu'u cadw fel rhan o sylwedd organig y pridd (humus). Mae amser cadw carbon wedi'i ddal a'i storio yn y pridd (pwll daearol) yn gallu amrywio o dymor byr (rhyddheir yn ôl i'r atmosffer) i storio tymor hir dros filenia. Mae'r gyfradd dal a storio yn crebachu i sero dros gyfnod o ddegawdau wrth i briddoedd gyrraedd cyflwr newydd o gydbwysedd carbon, a gall enillion gael eu colli os yw priddoedd yn cael eu tarfu gan aredig ac amaethu. I'r gwrthwyneb, mae trosi o dir âr i laswelltir yn gallu arwain at gyfraddau dal a storio o 1.01 t C/ha/y flwyddyn hyd y cyrhaeddir cydbwysedd newydd (Conant et al, 2001).

Mae storio carbon yn ehangach gan ei fod yn gynydd stociau SOC yn y priddoedd, nid o reidrwydd yn gysylltiedig â thynnu CO<sub>2</sub> o'r atmosffer. Er enghraifft gall ychwanegu'r adnoddau gwrtaith sydd ar gael ar gae amaethyddol penodol gynyddu'r stociau SOC yn lleol (lle mae gwrtaith wedi cael ei ychwanegu), ond heb fod yn cynyddu tynnu'r CO<sub>2</sub> cysylltiedig o'r atmosffer ar raddfa'r dirwedd.

Er ei bod yn well i storio carbon organig am gyfnodau hir yn nhermau lliniaru Nwyon Tŷ Gwydr, mae ffracsiynau ansefydlog o SOC (e.e. ag amseroedd preswyllo o fisoedd i flynyddoedd) yn hanfodol yn nhermau ffrwythlondeb pridd, cyflwr corfforol pridd (mae sefydlogrwydd agregol yn dibynnu ar garbon ansefydlog) a bioamrywiaeth pridd - sylwedd organig yn adnodd troffig organebau. Felly mae'n ddymunol i gynyddu stociau o ffurfiau ansefydlog yn ogystal â sefydlog o sylwedd organig.

Mae carbon yn cael ei ymgorffori i mewn i'r planhigyn a bydd rhywfaint o'r carbon hwn yn ei fiomas uwchben y ddaear (coesyn, dail, blodau, hadau), a rhywfaint yn ei strwythur gwreiddiau. Pan fydd planhigion a ffurfiau eraill o fiomas yn marw a phydru mae'r rhan fwyaf o'r carbon hwn yn cael ei allyrru yn ôl i'r atmosffer fel CO<sub>2</sub> dros gyfnod o wythnosau neu fisoedd, ac mae'r effaith net e ar grynodiadau CO<sub>2</sub> atmosfferig felly yn fach. Ond bydd rhai yn cael eu sefydlogi yn y pridd.

Mae mewnbynnau carbon i'r pridd yn cynnwys sylwedd organig wedi'i hydoddi, cynhyrchion gwreiddiau, a gronynnau wedi'u trawsgludo o'r arwyneb. Tra gallai sbwriel a mewnbynnau gwreiddiau byw gyflenwi dau lwybr ffurfio SOC clir, canfu Sokul et al. (2018) mai gwreiddiau byw oedd cwndid carbon i bridd mwnol. Mae nodweddion gwreiddiau perthnasol a all effeithio ar ffurfio carbon pridd yn cynnwys dwysedd canghennu gwreiddiau, dosbarthiad dyfnder gwreiddiau a hyd penodol gwreiddiau (Poirer et al, 2018).

Mae'r rhan fwyaf o garbon pridd yn deillio o fewnbynnau o dan y ddaear ac mae'n cael ei drawsffurfio, trwy ocsideiddiad gan ficro-organebau, i mewn i'r sylweddau a ganfyddir yn y pridd (Bradford et al, 2013). Mae parhad sylwedd organig mewn pridd i raddau helaeth oherwydd rhyngweithredoedd cymhleth rhwng sylwedd organig a'i amgylchedd, gan ddibynnu ar gemeg cyfansoddion, arwynebau mwnol adweithiol, hinsawdd, cyflenwad dŵr,

asidedd pridd, cyflwr rhydocs pridd a phresenoldeb diraddwyr posibl yn y micro-amgylchedd cyfagos (Six et al, 2002).

Gan ddefnyddio data o astudiaethau tymor hir, awgrymodd Smith (2014) y gall stociau C pridd gyrraedd cydbwysedd cymharol sefydlog o gwmpas 100 mlynedd ar ôl newid defnydd tir, ond mae'r prif newidiadau'n digwydd o fewn y 40 mlynedd cyntaf ((Conant et al, 2001). Mae ugain mlynedd yn aml yn cael ei ddewis fel yr amser am newidiadau mewn carbon pridd i ddod i ben yn dilyn newid defnydd tir gan IPCC (Eggleston et al., 2006).

#### 4.1.2 Priddoedd yng Nghymru

Mae priddoedd a biomas Cymru yn darparu sinc gwerthfawr mewn dal a storio carbon deuocsid, ond wedi'u rheoli'n wael, gallant ddod yn ffynhonnell allyriadau. Mae dyraniad defnydd tir yng Nghymru (Llywodraeth Cymru, 2020) yn cael ei ddangos yn Nhabl 4.1, yn seiliedig ar Arolwg Amaethyddiaeth mehefin, a Map Gorchudd Tir yr Arolwg Cefn Gwlad. Mae'r ddau ar gyfer 2015.

Tabl 4.1 Dyraniad tir yng Nghymru yn 2015

Categori	Ardal - Arolwg Amaethyddiaeth Mehefin (ha)	Ardal - Map Gorchudd Tir (ha)
Âr	90,144	99,777
Gwair dros dro	157,501	-
Gwair parhaol	1,068,814	984,555
Porfa arw - hawliau llwyr	257,264	339,965
Tir comin	180,306	180,305
Coetir ar ffermydd	77,961	83,004
Tir arall	11,998	-
<b>Cyfanswm Arwynebedd Ffermydd</b>	<b>1,843,988</b>	<b>1,687,606</b>
Coedwig/coetir	310,000	220,716

Mae gwahaniaethau yn yr amcangyfrifon ardal, oherwydd bod Arolwg Amaethyddiaeth Mehefin yn seiliedig ar ddehongliad ffermwyr o'u ffermydd, tra bo'r map Gorchudd Tir yn seiliedig ar ddehongli data synhwyro o bell.

Mae gweithgareddau LULUCF yn gallu arwain at allyriadau net a dileadau nwyon Tŷ Gwydr, a newidiadau mewn stociau carbon yn y pyllau sy'n gysylltiedig â LULUCF. Mae LULUCF wedi'i rannu i chwe math o ddefnydd tir: Tir Coedwig, Tir cnydau, Glaswelltir, Gwlyptiroedd, Aneiddiadau, a Thir Arall. Mae newidiadau stoc carbon ar gyfer Cynhyrchion Coed Wedi'u Cynaeafu yn cael eu hadrodd fel categori ychwanegol.

I Gymru, mae rhestr Nwyon Tŷ Gwydr 2018 yn adrodd sinc net o 443.73 kt CO<sub>2</sub>e, wedi'i reoli gan y dal a storio carbon a ddarperir gan goedwigaeth bresennol – sinc o 1209.74 kt CO<sub>2</sub>e – gweler Tabl 4.2 (Llywodraeth Cymru, 2021)



Tabl 4.2 Priff Ffynonellau a Sinciau - Rhestr LULUCF Nwyon Tŷ Gwydr Cymru - 2018

Ffynhonnell	Allyriadau (2018) (kt CO <sub>2</sub> e)
N <sub>2</sub> O anuniongyrchol	22.74
Coedwig yn aros yn Goedwig	-1209.74
Categoriâu tir eraill a drosir i goedwig	17.95
Tir cnydau'n aros yn dir cnydau	412.52
Glaswelltir a drosir i dir cnydau	463.62
Glaswelltir sy'n aros yn laswelltir	-278.96
Coedwig a drosir i laswelltir	100.69
Tir cnydau a drosir i laswelltir	-253.91
Gwlyptiroedd a thir a drosir i wlyptiroedd	-
Aneddiadau a drosir i laswelltir	-98.13
Aneddiadau'n aros yn aneddiadau	289.89
Coedwig a drosir i aneddiadau	22.29
Tir cnydau a drosir i aneddiadau	24.49
Glaswelltir a drosir i aneddiadau	363.09
Cynhyrchion Coed Wedi'u Cynaeafu	-296.00
Cyfanswm	-444.

Sylwer: Mae allyriadau bach wedi cael eu hepgor

## 4.2 Coedwigaeth

### 4.2.1 Stociau Carbon

Mae'r adran hon yn seiliedig ar adroddiad Matthews (2020), ar goedwigaeth a choetir yng Nghymru. Mae coetiroedd a choedwigoedd yn gronfeydd mawr o garbon yn y pridd yn ogystal â'r biomas. Cynhyrchodd canlyniadau astudiaeth BioBridd o 166 safle coetir ym Mhrydain Fawr gyfanswm stociau carbon pridd ar gyfer saith math gwahanol bras o bridd â gwerthoedd cymedrig yn amrywio o 108tC/ha i lawr i 1m o ddyfnder (Vanguelova et al. 2013). Mae gwerthoedd stoc carbon yn y biomas uwchben y ddaear mewn coetir fel arfer yn 50 - 170tC/ha sy'n golygu bod y stoc carbon pridd o leiaf mor fawr a hwnnw yn y biomas uwchben y ddaear, ac mewn rhai achosion yn sylweddol fwy. Yn yr arolwg Biobridd, roedd gan fathau pridd mwnol stoc carbon o 108tC/ha, (felly yn fras debyg i'r stoc mewn coed) ond roedd gan briddoedd organofwnol ac organig stociau sylweddol uwch (rhif cymedrig o 36 glei mawnog = 362 tC/ha a 14 mawn dwfn = 539 tC/ha (Vanguelova et al. 2013).

O ganlyniad, mae rheoli'r stoc carbon pridd yn gallu cael effaith bwysig ar y cydbwysedd carbon coetir cyffredinol, yn enwedig ar gyfer priddoedd organofwnol ac organig. Yn ogystal â'r stoc carbon pridd hwn, gall yr haenau gwasarn (gan gynnwys y gwir haen fasarn, ac eplesu'r haen F, (yn cynnwys sylwedd wedi pydru'n rhannol), gynnwys 12-20tC/ha (y swm cymedrig ar gyfer safleoedd arolwg BioBridd yw 16tC/ha).

Ar gyfer Cymru, asesodd Vanguelova et al. (2013) yr ardal wedi'i meddiannu gan fathau gwahanol o bridd ac o dan goetir coniferaidd a dail llydan. Yn seiliedig ar fesurau BioBridd o stoc carbon fesul ardal, cyfanswm y stoc carbon pridd coetir amcangyfrifedig oedd 51 MtC.

Roedd y rhan fwyaf o'r ardal goetir bresennol (yn 2003) ar diroedd llwyd, podsolau a gleiau/podsolau mawnog. Cyfrannodd yr ardaloedd coetir coniferaidd ar gleiau/podsolau mawnog a mawniau dwfn, er ond yn 21% o'r ardal, 42% o stoc carbon pridd coetir oherwydd stoc carbon uchel y mathau hyn o bridd organofwnol ac organig. Cafodd y stoc carbon ychwanegol yn yr haen gwasarn ei amcangyfrif ar gyfer Cymru i fod yn 4.6 MtC (Morison et al. 2012)

## 4.2.2 Opsiynau Lliniaru

Mae nifer o weithgareddau rheoli coedwig penodol sy'n gallu cyfrannu at liniaru newid hinsawdd:

- Creu ardaloedd coetir newydd (coedwigo)
- Rheoli coedwig yn cynnwys atal colli coetir (osgoi dadgoedwigo), cadwraeth neu wella carbon mewn coetiroedd presennol.
- Cynyddu cynhyrchiant, e.e. trwy gynaeafu cynyddol mewn coetiroedd presennol, i gyflawni effeithiau disodli/dadleoli mewn sectorau eraill.

### 4.2.2.1 Coedwigo

Defnyddiodd Matthews (2020) y model CARBINE gan ddefnyddio model pridd ECOSSE (Smith et al, 2007) i rag-weld y sinc carbon hyd at 2100, ar gyfer plannu ar y raddfa o 4000 ha y flwyddyn o 12018 hyd at 2040, yna 1000 ha y flwyddyn wedi hynny (Senario ymestyn o tua 100,000ha o ehangu). I ddechrau mae'r cydbwysedd Nwyon Tŷ Gwydr yn cael ei reoli gan allyriadau net CO<sub>2</sub> o golli stociau carbon pridd (2.0 tCO<sub>2</sub>/ha/y flwyddyn), sy'n digwydd o ganlyniad i baratoi safle a'r amser a gymerir yn y trawsnewid rhwng colli llystyfiant oedd yn arfer bodoli ar y safle a sefydlu'r coed yn llawn.

I gonifferiaid, dros orwel amser hyd at 2050, er bod allyriadau CO<sub>2</sub> o golli stociau carbon pridd yn parhau'n arwyddocaol, mae'r allyriadau hyn yn fwy na chael eu cydbwysu gan ddal a storio carbon ym miomas byw coed, biomas pridd ac mewn coed marw a gwasarn (-3.8 tCO<sub>2</sub>/ha/y flwyddyn, wrth i'r coed dyfu yn eu cam ymnerth llawn. Mae cyfraniad cymedrol hefyd at ddal a storio carbon yn ffurf cynnydd stoc carbon mewn cynhyrchion coed o deneuo (-0.4 tCO<sub>2</sub>/ha/yr). Ar draws pob trefn reoli berthnasol, mae rhywogaethau coed coniferaidd yn arddangos dal a storio CO<sub>2</sub> net arwyddocaol a gostyngiadau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr.

Ar gyfer coetir dail llydan newydd, gan gymryd y dderwen fel enghraifft, yn y cyfnod 2020-2050 CO<sub>2</sub> gwrthbwsodd allyriadau'n codi o golledion stoc carbon mewn pridd bron yn llwyr ddal a storio carbon mewn coed, coed marw a gwasarn. Mae colledion stociau carbon pridd yn debyg i gonifferiaid a choed dail llydan ond mae dal a storio carbon yn y coed dail llydan yn cymryd mwy o amser i gyrraedd y cam ymnerth llawn. O ganlyniad, mae cyfanswm net dal a storio carbon y flwyddyn bron yn ddibwys am y cyfnod 2020-2050, ond mae dal a storio carbon net dros orwelion amser hirach yn cael ei gynnal. Mae canlyniadau ar gyfer rhywogaethau coed dail llydan gwahanol yn amrywiol. Mae'r cyfraddau dal a storio gorau ar gyfer coed bedw oherwydd cyfradd tyfu coed uwch.

Cyn gynted â bod cynhyrchu coed yn dechrau, mae disodli cynnyrch ar gyfer deunyddiau adeiladu eraill a thanwydd coed yn gwneud cyfraniad cyson at ostyngiadau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o tua -3.5 tCO<sub>2</sub>/ha/y flwyddyn. Ar draws pob trefn reoli berthnasol, mae rhywogaethau coed coniferaidd yn arddangos dal a storio CO<sub>2</sub> net arwyddocaol. Mae'r ffaith eu bod yn cyrraedd aeddfedrwydd tua 60 mlynedd ar ôl eu plannu yn golygu eu bod yn gallu cael eu cynaeafu ar gyfer cynhyrchion coed, a gellir plannu cnwd coed newydd, i ddechrau cylch newydd o allyriadau cychwynnol ac wedyn dal a storio.

Mae posibiladau lliniau newid hinsawdd cymharol uchel yn gallu cael eu sicrhau o gyflwyno rhywogaethau coed neu amrywiaethau â chyfraddau twf gwell (e.e. pyrwydden Sitca wedi'i

gwella'n genetig), ar 3 tCO<sub>2</sub>e/ha/y flwyddyn dros y cyfnod 2020 hyd at 2050 a 5.5 tCO<sub>2</sub>e/ha/y flwyddyn dros y cyfnod 2050 hyd at 2100 (mae'r ail amcangyfrif yn cynnwys cyfraniad arwyddocaol o ddisodli pren am ddeunydd ynni uchel fel dur a choncrid).

#### 4.2.2.2 Rheoli coedwigoedd

Rhoddodd asesiad meintiol gan Matthews (2020) yr amcangyfrifon bras canlynol ar gyfer posibiladau lliniaru newid hinsawdd gweithgareddau rheoli coedwigoedd.

- Mae creu planhigfeydd coedwigaeth cylchdroi byr (ar gyfer biomas amrwd yn hytrach na chynhyrchu pren) yn gallu lliniaru rhwng 1 a 1.5 tCO<sub>2</sub>e/ha/y flwyddyn fel eilydd danwydd dros y cyfnod 2020 i 2100.
- Mae osgoi colli coetir yn gallu lliniaru rhwng 55 a 120 t CO<sub>2</sub>e/ha lle mae cyfleoedd yn boboli i atal neu leihau gweithgareddau sy'n ymwneud â choedwigo.
- Mae addasiadau i reolaeth coetiroedd presennol i gadw neu gynyddu stociau carbon coetir a dal a storio yn gallu lliniaru rhwng 1 a 2.5 t CO<sub>2</sub>e/ha/y flwyddyn dros y cyfnod 2020 i 2050 a rhwng tua 0 a 2 t CO<sub>2</sub>e/ha/y flwyddyn dros y cyfnod 2020 i 2100.
- Mae addasiadau i gyfansoddiad y rhywogaethau a chyfraddau twf coetiroedd presennol, i gynyddu cynhyrchiant coed tra'n cynnal stociau carbon, yn rhoi canlyniadau amrywiol. Mae angen i gyfraddau twf cyffredinol coed mewn coetiroedd amrywiaethus gynyddu i wella dal a storio.

#### 4.2.2.3 Cynyddu cynhyrchiant

Daeth Matthews (2020) i'r casgliad fod addasiadau penodol i reolaeth coetiroedd presennol yn gallu cyfrannu at gynnal stociau carbon. Y prif ymyriadau yw:

- Gohirio cynhaeaf terfynol (llwyrddorri) mewn coetiroedd masnachol unoed, trwy estyn cylchdroadau
- Trawsffurfio coetiroedd o reolaeth unoed i reolaeth gorchudd parhaus, yn gyffredinol trwy osgoi llwyrddorri ar raddfa fawr a chynnal gorchudd coed trwy ddatblygu strwythur heb fod yn unoed mewn coetiroedd.
- Cyfyngu ar neu osgoi cynaeafu coed mewn coetiroedd, â'r nod o uchafu stociau carbon mewn coed a phridd, o bosibl yn gofyn am drawsffurfio coetiroedd i gael eu ffurfio o rywogaethau coed sy'n parhau.
- Cadwraeth coetiroedd hirsefydlog a stociau carbon uchel.

#### 4.2.3 Crynodeb

**Mae ehangu coetiroedd yn cynrychioli ffordd fawr y gall allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr gael eu lleihau trwy ddal a storio yn y priddoedd a'r biomas. Ar ôl allyriadau cychwynnol oherwydd tarfu ar y pridd a cholled llystyfiant presennol, mae bwlch amser rhwng plannu a dal a storio i'r eithaf - cyfnod byrrach ar gyfer conifferiaid na choed dail llydan. Mae gan gonifferiaid gylch bywd arferol o tua 60 mlynedd rhwng plannu ac aeddfedrwydd tra bydd rhywogaethau dail llydan fel derw yn tyfu am 100 mlynedd neu fwy. Yn y tymor byr at 2050, byddai conifferiaid yn darparu'r sinc carbon mwyaf, tra bydd coed dail llydan yn dal a storio carbon yn y cyfnod 2050-2100 a thu hwnt.**

**Mae rheoli coetir yn gallu gwneud cyfraniadau bach at ddal a storio.**

**Yn ogystal, mae cynhyrchion coed wedi'u cynaeafu yn cadw (hynny yw, yn dal a storio'n effeithiol) carbon yn y biomas coed maen nhw wedi cael eu gwneud ohono. Mae gan gynhyrchion coed fewnbynnau ynni cymharol isel ac adnoddau anadnewyddadwy eraill yn eu gweithgynhyrchu. Felly, mae'r allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr ynghlwm â gweithgynhyrchu cynhyrchion coed yn gallu bod yn gymharol isel, o gymharu â chynhyrchion cyfatebol wedi'u gwneud o goncrïd a dur.**

**Mae biomas coed wedi'i gynaeafu yn gallu cael ei ddefnyddio hefyd fel tanwydd i ddisodli tanwyddau ffosil. Fodd bynnag, mae amrywiaeth fawr mewn canlyniadau o Ddadansoddiadau Cylch Bywyd ar fuddion cyffredinol ar gyfer allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr.**

### 4.3 Priddoedd Amaethyddol

Mae'r adroddiad ERAMMP (Alison et al. 2019) ar reolaeth carbon pridd wedi cael ei ddefnyddio i ddarparu gwybodaeth ar gyfer yr adran hon.

#### 4.3.1 Opsiynau Dal a Storio

Mae rôl priddoedd amaethyddol fel sinc carbon yn gysylltiedig â'i allu i ddal a storio yn wrthdrawiadol gydag amrywiaeth o astudiaethau'n seiliedig ar

- fesuriadau o newidiadau mewn stociau carbon pridd a
- mesuriadau uniongyrchol o allyriadau carbon deuocsid o briddoedd

Ffactor pwysig sy'n pennu sincipiau a ffynonellau yw cynnwys pridd organig uchel priddoedd Cymru, yn bennaf yn gysylltiedig â glaswelltir parhaol a'r uwchtiroedd. Er bod stoc carbon pridd Cymru wedi'i amcangyfrif i fod yn 409 Mt carbon (1,499 Mt CO<sub>2</sub> e) (Bradley et al. 2005), roedd amcangyfrifon o gronfeydd carbon pridd yn dibynnu'n drwm ar ansawdd mapiau pridd (graddfa mesur y ddaear yn gywir, graddfa map, math o ddsbarthiad) ac ar alogorithmau sy'n disgrifio dwyster carbon mewn priddoedd. O ganlyniad, mae amcangyfrifon o storio carbon pridd cenedlaethol o ymagweddau mapio gwahanol yn rhoi ystod o 340-530 Mt carbon (1,246-1,943 MtCO<sub>2</sub>e) a swm cymedrig o 436 ± 27 Mt carbon (1,598 ± 99 Mt CO<sub>2</sub>e) wedi'i amcangyfrif o 7 set data gwahanol / mapiau pridd cenedlaethol.

Mae tua hanner cyfanswm y stoc carbon pridd wedi'i leoli o fewn ardal o 492,721 ha neu 23.4% o arwyneb tir Cymru, yn bennaf mewn ardaloedd uwchtir a/neu ardaloedd o laswelltir parhaol. Mae'r 76/6% sy'n weddill o Gymru wedi'i orchuddio gan briddoedd mwnol â chynnwys carbon isel. Cynnwys carbon pridd arferol yw

- Âr 47.3 tC/ha
- Gwair 67.2-68.6 tC/ha
- Gwair asid 90.6 tC/ha
- Llystyfiant naturiol 82.8-89.9 tC/ha

(Arolwg Cefn Gwlad Countryside Survey 2007 - Emmett et al, 2010)

Mae systemau rheoli amaethyddiaeth yn gallu dylanwadu'n gryf ar brosesau pridd megis dal a storio carbon ac erydu. Mae trafau corfforol (e.e. aredig) yn torri agregiadau pridd, gan gynyddu ocsigeniad ac mae'n caniatáu mynediad microbig Mae draenio ac amaethu priddoedd organig llawn dŵr, gan arwain at awyriad, yn cynyddu pydru microbig a chynnydd mewn allyriadau CO<sub>2</sub>, ond gostyngiadau mewn allyriadau in N<sub>2</sub>O. Mae defnydd âr dwys o briddoedd mwnol yn gallu cynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O oherwydd y gyfradd gynyddol o ddadnitreiddio sy'n gysylltiedig â gosodiadau gwrtaith gormodol. Mae cynyddu'r cynnwys carbon yn y pridd yn gallu digwydd yn unig trwy gynyddu mewnbyn carbon, lleihau allyriadau carbon neu gyfuniad o'r ddau trwy reolaeth well.

#### 4.3.1.1 Glaswelltir - pori

Adolygodd Garnett et al. (2017) y llenyddiaeth ar opsiynau pori. Mae anifeiliaid pori o bosibl yn cynorthwyo dal a storio carbon mewn priddoedd trwy gymell tyfiant planhigion (trwy bori, a thrwy gylchu maetholion) gan gynnwys, yn bwysig, twf gwreiddiau a thrwy helpu carbon i gael ei symud o uwchben y ddaear (yn yr atmosffer, mewn llystyfiant) i o dan y ddaear (gwrtaithe wedi'i gladdu, gwreiddiau planhigion) lle gall fod yn llai hawdd i darfu arno. Mae cylchu carbon yn digwydd wrth i anifeiliaid fwyta'r llystyfiant, gan ddileu rhywfaint o'i garbon yn y broses. Mae llawer o'r carbon maen nhw'n ei lyncu yn cael ei golli wedyn o'r system glaswelltir yn ffurf CO<sub>2</sub> (trwy anadlu microbig) a methan (trwy eplesu enterig) ac mae'n cael ei sefydlu yng nghorff yr anifail neu mewn llaeth. Mae rhywfaint o'r carbon yn cael ei ddychwelyd i'r pridd fel dom. Os yw'r dom yn diweddu yn cael ei ymgorffori i mewn i'r pridd a'r carbon yn cael ei drosi i ffurfiau mwy sefydlog, mae hyn yn gallu achosi i briddoedd ennill carbon.

Yn gysylltiedig â'r cylchu carbon hwn, mae cylchu nitrogen hefyd yn digwydd rhwng llystyfiant, anifeiliaid a phriddoedd. Mae wrin a dom o anifeiliaid yn gallu ysgogi prosesau pridd a thwf planhigion. Mae'r nitrogen pridd hwn o ddom ac wrin hefyd yn gallu ffurfio cyfraddau dadelfennu deunydd pridd organig, gan arwain at stociau carbon llai sefydlog, a'r carbon yn cael ei golli yn y pen draw i'r atmosffer fel CO<sub>2</sub> (Neff et al, 2002). Bydd y bwyd nad yw'r anifeiliaid yn ei fwyta hefyd yn marw a phydru, gan ryddhau ei nitrogen yn ôl i mewn i'r pridd. Mae'r holl aiddynodiadau hyn yn gallu hybu cymeriant carbon, ond maen nhw hefyd yn gallu cynyddu rhyddhau carbon pridd i'r atmosffer.

Prif werth pori priodol ar gyfer dal a storio y'r effaith ar dwf gwreiddiau. Mae angen twf gwreiddiau uchel i gynorthwyo cyfraddau uwch o dwf porfeydd net. Os yw planhigion yn ymateb i'r ysgogiad pori trwy roi gwreiddiau newydd i lawr, yna mae'r carbon o dan y ddaear eisoes ac mae ganddo gyfle gwell o gael ei gadw yno lle gall gael ei drosi yn y pen draw i ffurfiau mwy sefydlog.

Os yw pori yn rhy drwm, hynny yw - os yw'r gyfradd 'cymryd i ffwrdd' yn uwch na gallu'r dail i ffotosyntheseiddio a chreu rhagor o ddail a chrachgoed (blagur planhigion newydd) - mae'r planhigion yn marw, sy'n golygu bod eu gwreiddiau'n marw hefyd ac, wrth gwrs, nid yw pori'n gallu cael ei gynnal mwyach. Yn syml nid yw'r glaswellt yn gallu adfer yn ddigon cyflym, sy'n golygu nad yw'r planhigion yn ffotosyntheseiddio mwyach nac yn tynnu carbon o'r atmosffer.

Mae pori dwyster ysgafn i gymedrol yn fwy tebygol o gynnal stociau carbon pridd ac mae ganddo botensial mwy i feithrin dal a storio (ar diroedd lle mae hyn yn bosibl) na phori trwm parhaus, sydd fel arfer yn niweidiol ac yn lleihau carbon pridd. Mae angen dim ond digon o darfu i gymell twf planhigion, ond nid gormod i'w orlwytho. Mae gweiriau'n amrywio, fodd bynnag, yn eu gallu i wrthsefyll pwysau pori. Mae rheoli pori'n dda ar y gyfradd stocio gywir yn helpu i gynnal stociau carbon pridd, o gymharu ag ymarfer pori gwael neu drosi i dir cnydau. Lle mae priddoedd wedi'u diraddio, mae mwy o gwmpas ar gyfer rheoli pori yn well i adeiladu carbon pridd na lle mae priddoedd mewn cyflwr da eisoes.

Gwnaeth Conant et al. (2001) metaddadansoddiad o reolaeth ar laswelltiroedd gan gynnwys gwelliant trwy wrteithio, rheolaeth well ar bori, a throsi i borfeydd o diroedd cynhenid ac wedi'u hamaethu. Roedd cyfraddau dal a storio ar gyfartaledd yn 0.30-0.35t C/ha/y flwyddyn. O'r astudiaethau oedd yn archwilio dwysterau gwahanol o bori, cynyddodd C pridd ar gyfartaledd o 0.19t C/ha ar gyfer astudiaethau yn cymharu dwysterau pori gwahanol. Diweddarodd Conant et al. (2017) eu dadansoddiad a daethant i'r casgliad fod ymarferion rheoli wedi'u nodweddu fel "gwell" yn tueddu i arwain at stociau C pridd cynyddol, a'r cyfartaledd ar draws pob astudiaeth o 0.47t C/ha/y flwyddyn lle cafodd tir cnydau ei drosi'n laswelltir. Roedd cyfraddau dal a storio ar gyfer pori ar borfeydd sefydliedig (0.28t

C/ha/yflwyddyn) yn is. Roedd yr ychydig astudiaethau o bori cylchol yn amhendant (Godde et al, 2020).

Diweddarodd Smith et al. (2014) fetaddadansoddiad o 2008 (Smith et al. 2008) ac adroddodd am gyfraddau dal a storio carbon posibl o 0.22 t C/ha/y flwyddyn yn y rhanbarth biohinsoddol claear/llaith (tymheraidd) o ganlyniad i reolaeth well o lastiroedd - gwerth agos at yr hyn a fesurwyd gan Soussana et al. (2010). Canfu Soussana et al. (2007) dystiolaeth o lawer o safleoedd glaswelltir Ewropeaidd i ddangos bod cyfraddau dal a storio C mewn ystod fawr o 0.05+/-0.30 t C/ha/y flwyddyn, yn seiliedig ar fesur stociau C organig pridd. Canfuwyd dal a storio o 0.22t C/ha/y flwyddyn o fesur cyfraddau allyrru carbon deuocsid. Dangosodd safleoedd cydbwysu carbon Ewropeaidd (Schulze et al., 2009) ar gyfartaledd, fod priddoedd o dan laswelltiroedd yn sincia C net o 0.57+-34 t C/ha/y flwyddyn gan ddangos yr amrywiaeth fawr o ganlyniadau. Yn seiliedig ar Arolwg Cefn Gwlad 2007 monitro pridd (Emmett et al. 2010), cafodd cyfraddau dal a storio o 0.05t/C/ha/y flwyddyn eu hamcangyfrif ar gyfer glaswelltir wedi'i wella. Amcangyfrifodd Henderson et al. (2015) y dal a storio ar gyfartaledd o 0.014 t C/ha/y flwyddyn i fod yn gyflawnadwy trwy newidiadau mewn ymarferion pori sy'n uchafu cynhyrchu bwyd. Mae'r amrywiaeth fawr o gyfraddau dal a storio yn cael ei hachosi yn rhannol gan yr amrywiaeth rheolaeth o'r priddoedd cyn mesuriadau.

Defnyddio samplau priddoedd ailadroddol, archwiliodd Bellamy et al. (2005) newid carbon pridd mewn uwchbriddoedd yn Lloegr a Chymru trwy ailsamplo ar ôl 20 mlynedd. Ni wnaethant ganfod dystiolaeth o gynnydd mewn C uwchbridd mewn glaswelltiroedd; mewn gwirionedd dangosodd y pedwar catgori glaswelltir (gwair cylchol, gwair parhaol, pori garw a gwair uwchdir) golledion C bach i gymedrol. Cafodd y colledion eu priodoli i newid hinsawdd ond cafodd hyn ei herio gan Smith et al. (2007), gan hawlio bod y gostyngiadau a arsylwyd oherwydd newidiadau i ymarferion ffermio.

Ni chanfu Chamberlain et al. (2010) dystiolaeth o newid cyffredinol mewn Carbon Organig Pridd (SOC) ar draws pob defnydd tir a threfn reoli. Fodd bynnag, yng Nghymru, mae gostyngiadau ymddangosiadol wedi digwydd mewn crynodiad C mewn cynefinoedd uwchdir rhwng 2007 a 2016 (Frogbrook et al. 2009, Emmett a'r tîm GMEP, 2017), ac mae gywyr y duedd hon o dan ymchwiliad. Un canfyddiad cyson yw lle mae gostyngiadau SOC yn digwydd, maen nhw'n gallu digwydd yn anghymesur mewn rhanbarthau â stociau C uwch cychwynnol (Bellamy et al., 2005). Mae tueddiadau SOC yn gyffredinol yn deillio o'r 0-30cm uchaf o bridd, felly mae eu cynrychioldeb o gyfanswm stoc SOC yn ansicr (Buckingham et al., 2013). Mewn rhai systemau, mae'r C wedi'i storio o dan 1m yn cyfateb i >50% o'r C a storir uwchben 1m (Jobaggy a Jackson, 2000).

Dangosodd Schrumpp et al. (2011) gan adolygu naw astudiaeth (cafodd rhai ohonynt eu cynnwys hefyd gan Soussana et al., 2010), gynnydd mewn SOC mewn pedwar, gostyngiadau mewn dau, a chanfyddiadau cymysg neu ddim gwahaniaeth mewn pedair astudiaeth. Nid oedd dystiolaeth gyson mewn astudiaethau samplu ailadroddol fod glaswelltiroedd yn ennill mewn C uwchbridd. Pwysleisiodd Schrumpp et al. (2011) yr angen am benderfyniadau cywir i fonitro stociau a newidiadau carbon pridd. Mae astudiaethau eraill hefyd wedi herio gallu priddoedd i atafaelu carbon yn barhaus (Poulton et al, 2018: Powlson et al, 2011: Schlesinger et al, 2019: Hopkins et al, 2009: White et al, 2018).

Mae ychydig o gonsensws ar effeithiau mathau penodol o reoli pori ar lefelau SOC oherwydd yr ystod o leoliadau ac ymarferion pori (Schils et al., 2005). Er enghraifft, nid yw effeithiau "pori torfol" ar SOC wedi'u datrys (Buckingham et al., 2013). Mae pori torfol yn cynnwys pori tir am gyfnodau byrrach o amser (fel arfer am 1 diwrnod) ar ddwysterau stocio uwch. Mae dystiolaeth ar gyfer buddion dal a storio pori cylchol cyfannol, addasol ac amrywiadau eraill yn wrthddywediadol (Nordborg 2016). Mae un o'r heriau arwyddocaol mewn asesu potensial dal a storio ymarferion pori yn gorwedd yng nghymhlethdod y rhyngweithredoedd rhwng priddoedd, llystyfiant, anifeiliaid pori, ac ymyriadau dynol sy'n anodd i'w cipio yn y categorïau rheoli ffermio sy'n cael eu hasesu fel arfer yn y llenyddiaeth wyddonol.

Mae pori atgynhyrchiol neu dorfol ynghyd â leiau llysiuol wedi cael eu cymeradwyo fel ffordd o gynyddu carbon pridd, ond mae'r dystiolaeth yn fach ac yn wrthddywediadol (Garnett et al, 2017). Ar gyfer pori cylchdroadol 'confensiynol' (anifeiliaid yn cael eu symud rhwng padogau naill ai yn ôl dyddiadau calendr neu ar ôl i ganran benodol o'r gwair gael ei bwyta), nid yw arbrofion pori rheoledig sydd wedi ceisio eithrio pob amrywiad yn fwriadol er mwyn ynysu effaith y cylchdroi ei hun, wedi canfod systemau pori cylchdroadol yn cynnig dal a storio carbon na manteision eraill dros bori parhaus (Briske et al, 2008).

Cadarnhaodd metaddadansoddiad o effeithiau pori ar garbon pridd glaswelltir bwysigrwydd amrywiadau penodol i safle ar ddal a storio (McSherry a Ritchie (2013)). Ni allai dyfarniadau hawdd gael eu gwneud am y berthynas rhwng dwyster pori ac unrhyw ffactor unigol megis glawiad neu fath o bridd. Gwnaethant nodi bod effeithiau rheoli pori ar SOC yn gallu bod yn fawr, gydag enillion neu golledion wedi'u dosbarthu o tua 5.5 t CO<sub>2</sub>/ha/yr (1.5 t C/ha/y flwyddyn), gydag amrywioldeb dros amser.

**I grynhoi mae tystiolaeth wrthdrawiadol am effaith pori ar ddal a storio carbon er y gall pori ysgafn-cymedrol fod yn fanteisiol. Mae astudiaethau amrywiol yn dod i'r casgliad fod cyfraddau dal a storio yn yr ystod minws 0.25 i plws 0.35 t C/ha/y flwyddyn) â gwallau mawr. Mae llawer yn dibynnu ar reolaeth flaenorol y glaswelltir.**

**Mae dangosiad dal a storio o lefelau carbon organig pridd (SOC) hefyd yn wrthdrawiadol a chynnydd a lleihad yn cael ei adrodd ar gyfer safleoedd glaswelltir. Mae astudiaethau o ymarferion pori cylchdroadol wedi dangos dim tueddiadau cyson mewn lefelau carbon pridd na dal a storio. Mae diffyg tystiolaeth am newidiadau mewn lefelau carbon organig pridd mewn is-briddoedd..**

#### 4.3.1.2 Effeithiau ar Wrteithiau

Mae'n aneglur i ba raddau mae nitrogen yn ysgogi dal a storio. Daeth Lu et al. (2011) i'r casgliad o'u metaddadansoddiad fod ysgogi N o storio SOC wedi digwydd yn bennaf mewn pyllau planhigion ac yn llai mewn pyllau pridd. Cafodd maint bach effaith ychwanegu N ar stociau SOC ei esbonio gan ysgogiad uwch cynhyrchu biomas uwchben y ddaear na biomas o dan y ddaear. Ymhellach, dangosodd y set ddata a gasglwyd gan Lu et al. (2011) yr ysgogodd ychwanegu N fwneiddio sylwedd organig pridd i ryddhau carbon deuocsid. Roedd hyn yn gyson â chanlyniadau gan Neff et al. (2002).

Mae gwrteithiau'n trosglwyddo carbon organig presennol i'r pwll pridd (Chenu et al., 2019). Gall ychwanegiadau o ddeunyddiau organig hefyd wella prif gynhyrchiant cynydu trwy argaeledd maetholion cynyddol a ffracsiynau C ansefydlog. Mae hyn yn cynrychioli llwybr eilaidd mae'r mesur hwn yn gallu dylanwadu ar ddileu C atmosfferif net drwyddo. Fodd bynnag mae dal a storio net yn dibynnu ar y carbon a ychwanegir yn cael ei gloi i mewn i'r pridd.

Mae gan fewnbwn gwrtaith (yn enwedig N) y potensial i uchafu cynnyrch a SOC. (Alvarez 2005). Ond mae'n bwysig i edrych ar allyriadau Nwyon Tŷ gwydr cyffredinol, gan y bydd ffrwythlonwyr a gwrteithiau N yn cynyddu allyriadau ocsid nitrus. Canfu Henderson et al. (2015) fod allyriadau N<sub>2</sub>O o ffrwythloni N yn mynd y tu hwnt i ddal a storio carbon ym mhob rhanbarth byd-eang. Yng Ngorllewin Ewrop, roedd cyfraddau dal a storio yn isel, yn amrywio o 0.001 i 0.002 t CO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn . Cafodd bron yr holl (99%) o'r dal a storio posibl ei wireddu â chyfraddau isel o fewnbynnau N a chyfraddau dal a storio amcangyfrifedig (a symiau) wedi'u newid fymryn â mewnbynnau N cynyddol. Gwnaethant ystyried bod yr ymagwedd hon yn aml yn achosi colledion naill ai oherwydd bod y planhigion yn priodoli eu twf i mewn i'w biomas uwchben y ddaear yn hytrach na'u gwreiddiau, neu oherwydd bod y nitrogen yn cyflymu dadelfennu carbon.

Dangosodd Fornara et al. (2015) o 43 o flyddoedd o ddata o arbrawf glaswelltir parhaol fod stociau C pridd wedi cynyddu ar draws holl driniaethau maetholion rhwng 1972 a 2013 a chyfraddau cronni C yn y pridd yn amrwyio rhwng 0.35 t C/ha/y flwyddyn mewn priddoedd rheolaeth heb eu gwrteithio i 0.86t/ha/y flwyddyn o dan osodiadau uchaf gwrteithiau hylifol gwartheg. Mewn asesiad dilynol ar draws 126 safle yng Ngogledd Iwerddon, canfu Fornara et al. (2020) y digwyddodd newidiadau arwyddocaol mewn stociau C pridd yn bennaf yn 20cm uchaf y pridd (nid mewn priddoedd dyfnach) a dim ond rhwng triniaethau maetholion 'eithafol' (hynny yw, priddoedd heb eu gwrteithio yn erbyn rhai wedi'u gwrteithio'n fawr).

Ymchwiliodd Ammann et al. (2007) i gyllideb C glaswelltir tymheraidd, oedd wedi cael ei drosi o'r newydd o dir âr, ers tair blynedd. Gwnaethant ganfod bod storio SOC 2 tC/ha/y flwyddyn yn uwch o dan reolaeth "ddwys", lle cafodd gwrteithiau a ffrwythlonwyr N eu gosod, na thriniaeth "helaeth", lle na chafodd gwrtaith na ffrwythlonwr ei osod

Canfu adolygiad i ffurfio rhestrau LULUCF (Buckingham et al., 2013) newidiadau cadarnhaol mewn stociau C pridd glaswelltir a achoswyd trwy osodiadau piswail neu wrtaith (0.7 i 15 t C/ha). Adroddodd Jones et al. (2006) storio C o 15.7-48.3 t C/ha yn dilyn gosod gwrtaith am chwe blynedd. Adroddodd Smith et al. (2008b) liniaru posibl CO<sub>2</sub> o -0.62 – 6.20 t CO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn am osod gwrtaith neu fiosolidau mewn rhanbarthau claeaf llaith, er bod hyn yn cynnwys tir crydau yn ogystal â glaswelltir. Mae effeithiau gosod gwrtaith ar gyfer SOC weithiau'n cael eu cyflwyno ar y cyd ag ymyriadau eraill. Mae metaddansoddiad gan Conant et al. (2001) yn adrodd bod ffrwythloni yn gallu cynyddu SOC o 0.3 t C/ha/y flwyddyn.

Mae gwneud y gorau o pH pridd yn gyffredinol trwy osod calsiwm alcalinaidd neu garbonadau magnesiwm neu ocsidau (calch) yn gwella argaeledd maetholion pridd, yn cynyddu prif gynhyrchiant a mewnbwn Sylwedd Organig i bridd. Mae rhywfaint o dystiolaeth fod calchu yn gallu lleihau allyriadau ocsid nitrus, ond yn ddibynnol ar gynnwys lleithder pridd (Clough et al., 2004)

**I grynhoi mae gosod gwrteithiau yn gallu cynyddu ymgorffori carbon, ond hefyd mae ganddo'r potensial i gynyddu dadelfennu carbon pridd. Mae gan osod gwrtaith yr anfantais o gynyddu allyriadau N<sub>2</sub>O, er mwyn i allyriadau cyffredinol allu cael eu cynyddu. Mae gosodiadau gwrtaith yn cynyddu SOC yn enwedig yn y 20cm uchaf o bridd, ond nid yw'r crynodiad hwn yn cyfateb i ddal a storio carbon oni bai fod y carbon wedi'i gloi i mewn i bwll carbon y pridd.**

#### *4.3.1.3 Crynodeb - glaswelltir*

**Daeth Smith (2014) i'r casgliad ei bod yn anghynaliadwy i laswelltiroedd weithredu fel sinc carbon am byth, a'r esboniad mwyaf tebygol dros sincipiau carbon glaswelltir a arsylwyd dros gyfnodau byrion yw effeithiau gwaddol defnydd tir a rheolaeth tir cyn dechrau cyfnodau mesur fflycs. Nid yw meddu ar laswelltir yn unig yn arwain at sinc carbon, ond mae rheolaeth ddoeth o laswelltiroedd a reolwyd yn wael yn flaenorol yn gallu cynyddu capasiti'r sinc. O ystyried bod glaswelltiroedd yn storfa fawr o garbon, a'i bod yn haws a chyflymach i briddoedd golli carbon nac y mae iddynt ennill carbon, mae'n darged rheoli pwysig i gynnal y stociau hyn. Mae rheolaeth o laswelltiroedd a reolwyd yn wael yn flaenorol yn gallu cynyddu capasiti'r sinc (er y bydd hyn yn lleihau dros amser).**

**Mae'n bwysig i bwysleisio bod sincipiau carbon yn wrthdroadwy - mae beth gellir ei wneud, yn gallu cael ei ddad-wneud. Mae stociau carbon pridd yn gallu cynyddu trwy reoli pridd yn dda, ond gall hefyd gael ei golli trwy reolaeth wael. Mae ymarferion yn gallu newid i ateb amodau economaidd, er enghraifft symud glaswelltir i dir âr.**

**Mae'r llenyddiaeth ymchwil yn dangos bod y cysylltiad rhwng rheoli pori a dal a storio carbon yn amrywiol iawn gydag amser a rheolaeth flaenorol, gan ei gwneud hi'n**



**anodd i osod cyfradd dal a storio sy'n gallu cael ei fesur. Mae trefniadau cylchdroadol neu dorfol yn dangos ychydig o dystiolaeth glir o hyrwyddo dal a storio.**

#### **Y prif gasgliadau yw fod**

- **Angen i stociau carbon mewn priddoedd gael eu gwarchod.**
- **Mae trosi o dir âr i laswelltir yn arwain at gynyddu dal a storio.**
- **Mae cyfleoedd i gynyddu carbon pridd yn digwydd yn bennaf ar gyfer priddoedd mwnol Cymru, yn enwedig ar gyfer porfa wedi'i gwella oedd wedi bod mewn cylchdroad cnydau o'r blaen â thir âr.**
- **Mae gwrteithiau yn gallu cynyddu dal a storio ond mae ganddynt gynnydd cysylltiedig mewn allyriadau ocsid nitrus.**
- **Mae opsiynau rheoli ar gyfer y 363,000ha o laswelltiroedd lled naturiol at briddoedd mwnol yn anos gan fod ychydig iawn yn cael ei wneud mewn ymyriadau rheoli. Nir yw'r tir yn darparu cyfleoedd ar gyfer ehangu coetir.**

#### 4.3.1.4 Âr

Dyfyynnodd Arolwg Cefn Gwlad 2007 stociau carbon pridd Cymru i fod yn 56.0 t C/ha ar gyfer tir âr, a 68.1 t C/ha ar gyfer glaswelltir wedi'i wella - gan bwysleisio'r gostyngiad o stociau carbon pridd trwy allyriadau o garbon deuocsid ar drosi glaswelltir i dir âr (Emmett et al, 2010). Mae'r stoc carbon pridd is mewn priddoedd âr yn adlewyrchu'r ffaith bod tarfu ar bridd yn cyflymu dadelfennu C organig uwchbridd (Conant et al., 2001).

Mae carbon yn cael ei golli'n gyflymach nac y mae'n cael ei ennill ar ôl newid mewn defnydd tir (Soussana et al., 2010). O ganlyniad i drin tir ac ailhadu, mae glaswelltiroedd parhad byr yn tueddu i gael potensial ar gyfer storio C pridd rhyngol rhwng cnydau a glaswelltiroedd parhaol. Mae'r storio C yn cynyddu yn unol ag aredig llai aml (Soussana et al., 2004). Nid yw newidiadau stoc SOC yn digwydd yn ddigymell ond dros gyfnod o flynyddoedd.

Daeth yr effaith negyddol gryfaf ar SOC a adroddir gan Guo a Gifford (2002) o drosi porfeydd i gnydau. Adroddodd Freibauer et al. (2004) am newidiadau o - 1.0 i -1.7 t C/ ha/y flwyddyn. Mae astudiaeth arall yn dangos bod trosi glaswelltir parhaol i dir cnydau blynyddol yn gallu lleihau SOC ar raddfa o -0.96 t C/ha/y flwyddyn dros gyfnod o 20 mlynedd Soussana et al. (2004).

Pwysleisiodd FAO (2017) fod y gostyngiad stociau carbon mewn priddoedd âr yn cael ei effeithio'n gryf gan ddychweliad gweddillion cnydau i'r cae, gosod gwrtaith organig a dwyster y raddfa o drin y tir. Amcangyfrifodd FAU (2017) ddinistrio arwyddocaol a hirhoedlog o garbon organig pridd ar dir âr - roedd y golled garbon ar gyfartaledd tua 0.4tC/ha/yflwyddyn i amaethyddiaeth gonfensiynol. Daeth astudiaethau monitro pridd Arolwg Cefn Gwlad 2007 (Emmett et al. 2010) i'r casgliad fod colled ar gyfartaledd o 0.19t C/ha/y flwyddyn ar gyfer tir âr.

Mae ymchwil ar garbon pridd mewn priddoedd âr wedi archwilio technegau rheoli amrywiol ar gyfer cynnal carbon pridd a lleihau gostyngiadau carbon deuocsid. Adolygodd Powleson et al. (2014) dystiolaeth a gyhoeddwyd fod trin-sero yn fuddiol i weithrediad ac ansawdd pridd mewn llawer o sefyllfaoedd. Mae'r amodau pridd canlyniadol yn cynnig potensial ar gyfer twf cnydau gwell a gwynwch cynyddol i amrywioldeb tywydd ac effeithiau tebygol newid hinsawdd. O ganlyniad mewn rhai amgylchiadau mae trin-sero yn gallu cael ei ystyried yn gyfraniad at addasu newid hinsawdd. Ond mae data a gyhoeddwyd ar faint lliniaru newid hinsawdd o ddim trin trwy ddal a storio carbon (C) organig mewn pridd yn llawer mwy amwys.

Daeth Manley et al., (2005) i'r casgliad 'Mae ein dadansoddiadau ystadegol o fwy na 100 astudiaeth a rhyw 900 amcangyfrif yn awgrymu bod Trin Sero yn ymddangos i ddal a storio rhy ychydig o garbon ar gost rhy uchel i wneud y modd hwn o liniaru newid hinsawdd yn ddewis amgen deniadol i leihau allyriadau'. Serch hynny, hyd yn oed mewn lleoliadau lle mae Trin Sero yn gallu cynyddu C pridd, mae angen iddo gael ei gynnal. Mae hyn yn gallu bod yn anodd os yw Trin Sero yn arwain at adeiladu chwyn sy'n gofyn am reolaeth trwy amaethu neu osod chwynladdwyr.

Dangosodd cymhariaeth o ddim trin a thrin coinfensiynol, lle roedd pridd wedi cael ei samplio hyd at o leiaf 60 cm o ddyfnder, ddim cynnydd cyffredinol mewn stoc SOC o dan ddim trin (Poirier et al., 2009) Cafodd stociau mwy yn yr haen 20 cm uchaf o gymharu â thrin confensiynol eu gwrthweithio gan symiau llai yn yr haen 20-60 cm o dan ddim trin.

Mae stociau carbon yn cael eu diffinio yn nhermau'r swm o garbon ar gyfer pwysau penodol o bridd, ond mae trosi'r ffigur hwnnw i'r swm o garbon pridd ar gyfer sail ardal yn gofyn am fesuriadau dwyster yn ogystal â chrynodiad. Mae'r ymagwedd hon yn gofyn am fesur dwyster swmp pridd yn ogystal â chrynodiad SOC, oherwydd bod dwyster swmp yn cael ei newid i ddim trin: nid yw gweddillion cnydau yn cael eu cymysgu yn yr haen uwchbridd fel y mae'n digwydd ag aredig neu ddisgio cae, felly mae sylwedd organig yn crynhoi yn agos at arwyneb y pridd. Mae hyn yn gallu arwain at ddwyster pridd gostyngol yn y 5cm arwyneb o gymharu â thrin tir traddodiadol ond mae gan lawer o broffil y pridd o dan ddim trin bron yn ddiethriad ddwyster swmp cynyddol oherwydd absenoldeb tarfu.

Mae'r carbon ychwanegol o dan ddim trim i raddau helaeth mewn ffurfiau ansefydlog fyddai'n cael eu dadelfennu pe byddai ymarferion dim trin yn dod i ben a ffermwr yn troi yn ôl at drin y tir yn gonfensiynol. Nid yw carbon organig pridd yn parhau i gynyddu'n amhenodol ac mae cyfraddau blynyddol cronni yn gostwng wrth i'r pridd nesáu at gydbwysedd newydd, sy'n gallu cymryd o 25 i 100+ o flynyddoedd yn dibynnu ar hinsawdd a math o bridd. (Smith, 2016) Felly, nid yw cyfraddau cyflym o gronni SOC a fesurir weithiau yn y blynyddoedd cynnar ar ôl newid mewn rheolaeth, megis symudiad at beidio trin y tir, yn gallu cael eu hailosod yn amhenodol. Yng ngogledd-orllewin Ewrop, mae araedig cyfnodol yn cael ei ymarfer i reoli'r chwyn parhaol a chywasgiad pridd sy'n deillio o ymarferion peidio trin y tir - felly'n negyddu budd peidio trin y tir.

Opsiwn addawol i ddal a storio carbon mewn priddoedd amaethyddol yw cynnwys cnydau gorchudd mewn systemau tyfu cnydau. Mantais cnydau gorchudd o gymharu ag ymarferion rheoli eraill sy'n cynyddu carbon organig pridd (SOC) yw nad ydynt yn achosi gostyngiad mewn cnydau, megis ehangu'r tir cynhyrchiol, na cholledion carbon mewn systemau eraill, fel y gall gosodiadau gwrtaith organig wneud. Cynhaliodd Poeplau a Don (2015) fetaddadansoddiad i gael swyddogaeth ymateb carbon sy'n disgrifio newidadau stoc SOC fel swyddogaeth amser. Cafodd data o 139 plot ar 37 safle gwahanol eu crynhoi. O ran cyfanswm, roedd gan y triniaethau cnydau gorchudd stoc SOC sylweddol uwch na'r tir cnydau a argymhellir. Cynyddodd y stoc SOC â hyd yr amser ers cyflwyno cnydau gorchudd mewn cylchdroadau cnydau. Y gyfradd newid flynyddol oedd  $0.32 \pm 0.08$  t C/ha/yr ar ddyfnder pridd cymedrig o 22 cm dros y cyfnod hyd at 54 o flynyddoedd.

Ymyriad arall sy'n cael ei ymchwilio yw datblygiad cnydau â systemau gwreiddiau mwy, dyfnach, felly'n cynyddu mewnbynnau C planhigion a sinciau C pridd (Kell 2012). Nid yw cynyddu biomas gwreiddiau a dethol ar gyfer pensaernïaethau gwreiddiau sy'n storio mwy o C mewn priddoedd wedi bod yn amcan o'r blaen i fridwyr cnydau, er bod gan y rhan fwyaf o gnydau ddigon o allu i newid nodweddion gwreiddiau yn sylweddol. Gallai dethol wedi'i anelu at addasu gwreiddiau i asidedd pridd a chyfyngiadau ar faetholion yn well gynhyrchu mewnbynnau C gwreiddiau helaethach yn ogystal â chynhyrchion cnydau cynyddol. Mae mewnbyn C gwreiddiau helaethach wedi'i adnabod yn dda fel prif reswm am y stociau C pridd uwch a gynhelir o dan weiriau parhaol o gymharu â chnydau blynyddol (Kell (2012) Mae llawer o'r carbon a'r rhan fwyaf o'r mesuriadau yn gyfyngedig i'r 1m uchaf o bridd, a

gallai datblygu planhigion â gwreiddiau dyfnach ddal a storio C sylweddol fwy na sy'n digwydd ar hyn o bryd.

Mae crynodeb o'r prif newidiadau mewn defnydd tir ar gyfer amaethyddiaeth yn cael ei ddangos yn Nhabl 4.3

Tabl 4.3 Newidiadau carbon pridd a dal a storio/colledion o newidiadau defnydd tir

Newid Defnydd Tir	Carbon Pridd (tC/ha)	Dal a Storio Carbon (tC/ha/y flwyddyn)
Glaswelltir i dir âr parhaus	O 58.7-83.8 i 43.2-56.0	- 0.96 i -2.02 -5 i -16 yn y 2 flynedd gyntaf
Tir âr i laswelltir cylchdroadol	O 43.2 i 58.7	+0.1 i +0.53 *
Tir âr yn aros yn dir âr	Ystod o 43.2-56.0	-0.19 i -0.4 **
Glaswelltir heb ei darfu	Ystod o 68.1-83.8	-0.25 i + 0.35 Gwerth cymedrig o +0.05

Nodiadau \*Yn dibynnu ar gylchdro rhwng glaswelltir a thir âr: \*\* Yn dibynnu ar sawl blwyddyn mae cynyddio di-dor wedi digwydd a SOC cychwynnol y pridd.

**I grynhoi, ar gyfer tir âr yng Nghymru, mae enillion dal a storio yn gyfyngedig ac eithrio pan fydd tir ar yn cael ei drosi i laswelltir neu goetir. Mae'n ymddangos mai cynyddau gorchudd yw'r brif ffordd i gynyddu carbon organig pridd. Byddai'r ymagwedd Rhestr LULUCF bresennol yn cipio effeithau defnydd tir a newid defnydd tir, ond nid ymarferion rheoli tir manwl.**

#### 4.3.1.5 Amaethgoedwigaeth

Amaethgoedwigaeth yw ymarfer tyfu coed mewn systemau cynyddau neu dda byw. Mae'n gallu cael ei gymhwyso i systemau rhyng-gnydio (e.e.cnydio alai), rheoli braenar, ardaloedd gwynt neu gysgod a phori. Yn ogystal â dal a storio C mewn biomas coed uwchben y ddaear, gyda throsglwyddo parhaus i bwll C y pridd, mae gwreiddiau coed yn gwella ansawdd a maint mewnbynnau C o dan y ddaear, ac yn adfer maetholion a lleithder o orwelion pridd is (Cardinael et al, 2017). Yn y systemau silfo-âr, y gyfradd grynhoi stoc carbon organig cymedrig yn y pridd oedd 0.24 (0.09–0.46) tC/ha/yr ar ddyfnder o 30 cm a 0.65 (0.004–1.85) t C/ha/yr ym miomas y coed. Mae gan briddoedd âr lefelau carbon pridd is na phriddoedd glaswelltir gan beri i ddal a storio o dan y ddaear o goed fod yn fwy arwyddocaol.

Mae metaddadansoddiadau wedi dangos bod plannu coed ar borfeydd, o leiaf yn y tymor byr, yn gallu arwain at ostyngiadau mewn carbon organig pridd (Shi et al., 2013). Mae'r fath golledion yn tueddu i gael eu gwaethygu mewn ardaloedd glawiad uchel.

Dangosodd Upson et al. (2016) ar gyfer plotiau arbrofol wedi'u sefydlu 14 blynedd yn gynharach, fod storio uwchben y ddaear coed coetir yn 35.9 t C/ha, yn cyfateb i gynnydd blynyddol o 2.56 t C/ha/y flwyddyn. Felly er y cynyddodd plannu coetir ddal a storio carbon yn y biomas uwchben y ddaear yn ystod y 14 blwyddyn cyntaf, byddai'r colledion SOC yn yr haen 0-10 cm yn unig yn gwrthbwysu 37% o'r ennill uwchben y ddaear. Roedd colled hefyd o stoc SOC yn yr haen arwyneb (0-10 cm) o'r coed silfoborfaol o 6.1 t C/ha, yn cyfateb i golled gymedrig o 0.44 t C/ha/yflwyddyn dros y 14 blwyddyn.

Dros y rhychwant amser 14 blwyddyn, roedd storio carbon uwchben y ddaear y coed silfoborfaol yn uwch nac ar gyfer coetir, yn cyfateb i 99.4 t C/ha (7.1 t C/ha/yflwyddyn ) pan gaiff ei fynegi mewn perthynas â gofod rhwng coed y silfoborfa. Felly yn yr achos hwn byddai'r colledion SOC yn yr haen bridd arwyneb yn lleihau'r ennill carbon net o fewn ardal y coed silfoborfaol o 6%. Mae'r canlyniadau hyn yn dangos y gallai'r system silfoborfaol storio mwy o garbon nac ardaloedd cyfatebol o goed a phorfa mewn blociau ar wahân.

**I grynhoi, mae'r dystiolaeth ar gyfer buddion dal a storio carbon o amaethgoedwigaeth yn ymddangos yn arwyddocaol ar gyfer systemau silfo-âr, ond yn llai felly ar gyfer systemau silfborfaol sydd â stociau mawr o garbon yn y pridd eisoes. Mae'n bwysig i ystyried colli C pridd yn ystod sefydlu coed.**

#### 4.3.1.6 Cloddiau

Mae cwmpas ar gyfer ehangu hyd a lled cloddiau i ddal a storio carbon yn y biomas a phriddoedd. Mae astudiaethau diweddar yn y DU yn awgrymu y gallai biomas cloddiau ddal a storio 0.4–1.25 tCO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn, gan ddibynnu ar y math o glawdd, dimensiynau a dwyster llystyfiant (Falloon et al, 2010). Fodd bynnag roedd yr amcangyfrif hwn yn seiliedig ar drosi tir ar a chynnwys carbon is na phorfa i gloddiau. Amcangyfrifodd Black et al. (2014) gyfraddau dal a storio biomas o gloddiau yn Iwerddon i fod yn 0.66– 3.3 t CO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn). Yn seiliedig ar eu rhagdybiaeth o gyfradd ddal a storio ar gyfartaledd o 0.7 t CO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn, gallai coed cloddiau yn nhirwedd Iwerddon gynrychioli sinc o 200,000 t CO<sub>2</sub> /y flwyddyn.

Astudiodd Axe et al. (2017) y stociau carbon mewn biomas a phriddoedd mewn cloddiau iseldir yn Lloegr. Gwnaethant amcangyfrif bod y Blomas Uwchben y Ddaear (AGB) ar gyfer cloddiau 3.5 m o daldra yn  $42.0 \pm 3.78$  t C/ha. Yn y pridd. roedd y stociau C yn  $38.2 \pm 3.66$  t C/ha. Pan gawsant eu trimio i 2.7 m o uchder, ac wedyn yn 1.9 m o uchder, cafodd stociau AGB eu gostwng i  $40.6 \pm 4.47$  t C/ha a  $32.2 \pm 2.76$  t C/ha yn eu tro.

Dangosodd Arolwg Cefn Gwlad 2007 fod hyd cloddiau yng Nghymru yn 1984 yn 71,800km, ond roedd wedi lleihau i 54,000km erbyn 2007. Yn seiliedig ar y canlyniadau gan Axe et al. (2017), byddai ailosod 17,800km o gloddiau â chloddiau 2m o led yn cynyddu stociau carbon o 136,000t C AGB o dan y ddaear ac o 114,500- 149,520 t C i gloddiau rhwng 1.9m a 3.5m o uchder. Byddai dyblu'r lledau i 4m yn dyblu'r stociau carbon. **Fodd bynnag dylid nodi bod y stociau carbon pridd mewn porfa yn uchel eisoes, gan awgrymu y gall yr enillion mewn carbon pridd fod yn llai na'r hyn a ganfuwyd gan Axe et al.**

Gall dyblu lled y **54,000km presennol o gloddiau** o tua 2m i 4m ddal a storio 413,000t C ychwanegol uwchben y ddaear a 347,000-454,000 t C AGB ychwanegol yn y biomas ar gyfer cloddiau 1.9m-3.5m o uchder. Yn ymarferol byddai ffermwyr yn dymuno trimio cloddiau i'w cadw'n fyrrach na 3.5m. Byddai trimio ac ailddyfu yn cynnal rhywfaint o ddal a storio carbon yn y biomas uwchben y ddaear.

Yn seiliedig ar amcangyfrif Iwerddon o gyfradd dal a storio ar gyfartaledd o 0.7 t CO<sub>2</sub> /ha/y flwyddyn (Black et al. (2014), ar gyfer y 54,000km o gloddiau yng Nghymru ar 2m o led, mae dal a storio tua 7,560 t CO<sub>2</sub> e/y flwyddyn, gan gynyddu i 10,050 t CO<sub>2</sub> e/y flwyddyn os yw cloddiau'n cael eu cynyddu i 71,800km. Cyfanswm hyd nodweddion llinol coediog yng Nghymru yn 2007 oedd 106,000km, **a all fod yn dal a storio tua 15,000 t CO<sub>2</sub> e/y flwyddyn. Mae gan y cyfraddau dal a storio amcangyfrifedig wallau mawr o'r astudiaeth gan Black et al. (2014), a gallai cyfraddau dal a storio gwirioneddol fod hyd at 5 gwaith yn uwch – hyd at 75,000 t CO<sub>2</sub> e/y flwyddyn.**

Mae'r amcangyfrifon hyn o stociau C cloddiau<sup>1</sup> wedi adnabod yr angen am restr biomas cloddiau fwy cynhwysfawr i gryfhau cyfrifo carbon cenedlaethol ecosystemau amaeth yn y DU. Cynhaliodd Black et al. (2014) dechneg LIDAR (Darganfod a Threfnu Golau) i ddatbygu dosbarthiad cloddiau a system samplu i asesu biomas a dal a storio carbon. Cafodd modelu

1 <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/hedgerow>

uniongyrchol o fetrigau LIDAR ei ddefnyddio i amcangyfrif biomas cloddiau a choetir heb fod yn goedwig yn gywir.

**I grynhoi, mae cyfleoedd i ddala storio carbon hyd at 75,000t CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn trwy gynyddu hyd cloddiau yng Nghymru – o bosibl hyd at lefelau yn 1984 a chyn hynny. Byddai cynyddu lled a hyd cloddiau yn cynyddu'r carbon mewn biomas, ond gallai fod ag anfanteision mewn cyflawni trimio effeithiol oni bai y caniateir i gloddiau dyfu ac yn cael eu gosod wedyn - tasg ddrud a dwys o ran llafur. Mae carbon pridd hefyd yn uwch o gwmpas terfynau caeau â'r. O gwmpas caeau glaswelltir gall y lefelau uchel presennol o garbon pridd glaswelltiroedd arwain at fuddion llai. Mae dulliau mesur i asesu cloddiau wedi cael eu harddangos ac mae angen eu gweithredu i'w cynnwys yn y rhestrau Nwyon Tŷ Gwydr cenedlaethol.**

#### 4.3.1.7 Cnydau bioynni

Adolygodd McCalmont et al. (2017a) newidiadau carbon pridd o miscanthus yn seiliedig ar 14 safle cymharu. Ar gyfer tir â'r wedi'i drosi i miscanthus, dangosodd 11 safle gynnydd cyffredinol mewn SOC dros gyfanswm dyfnderau sampl a chyfraddau cronni a awgrymwyd yn amrywio o 0.42 i 3.8 TC/ha/y flwyddyn. Dangosodd y cymariaethau glaswelltir i miscanthus dri chynnydd, tri gostyniad, ac un dim newid mewn stociau C pridd. Cafodd y canfyddiadau eu cymhlethu gan y miscanthus yn cael ei blannu ar dir â'r blaenorol, tir â'r/braenar, neu laswelltir, tra bod pob cymhariaeth â thir â'r wedi'u plannu ar dir oedd yn arfer bod yn â'r. Roedd yr amrediad o enillion a cholledion yn gymharol fach, 1 i 0.94 tC/ha/y flwyddyn a dim ond y cynnydd o 0.94 tC/ha/yr wedi cael ei ddangos i fod yn arwyddocaol (Hansen et al., 2004).

Mae McCalmont et al. (2017) wedi astudio'r trosi o laswelltir wedi'i led wella i miscanthus ar gyfer cynhyrchu biomas. Gan ddefnyddio ymagwedd cydbwysu mas syml, cafodd cynhyrchu biomas uwchben y ddaear ac o dan y ddaear eu cyfuno â fflycsiau CO<sub>2</sub> i amcangyfrif newidiadau carbon tymor byr ar draws blynyddoedd unigol. Diweddodd blynyddoedd un a dau â'r safle fel ffynhonnell net o garbon yn dilyn tarfiadau amaethu. Daeth y safle yn sinc net cronol ar gyfer carbon yn y trydydd tymor tyfu ac arhosodd felly am weddiill y flwyddyn honno. Cafodd enillion carbon eu canfod yn y lle cyntaf mewn pyllau biomas, ac roedd colledion SOC wedi'u cyfyngu i flynyddoedd un a dau. Gwelodd blwyddyn tri adennil carbon pridd ar 0.74 tC/ha/y flwyddyn ag amcangyfrif ychwanegol o 0.78 t C/ha/y flwyddyn wedi'i ymgorffori trwy fewnbynau gwasarn dros y 3 blynedd, gan awgrymu colled net SOC ar 3.7 TC/ha/y flwyddyn o grynodiad cychwynnol o 78.61 +/-3.28 t C/ha yn yr haen ddofn 0-30cm o ddfynder. Gan ragdybio y byddai'r gyfradd ddal a storio hon fel isafswm yn awgrymu disodli colledion amaethu o SOC erbyn blwyddyn 8 o gnwd 15 mlynedd i 20 mlynedd posibl.

**I grynhoi, mae gan gnydau bioynni fuddion cyffredinol ond mae'n rhaid ystyried colli C pridd yn ystod sefydlu planhigion. Yn gyffredinol, mae cnydau bioynni yn bwysig ar gyfer dal a storio carbon a hefyd mae llosgi cnydau bioynni yn cael ei gofnodi fel allyriad sero o gymharu â llosgi tanwyddau ffosil ar gyfer ynni.**

#### 4.3.1.8 Biochar

Mae ychwanegu biochar at bridd yn cael ei gymeradwyo ar gyfer sefydlogi carbon am y tymor hir. Mae biochar (siarcol) yn cael ei gynhyrchu o ddaddefennu deunyddiau organig ar dymheredd uchel. Os yn cael ei gladdu mewn pridd mae'n gallu gweithredu fel storfa garbon hirdymor (>500 mlynedd). Er y gallai biochar gael ei gynhyrchu ar ffermydd, mae'r symiau o fiomas ar gael yn debygol o fod yn annigonol i ateb galw, oni bai fod ymdrech ar y cyd rhwng ffermwyr, e.e ar gyfer gwrtaith fferm ddofnod. Gallai biochar gael ei gynhyrchu o ddeunyddiau gwastraff swm mawr (e.e. gwastraff gwyrdd, biosolidau, gweddillion coedwig)

ac wedyn eu haredig i mewn i gaeau amaethyddol. Mae cyfraddau gosod biochar arferol i gaeau âr yn amrywio o 8- 100 t/ha. Ar ôl ychydig flynyddoedd o osodiadau biochar byddai hyn yn dyblu'n effeithiol y swm o garbon a storir mewn sylwedd organig pridd yn yr uwchbridd.

Mae buddion allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr posibl hefyd mewn llosgi gwastraff biomas os yw'n adfer yr ynni ar gyfer disodli tanwyddau ffosil ac yn lleihau allyriadau methan o ddeunydd wedi'i dirlenwi. Mae llosgi gwastraff biomas yn lleihau'r diraddiad naturiol a fyddai'n arwain at allyriadau methan (Wolff et al, 2010) Cyn mabwysiadu biochar, mae LCA llawn yn ofynnol i fesur maint allyriadau sy'n gysylltiedig â chynhyrchu biochar, cludiant a gosod (Quinn et al, 2020).

Mae biochar wedi cael ei ddangos i gael effeithiau amrywiol ar ansoddau pridd fel ffrwythlondeb a gallu dal dŵr (Jeffrey et al, 2011). Gwnaethant ganfod o fetaddadansoddiad ystadegol o astudiaethau byd-eang fod budd bach cyffredinol, ond ystadegol arwyddocaol i briddoedd ar gynhyrchiant cnydau, â chynnydd cymedrig mawr o 10%. Fodd bynnag, cwmpasodd y canlyniadau cymedrig ar gyfer pob dadansoddiad o fewn y metaddadansoddiad ystod eang o gynhyrchiant cnydau (o -28% i 39%) Cafodd yr effeithiau mwyaf (cadarnhaol) eu gweld mewn priddoedd trofannol. Gall dau o'r prif fecanweithiau ar gyfer cynnydd cynnyrch fod yn effaith galchu a gallu dal dŵr gwell y pridd, ynghyd ag argaeledd maetholin cnydau gwell. Cafodd y canlyniad cadarnhaol mwyaf ei weld mewn godosiadau biochar ar gyfradd o 100 t/ha (39%). O'r porthiannau biochar a ystyriwyd ac mewn perthynas â chynhyrchiant cnydau, dangosodd gwasarn dofednod yr effaith gadarnhaol gryfaf (arwyddocaol) (28%).

Ar gyfer priddoedd mewn ardaloedd tymheraidd, canfu Jeffrey et al, (2017) fod ychwanegiadau biochar yn arwain at gynhyrchion cnydau arwyddocaol is, gan gyfartaleddu ar tua 3% o gyfradd osod biochar ganolrifol o 30 t/ha. Ar gyfer arbrofion maes, nid oedd effaith biochar ar gynnyrch cnydau. Y casgliad oedd i raddau helaeth, fod priodwedd cymell cynnyrch biochar yn deillio o godi pH priddoedd trwy'r effaith calchu pridd,

**I grynhoi, mae biochar yn gallu cyfrannu at gostau gwrtaith a chalchu gostyngol, os yn cael ei osod yn achlysurol ar gyfraddau gosod isel. Nid yw'r dulliau gorau o ymgorffori Biochar i mewn i laswelltir wedi cael eu hadnabod. Mae'n debygol y gallai gosodiad untro ddigwydd yn ystod ailhadu lle mae'r Biochar yn cael ei ymgorffori i mewn i'r uwchbridd. Mae angen i osod biochar i bridd gael ei fabwysiadu a gofal gan nad yw'n wrthdroadwy, gan ei gwneud yn anodd i leihau unrhyw effeithiau negyddol.**

## 4.4 Mawndiroedd

Mae'r adran hon yn seiliedig ar yr adroddiad gan Evans et al. (2017). Mae'n disgrifio'r ardal o fawn, yr allyriadau o'r mawn, a mesurau lliniaru, a senarios o leihau allyrru o'r mesurau lliniaru. Yn ogystal ag addasu allyriadau nwyon tŷ gwydr, mae tystiolaeth bod mawndiroedd yn amsugno allyriadau amonia atmosfferig (Daniels et al, 2012).

### 4.4.1 Ardal fawn

Cafodd graddau'r ardaloedd mawn yng Nghymru eu datblygu mewn prosiect blaenorol i Lywodraeth Cymru (Evans et al., 2014) Cafodd hyn ei fapio o gyfuniad o ardaloedd mawn a gofnodwyd gan set ddata daeareg arwynebol 1:50,000 BGS, ac amrediad o ddata arolwg a gynhaliwyd gan Gyfoeth Naturiol Cymru (CNC), yn cynnwys yr Arolwg Mawn Iseldir, categorïau cynefinoedd cysylltiedig â mawn a gofnodwyd yn Arolwg Cynefinoedd Cam 1, ac arolygon pridd yr ymgymerodd Comisiwn Coedwigaeth Cymru gynt. Cyfanswm yr ardal fawn yn 1990 oedd 90,050 ha. Mae'r defnydd tir ar gyfer mawn yn cael ei grynhoi yn Nhabl 4.3.

*Tabl 4.4 Ardaloedd mawn o Gam 1 Arolwg Cynefinoedd 1990, a Ffactorau Allyrru*

Categori'r mawn	Arwynebedd (hectarau)	Cyfanswm Ffactor Allyrru (tCO <sub>2</sub> e/ha)
Coedwig wedi'i draenio	9520	9.91
Tir cnydau wedi'i ddraenio	102	38.98
Cors wedi'i draenio ei herydu a'i haddasu	19	4.85
Cors heb ei draenio wedi'i herydu a'i haddasu	206	3.55
Cors wedi'i rheoli gan rug wedi'i draenio a'i haddasu	1588	3.40
Cors wedi'i rheoli gan rug wedi'i haddasu heb ei draenio	6237	2.08
Cors wedi'i rheoli gan wair wedi'i draenio a'i haddasu	1588	3.40
Cors wedi'i rheoli gan wair wedi'i haddasu heb ei draenio	29000	2.08
Glaswelltir helaeth	8993	19.02
Glaswelltir dwys	6577	29.89
Cors bron yn naturiol	23548	0.01
Ffen bron yn naturiol	2674	-0.61
<b>Cyfanswm</b>	<b>90050</b>	<b>-</b>

Mae'r ffactorau allyrru yn Nhabl 4.4 o'r adroddiad gan Evans et al. 2017). Mae gan goedwig, tir cnydau a glaswelltir ar fawniau ffactorau allyrru uchel iawn, gan eu gwneud yn bwysig mewn cynlluniau lleihau allyriadau.

Rhwng 1990 a 2013, cafodd 5563 ha eu hailwlychu, yn bennaf o laswelltir helaeth, cors wedi'i rheoli gan wair wedi'i haddasu, a chors wedi'i rheoli gan rug wedi'i haddasu. Yn ystod y cyfnod hwn cafodd 76 ha o fawndir ei goedwigo, a chafodd 331 ha ei ddadgoedwigo.

#### 4.4.2 Allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o fawn

Er bod tua 30% o ardal fawn Cymru bron yn naturiol, mae'r gweddill mewn cyflwr wedi'i addasu., yn amrywio o newidiadau cymharol fach i orchudd llystyfiant a hydroleg, hyd at ddisodliad llwyr llystyfiant gwlyptir gan gnydau â'r garddwriaethol, gweiriau amaethyddol a chonifferiaid anffodorol, a draenio dwfn cysylltiedig. Roedd hyn wedi arwain at sychu'r mawn, colli rhywogaethau oedd yn ffurfio mawn ac erydu, gan drosi'r aradloedd hyn i ffynonellau Nwyon Tŷ Gwydr net.

**Mae angen i'r allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr cyffredinol ystyried dal a storio CO<sub>2</sub> trwy fawn wedi'i gydbwysu gan allyriadau methan ac ocsid nitrus.** Mae allyriadau CH<sub>4</sub> yn gysylltiedig yn bennaf ag ardaloedd heb eu draenio, a'r allyriadau mwyaf yn dod o gorsiau bron yn naturiol ac wedi'u haddasu. Mae pob un o'r categorïau hyn yn cyfrannu 8% at gyfanswm allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o fawndiroedd, ond mae'n bwysig i nodi bod y ddau fflwcs yn gallu cael eu hystyried yn naturiol yn bennaf, a bod allyriadau CH<sub>4</sub>o gorsydd bron yn naturiol yn cael eu diddymu mewn termau cyfatebol i CO<sub>2</sub>-gan gymeriant CO<sub>2</sub>. Ar gyfer defnyddiau tir wedi'i ddraenio ar fawn, gan gynnwys tir cnydau, coedwigaeth a glaswelltir amaethyddol, mae'r rhan fwyaf o allyriadau yn deillio o ffosydd draenio.

Mae allyriadau ocsid nitrus yn digwydd o ganlyniad i ocsideiddio ïonau amoniwm i nitrid ac wedyn i nitrad, a dadnitreiddiad anaerobig nitrad. Roedd yr holl amcangyfrifon allyriadau N<sub>2</sub>O yn cael eu hystyried i fod o ansicrwydd uchel. Mae hyn yn fater penodol i dir cnydau a glaswelltir dwys ar fawniau, oherwydd amrywiadau lleol mewn trefniadau gwrtaith a draenio, yn ogystal â heterogenedd cynhenid ofodol a thymhorol allyriadau N<sub>2</sub>O. Mae allyriadau N<sub>2</sub>O tir cnydau o fawn yn cyfrif am 8% o allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr y DU o fawndiroedd, ac mae allyriadau N<sub>2</sub>O o laswelltir dwys ar fawn yn cyfrannu 3% ychwanegol.

Yn y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr bresennol, mae mawniau mewn ardaloedd sydd wedi cael eu trosi'n ddiweddar i goedwig yn gweithredu fel ffynhonnell allyrru fach, ond rhagwelir y bydd mawn o dan goedwig aeddfed ('coedwig yn aros yn goedwig') yn gweithredu fel sinc Nwyon Tŷ Gwydr net oherwydd wrth i'r goedwig aeddfedu, mae mewnbynnau gwasarn i bridd yn cynyddu ac mae'r model yn awgrymu y bydd y rhain yn gorbwysu yn y pen draw yr hyn a

gollir o bridd oherwydd ocsideiddio. Mae'r sinc Nwyon Tŷ Gwqydr net o dan goedwigoedd aeddfed wedi'i fodelu gan CARBINE yn ddigonol i wneud mawndiroedd yng Nghymru yn fras niwtral o ran Nwyon Tŷ Gwqydr.

Credir bod yr adral hon o gors a ffen naturiol yn parhau i weithredu fel sinc net arwyddoacol ar gyfer CO<sub>2</sub>, ond mae hyn yn cael ei wrthbwyo gan allyriadau tebyg o fethan pan ystyrir ei Botensial Cynhesu Byd-eang 100 mlynedd. Mae hyn yn gwneud mawndiroedd bron yn naturiol yn agos at garbon niwtral. I ffeniau naturiol, mae cymeriant CO<sub>2</sub> yn mynd y tu hwnt i allyriadau CH<sub>4</sub> ar sail cyfatebol i CO<sub>2</sub>-gan eu gwneud yn sinc Nwyon Tŷ Gwqydr bach iawn.

Er bod yr allyriadau fesul uned ardal mawndir wedi'i addasu yn gymharol isel, mae eu graddau helaeth yn eu gwneud yn gyfranwyr arwyddoacol i allyriadau Nwyon Tŷ Gwqydr mawndir cyffredinol. O ganlyniad, mae mawndiroedd yn y DU wedi trawsnewid o sincipiau Nwyon Tŷ Gwqydr net hanesyddol cymedrol (sinc amcangyfrifedig cyn anthropogenig o gwmpas 0.25 Mt CO<sub>2e</sub>/y flwyddyn) i ffynonellau allyrru mawr (dros 23 Mt CO<sub>2e</sub>/y flwyddyn).

Mae'n bwysig i bwysleisio'r ansicrwydd yn amcangyfrifon yr allyriadau. Gellir amcangyfrif 24% o amcangyfrif presennol cyfanswm allyriadau o fawndiroedd y DU â hyder gweddol uchel, a 5% ychwanegol â hyder cymedrol, ond n'r rhan fwyaf o'r amcangyfrif (61%) ond yn gallu cael ei amcangyfrif â lefel isel o hyder. Mae'r rhestr Nwyon Tŷ Gwqydr yn seiliedig ar Fap Gorchudd Tir 2015 â choladiad data o ffynonellau eraill, gan arwain at anghysonderau tebygol mewn dosbarthiad a blwyddyn casglu'r data. Er mwyn i'r fath ymagwedd fapio fod o werth ar gyfer mapio gweithgaredd mawn, bydd angen lefel ddigonol o fanylion dosbarthiad i wahaniaethu categorïau cyflwr gwahanol, yn enwedig y newidiadau cymharol gynnil mewn cyfansoddiad rhywogaethau lled naturiol sy'n dylanwadu ar allyriadau o gorsydd a ffeniau wedi'u haddasu. Mae mapio graddau'r draenio hefyd yn cyflwyno anawsterau penodol.

#### 4.4.3 Opsiynau Iliniaru

Mae'r Ffactorau Allyrru ar gyfer mawniau yn gysylltiedig â chategori mawn yn cael eu dangos yn Nhabl 4.4. Mae'r rhain yn cymryd allyriadau uniongyrchol CO<sub>2</sub>, allyriadau CO<sub>2</sub> o Garbon organig Toddedig ac o Garbon Organig Gronynnol, allyriadau CH<sub>4</sub> uniongyrchol, allyriadau CH<sub>4</sub> anuniongyrchol o ffosydd, allyriadau N<sub>2</sub>O uniongyrchol, ac allyriadau N<sub>2</sub>O anuniongyrchol o ddyfroedd draenio. Canolbwyntio ar adfer y categorïau mawn â'r ffactorau Allyriadau uchaf fyddai'n fwyaf buddiol mewn lleihau allyriadau. **Gan ystyried ardal, adfer glaswelltir a choedwigaeth helaeth a dwys ar fawndiroedd fyddai'n darparu'r budd mwyaf.**

Y prif ddull lliniaru yw ailwlychu mawniau presennol trwy godi'r bwrdd dŵr, er enghraifft trwy gau ffosydd draenio (cyfeirir atynt yn aml fel 'gripiâu'), i adfer swyddogaeth y mawn fel sinc net CO<sub>2</sub> a storfa garbon lled barahol.

Mae'r sylfaen dystiolaeth ar gyfer mesur allyriadau Nwyon Tŷ Gwqydr a storio carbon mewn mawn ar ôl ailwlychu yn wael. Yn benodol mae angen penderfynu ar y cyfraddau tymor hir o lif CH<sub>4</sub> o fawniau morwynol, wedi'u draenio a'u hailwlychu yng Nghymru.

Mae Evans et al. (2021) wedi ymchwilio i'r berthynas rhwng allyriadau CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub> â bwrdd dŵr, yn seiliedig ar amrywiaeth o safleoedd ledled y DU ac Iwerddon. Dangosodd y data uchafswm o allyriadau o tua 0.2 t C/ha/y flwyddyn o CH<sub>4</sub> pan roedd Dyfnder y Bwrdd Dŵr (WTD) yn agos at sero (hynny yw, yn arwyneb y mawn), ac yn allyriadau agos at sero yn bennaf pan oedd WTD > 30 cm yn dangos ocsideiddiad llwyr o CH<sub>4</sub> yn yr haen fawn aerobig. Roedd gostyngiad 10-cm mewn WTD o fewn yr amrediad arsylwadau ar gyfartaledd, yn lleihau allyriadau CO<sub>2</sub> o tua 3t CO<sub>2e</sub>/ha/y flwyddyn. Byddai gostwng WTD o 30 cm i 0 cm yn cynyddu allyriadau CH<sub>4</sub> o tua 7t CO<sub>2e</sub>/ha/y flwyddyn. Mae cyfuno'r ddau nwy, cynnal WTD o 5 cm i 13 cm yn sicrhau bod effaith oeri dal a storio CO<sub>2</sub> yn fwy nac effaith gynhesu allyriadau CH<sub>4</sub>.



Mae Evans et al. (2017) wedi modelu senarios ar gyfer Rheoli Mawndir hyd at 2050, yn seiliedig ar set o fesurau lliniaru wedi'u cymhwysu i ardaloedd gwahanol o fawn. Mae Tabl 4.5 yn crynhoi'r newidiadau a ragwelir mewn allyriadau.

*Tabl 4.5 Senarios ar gyfer lleihau Allyriadau o Fawndiroedd yng Nghymru*

Senario	Lliniaru	Newid o allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr Blynyddol (kt CO <sub>2</sub> e) yn 2050
Uchel - diraddiad ychwanegol o fawn sy'n bodoli	Mae 25% o gors bron yn naturiol yn dod yn goedwig a glaswelltir wedi'u haddasu	+54
Llinell sylfaen - polisïau yn 2009	Ardaloedd presennol ar gyfer pob cyflwr mawn yn ddigyfnewid	0
Canolog - Busnes fel Arfer	Dim adfer mawn iseldir nac uwchdir	0
Isel - dyheadau polisi ar ôl 2021	adferiad 25% o fawn iseldir diraddiedig adferiad 50% o fawn uwchdir diraddiedig	-339
Wedi'u hestyn - dyheadau uwch	adferiad 50% o fawn iseldir diraddiedig adferiad 75% o fawniau uwchdir diraddiedig adferiad 50% o ardal goedwig wedi'i phlannu ar fawn ers 1980	-685

I grynhoi, mae'r canlyniadau wedi'u modelu yn dangos y dylai'r ffocws ar reoli mawndir fod i leihau allyriadau uchel presennol. Mae'n annhebygol y bydd yr hyn a elwir yn 'allyriadau negyddol' o ffurfio mawn yn gallu gwrthweithio allyriadau o sectorau eraill. Mae adfer mawn eang a pharhaol wedi cyfrannu at ostyngiad mewn cyfanswm allyriadau, ond hyd yn hyn mae'r rhan fwyaf o adfer wedi digwydd o fewn corydd uwchdir wedi'u haddasu, sy'n cynhyrchu ffynonellau allyriadau cymedrol fesul ardal uned, yn hytrach na chategorïau â ffactorau allyrru uwch fesul ardal uned megis plannu glaswelltir a choedwigaeth mewn ardaloedd iseldir.

Gallai mynd i'r afael ag allyriadau parhaol o'r ardaloedd hyn ddarparu graddfa uchel o leihau allyriadau ond byddai'n wynebu rhwystrau logistaidd a chymdeithasol-ecocomaidd yn enwedig ar gyfer adfer mawn iseldir. Yn y cyfamser, mae adfer parhaol corydd uwchdir wedi'u haddasu, yn enwedig categorïau sy'n allyrru'n uwch megis ardaloedd sy'n erydu'n weithredol yn gallu cynrychioli opsiynau mwy hydrin ar gyfer lleihau allyriadau.

## 4.5 Senarios

Mae rhagamcanu lliniaru ar gyfer defnydd tir yng Nghymru wedi cael ei amcangyfrif gan Thomson et al. (2020). Dau brif senario yw (1) Canolog - yn hanfodol busnes fel arfer gan ystyried polisïau presennol, a (2) Ymestyn. Rhagdybiaethau'r senario Ymestyn oedd

### 4.5.1.1 Coedwig

Conifferiaid = 16% o blannu'r dyfodol - yn seiliedig ar ymarfer presennol. Cynnydd coedwig o 346,000ha i 440,000ha erbyn 2050, ar 4000ha/y flwyddyn dros 2018-2040, a 1000ha/y flwyddyn am y cyfnod 2040-2050 Sylwch: Defnyddiodd Ymchwil Coedwig ffigur llinell sylfaen o 346,000ha ond mae ystod o amcangyfrifon.

#### 4.5.1.2 Glaswelltir

Estyn cloddiau o 40% ar raddfa linol hyd at 2050.

#### 4.5.1.3 Tir cnydau

Mae lefelau gweithgaredd yn aros yn ddigynfnewid ond mae graddfa cylchdroi Gwair i Gnwd ar gyfartaledd tybiwyd o Allyriadau of 6.2kha/y flwyddyn yn seiliedig ar ychwanegiadau gwrtaiith a ffrwythlonwr, dulliau trin tir a thynnu gweddilion cnydau a ragdybir.

#### 4.5.1.4 Aneddu

Trosi i Aneddu i ateb galw am dai yn ôl esblygiad rhagamcanion aelwydydd a gyhoeddwyd gan ONS yn 2018. Cyfradd newid gychwynnol wedi'i llyfnhau dros 15 mlynedd; tir o ddadgoedwigo yn gyntaf, wedyn wedi'i rannu rhwng glaswelltir/tir cnydau yn seiliedig ar eu cyfran gymharol dros 2008-2017.

#### 4.5.1.5 HWP (Cynhyrchion Coed Wedi'u Cynaeafu)

Dyraniad yn seiliedig ar y dyraniadau ar gyfartaledd ar gyfer y cyfnod 2008-2017

Mae effaith y ddau senario ar allyriadau yn cael ei dangos yn Nhabl 4.5. Ar gyfer Coedwigaeth yn y lle cyntaf, mae cydbwysedd y Nwyon Tŷ Gwydr yn cael ei reoli gan allyriadau CO<sub>2</sub> net o golled stociau carbon pridd (2.0 tCO<sub>2</sub> e/ha/y flwyddyn), sy'n digwydd o ganlyniad i baratoi safle a'r amser a gymerir yn y trawsnewid sy'n digwydd rhwng colli llystyfiant oedd yn boboli o'r blaen ar y safle a sefydlu'r coed yn llawn. O ganlyniad mae'r dal a storio carbon yn llai yn y camau cynnar ar gyfer y cyfraddau plannu uwch, ac mae'r prif fudd yn digwydd o 2040 ymlaen, wrth i goed hewydd dyfu'n gyflym.

Tabl 4.5 - Rhagamcanion Allyriadau Blynnyddol Cymru - Senario Estyn o gymharu a senario Canolog (cyfwerth â BAU)

Defnydd Tir	Allyriadau blynnyddol – Kt CO <sub>2</sub> e								
	2020	2030		2040		2050		2060	
		Canolog	Estyn	Canolog	Estyn	Canolog	Estyn	Canolog	Estyn
Coedwig	-1146	-1328	-1236	-1609	-1618.	-1628	-2008	-1313	-2039
Tir cnydau	946	1461	1462	1763	1759	1940	1935	1167	1167
Glaswelltir	-643	-834	-908	-1083	-1157	-1236	-1312	-975	-1051
Gwlyptir	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Aneddu	653	497	437	377	304	289	218	163	123
Coed wedi'u cynaeafu	-318	-147	-178	-33	-55	-30	-51	-105	-133
<b>Cyfanswm</b>	<b>-483</b>	<b>-322</b>	<b>-391</b>	<b>-552</b>	<b>-731</b>	<b>-634</b>	<b>-1187</b>	<b>-1050</b>	<b>-1920</b>

*Sylwer. Mae allyriadau gwlyptir yn cael eu hamcangyfrif ar gyfer echdynnu mawn yn unig. Mae hyn yn sero yng Nghymru*

Wedi'i gyfuno â lleihau allyriadau o'r senarios rheoli mawn (Tabl 4.4) o 685 kt CO<sub>2</sub>e, gallai'r senario estyn leihau allyriadau o 1872 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn erbyn 2050 o gymharu â'r senario Canolog.

Gallai cynigion diweddar Llywodraeth Cymru i ehangu coetir o 180,000ha erbyn 2050 arwain at ostyngiadau allyrru LULUCF ychwanegol o hyd at 304 kt CO<sub>2</sub>e yn 2050 pe byddai'r raddfa blannu yn unol â'r proffil plannu ar gyfer yr ehangu 100,000ha. Mewn cyfanswm, rhagwelir i'r gostyngiad allyriadau fod yn 2176 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn yn 2050. Yn y cyfnod hyd at 2050 gallai dal a storio carbon gael ei uchafu o goetiroedd conifer, tra bod coetir dail llydan yn cynyddu ei ddal a storio carbon yn y cyfnod 2050-2100 a thu hwnt.

## 4.6 Crynodeb

Y prif gasgliadau yw fod:

- **Angen i stociau carbon mewn priddoedd gael eu gwarchod. Mae gallu priddoedd i ddal a storio carbon yn gyfyngedig i briddoedd â'r a phriddoedd eraill sydd wedi cael eu diraddio - er enghraifft safleoedd llwyd sydd wedi cael eu adhawlio. Ar gyfer glaswelltir parhaol, mae lefelau carbon pridd yn fawr eisoes. Mae terfyn i'r gallu i gynyddu stociau carbon, oni bai fod cnydau sy'n gwreiddio'n ddwfn yn cael eu mabwysiadu.**
- **Dylai'r ffocws ar reoli mawndir fod i leihau allyriadau uchel presennol. Mae adfer mawn eang a parhaol wedi bod yn digwydd yn bennaf o fewn corsydd uwchdir wedi'u haddasu, sy'n cynhyrchu ffynonellau allyriadau cymedrol fesul ardal uned, tra byddai adfer glaswelltir a choedwigaeth blannu mewn ardaloedd iseldir yn cyflawni gostyngiadau mwy sylweddol o allyriadau.**
- **Nid yw da byw yn dal a storio carbon. Maen nhw'n cyfrannu at gronni mewn rhai cydrannau (cronfeydd) ar hyd y cylch: mewn priddoedd, neu mewn biomas planhigion ac anifeiliaid. Nid pob sylwedd organig sy'n mynd i mewn i'r pridd sy'n cael ei drosi i garbon pridd sefydlog, tymor hir, gan ei fod yn gadael y system o fewn cyfnod byr pan fydd yn cael ei amlyncu a'i anadlu gan organebau pridd.**
- **Mae rheoli pori yn dangos effeithiau amrywiol ar ddal a storio carbon. Mae astudiaethau o drefniadau pori cylchdroadol neu dorfol yn dangos ychydig o dystiolaeth o hyrwyddo dal a storio.**
- **Ar gyfer priddoedd â'r, mae astudiaethau'n dangos yr arweiniodd dim trin at ddim cynnydd cyffredinol mewn carbon organig pridd o gymharu â thrin confensiynol, lle roedd pridd wedi cael ei samplu hyd at o leiaf 40 cm o ddyfnder. Roedd stociau mwy yn y 20 cm uchaf o gymharu â thrin confensiynol yn cael eu gwrthweithio gan feintiau llai yn yr haen 20-40 cm o dan ddim trin.**

- Mae gan gnydau gorchudd a ddefnyddir ar gyfer tir cnydau stoc SOC sylweddol uwch na thiroedd cnydau cyfeiriol. Mae'r stoc SOC yn cynyddu ar gyfradd o  $0.32 \pm 0.08$  t C/ha/y flwyddyn ar ddyfnder pridd cymedrig o 22 cm.
- Mae buddion dal a storio carbon o amaethgoedwigaeth a chnydau bioynni yn gallu bod yn arwyddocaol. Mae'n rhaid i fuddion ystyried colled C pridd yn ystod sefydlu cnydau.
- Mae biochar yn werthfawr mewn cloi carbon i mewn i briddoedd ond mae ei ymgorfforiad i mewn i laswelltir yn anodd heb darfu ar y pridd ac o bosibl yn lleihau'r carbon pridd presennol. Mae effaith ddibwys ar ffrwythlondeb ar gyfer priddoedd tymheraidd.
- Mae gwrteithiau yn gallu cynyddu dal a storio ond mae ganddynt gynnydd cysylltiedig mewn allyriadau ocsid nitrus.
- Mae cyfleoedd i gynyddu carbon pridd yn digwydd yn bennaf ar gyfer priddoedd mwnol Cymru, a ddefnyddir ar gyfer pori gwell. Mae opsiynau rheoli ar gyfer y 363,000ha o laswelltiroedd lled naturiol ar briddoedd mwnol yn anodd iawn gan fod ychydig iawn yn cael ei wneud yn nhermau ymyriadau rheoli. Nir yw'r tir yn darparu cyfleoedd ar gyfer ehangu coetir, ond byddai newidiadau mewn cynefinoedd.
- Ehangu coetir yw'r ffordd fwyaf effeithiol i gynyddu dal a storio carbon. Mae'r senario estyn ar gyfer y sector LULUCF yn rhag-weld y potensial i leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwyr o 1872 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn yn 2050 os yw coetir yn cael ei ehangu gan 100,000 ha, ar y cyd â chadwraeth mawndir sylweddol. Byddai ehangu coetir o 180,000 ha by 2050 yn lleihau allyriadau o 304 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn ychwanegol yn 2050 - gostyngiad o 2176 kt CO<sub>2</sub>e/y flwyddyn
- Mae'r rhagamcanion hyn yn seiliedig ar blannu'r dyfodol o 1% conifferiaid a 84% dail llydan. Yn y cyfnod at 2050, byddai cynyddu'r gyfran o gonifferiaid yn cynyddu cyfraddau dal a storio.

## 5 Gwrteithiau a ffrwythlonwyr

### 5.1 Cyflwyniad

Gwrteithiau a ffrwythlonwyr yw'r brif ffynhonnell o ocsid nitrus gan gynrychioli 29.6% o gyfanswm allyriadau amaethyddiaeth i Gymru yn 2018. Mae trafod a storio gwrteithiau hefyd yn ffynhonnell allyriadau methan - gan gyfrif am 7.9% o gyfanswm allyriadau amaethyddiaeth yn 2018.

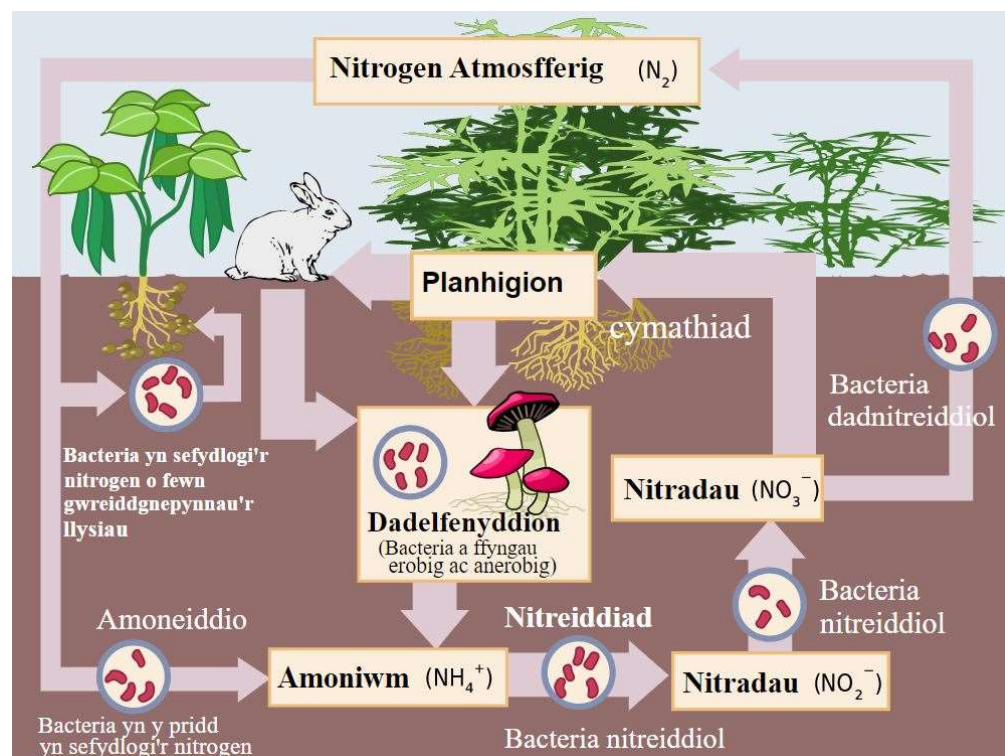
#### 5.1.1 Ocsid nitrus

Y prif ffynonellau o ocsid nitrus yw allyriadau uniongyrchol (Butterbach et al, 2013).

- priddoedd ar ôl gosod ffurfiau anorganig ac organig o nitrogen (N) fel ffrwythlonwyr synthetig, gweddillion cnydau, gwrteithiau neu gompostiau.
- cnydau sy'n sefydlogi nitrogen, megis meillion a llysiau sy'n cyflwyno symiau mawr o N i briddoedd
- llety anifeiliaid a storio gwrtaith,
- wrin a carthion wedi'u gollwng ar briddoedd yn ystod pori.

Yn ogystal â'r ffynonellau uniongyrchol o  $N_2O$  mae ffynonellau anuniongyrchol hefyd sy'n cynnwys

- nitrogen wedi'i ollwng ar arwynebau tir yn dilyn anweddiad amonia a  $NO_x$ .
- nitrad wedi'i ollwng o dir amaethyddol i mewn i ddŵr draenio sydd, ar basio i mewn i ddyfrhaenau neu i mewn i ddyfroedd arwyneb, yn gallu cael ei drawsffurfio'n rhannol i  $N_2O$ .



Ffigur 5.1 Y Cylch Nitrogen rhwng yr atmosffer, planhigion a phriddoedd.

(By Cicle\_del\_nitrogen\_de.svg; \*Cicle\_del\_nitrogen\_ca.svg: Johann Dréo (User:Nojhan), traduction de Joanjoc d&#039;après Image:Cycle azote fr.svg. gwaith deiliadol: Burkhard (darlith) - Mae'r ffeil hon wedi'i thynnu o ffeil arall, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=95209914>)

Mae'r cylch nitrogen yn cael ei ddangos yn Ffigur 5.1. Mae ocsid nitrus yn cael ei gynhyrchu o'r broses nitreiddiad-dadnitreiddiad gyfun sy'n defnyddio'r cyfansoddion nitrogen mewn gwartaith. Mae'r rhan fwyaf o nitrogen mewn gwartaith ar ffurf amoniwm ( $\text{NH}_4^+$ ). Y prosesau yw

- Mae nitreiddiad yn digwydd yn aerobig trwy ocsideiddiad microbig o ïonau amoniwm i nitrid â gollyngiad ocsid nitrus. Mae ocsideiddio ychwanegol o nitrid i nitrad yn digwydd.
- Mae dadnitreiddiad yn digwydd yn anaerobig, ac yn trosi i  $\text{N}_2\text{O}$  a nitrogen

Yn ogystal, ffynhonnell arall o  $\text{N}_2\text{O}$  yw'r lleihad cemegol o ïonau nitrid gan gyfansoddion megis aminau yn bresennol mewn sylwedd organig pridd, ac o ïonau anorganig ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ), yn enwedig mewn isbriddoedd. Mae'n llai pwysig fel ffynhonnell  $\text{N}_2\text{O}$  o briddoedd amaethyddol.

Mae angen i fesurau lliniaru ar gyfer ocsid nitrus ystyried y llygredd yn cyfnewid ag amonia. Mae mesurau i leihau ocsid nitrus yn gallu cynyddu amonia ac i'r gwrthwyneb. Mewn rhai achosion, mae'r ymyriadau'n gallu bod yn gyflenwol. Mae'n bwysig i gydnabod bod allyriadau amonia yn gallu cael eu gollwng ar dir i'w drosi'n ocsid nitrus (2.6% o gyfanswm allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ ). Hefyd mae cyfansoddion N wedi'u gollwng yn diweddu mewn dyfrffyrdd ac yn achosi allyriadau ocsid nitrus (5.5% o gyfanswm allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ ), sy'n cael eu cyfrif yn y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr.

### 5.1.2 Methan

Mae carthion da byw wedi'u cyfansoddi'n bennaf o ddeunydd organig a dŵr. O dan amodau anaerobig, mae'r deunydd organig yn cael ei ddadelfennu gan facteria. Cynhyrchion terfynol dadelfennu anaerobig yw methan, carbon deuocsid, a deunydd organig wedi'i sefydlogi.

Mae potensial cynhyrchu methan carthion yn dibynnu ar gyfansoddiad penodol y carthion, sydd yn ei dro yn dibynnu ar gyfansoddiad ar hydreuledd deiet yr anifail (gweler Pennod 6). Mae amodau gorau ar gyfer cynhyrchu methan yn cynnwys amgylchedd anaerobig, wedi'i seilio ar ddŵr, lefel uchel o faetholion ar gyfer twf bacteriaidd, ac amodau cynnes.

Mae ffynonellau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr a'r opsiynau ar gyfer eu lliniaru yn cael eu hadolygu yn yr adrannau nesaf. Y prif benderfynydd yw niferoedd anifeiliaid - anifeiliaid sy'n cnoi cil ac anifeiliaid eraill - yn enwedig moch a dofednod. Mae unrhyw ddulliau a ddisgrifir ym Mhennod 6 ar gyfer lleihau niferoedd anifeiliaid tra'n cynnal cynhyrchiant yn bwysig. Ond mae'n rhaid cydnabod bod gwrteithiau yn allweddol i gynnal ffrwythlondeb priddoedd yn enwedig eu rôl o gymryd lle gwrteithiau N wedi'u gweithgynhyrchu.

## 5.2 Rheoli anifeiliaid

### 5.2.1 Deiet

Mae amrywiaeth mewn cymeriant deietegol yn effeithio ar ryddhau N mewn wrin, sy'n fwy agored i golledion na N o'r carthion (Dijkstra et al, 2013). Mae gollwng N mewn wrin, yn enwedig N wrea, yn cael ei leihau gan ostwng cymeriant N deietegol neu gynnydd yn y cyflenwad o ynni i ficro-organeddau'r blaenstumog ac i'r anifail sy'n lletya ei hun. Daeth meta ddadansoddiad o effeithiau'r crynodiad protein deietegol a diraddiadwyedd ar gynnyrch protein llaeth, ac effeithlonrwydd defnydd o N deietegol ar gyfer synthesis protein llaeth, i'r

casgliad fod crynodiad Protein Amrwd (CP) y deiet yn ffactor deietegol pwysicaf sy'n dylanwadu ar effeithlonrwydd N llaeth, ac mai lleihau CP deietegol yw'r modd mwyaf arwyddocaol i gynyddu defnydd protein deietegol (Huhtanen a Hristov, 2009). Mewn rhai achosion mae protein amrwd gormodol yn cael ei fwydo fel Protein Blaenstumog Heb ei ddiraddio sy'n bwysig ar gyfer gwartheg llaeth sy'n cynhyrchu'n uchel. Cafodd effaith ymarferol lleihau protein amrwd ei ddangos ar gyfer gwartheg llaeth wedi'u bwydo gan ddeiet 14% CP. Gollyngodd y gwartheg 45% yn fwy o N wrin ar gyfer deiet CP 19% o gymharu â gollwng o wartheg wedi'u bwydo â deiet CP 14% (Misselbrook et al., 2005a). Roedd gostyngiad bach hefyd mewn carthion N yn y deiwet CP is.

Mae'r rhan fwyaf o'r N mewn wrin (o 50% i'n sylweddol dros 90%) yn bresennol yn ffurf wrea. Yn dilyn ei ollwng ar borfeydd neu mewn siediau anifeiliaid, mae micro-oorganeddau mewn pridd a dyfroedd yn trawsffurfio cydnannau n wrin i amoniwm ( $\text{NH}_4^+$ ), ac wedi hynny i  $\text{NO}_3^-$  ac yn y pen draw i  $\text{N}_2$  yn gysylltiedig â'r gollwng o  $\text{N}_2\text{O}$ .

Ar gyfer anifeiliaid sy'n pori, mae allyriadau ocsid nitrus yn sylweddol. Mae clytiau wrin o wartheg ar borfeydd yn cynrychioli ychwanegiadau sylweddol, lleoledig iawn o N o hyd at 1000 Kg N/ha. Dangosodd Cardenas et al. (2016) amrywiaeth o allyriadau â thymor - llawer uwch yn y gwanwyn nac yn yr hydref. Dangosodd Chadwick et al. (2019) fod y Ffactorau Allyrru wrin a charthion ar gyfataledd o  $\text{N}_2\text{O}$  yn 0.69% a 0.19%, yn eu tro.

Mae bwydo amrywiadau gwair siwgr uchel â Chynnwys Dŵr Toddadwy (WSC) i wartheg pori wedi cael ei gynnig fel modd o ollwng N mewn wrin a charthion (Miller et al, 2001). Egwyddor y strategaeth liniaru gwair siwgr uchel yw ar gyfer anifail sy'n cynhyrchu'n uchel ar borfa, mae microbau blaenstumog yn brin o gyflenwad digonol o ynni (carbon) ar gyfer twf mirobig yn berthynol i'r swm mawr o brotein N ar gael yn y deiet. Mae'r gamgymhariaeth hon o faetholion yn arwain at symiau mawr o N yn cael eu colli o'r flaenstumog fel amonia yn hytrach na chael eu hymgorffori mewn protein mirobig. Mae'r rhan fwyaf o'r N a gollir trwy ollwng fel wrea yn yr wrin. Gallai cynyddu cynnwys siwgr gweiriau gywiro'r anghydbwysedd o garbon a N yn cael eu darparu i ficrobau blaenstumog, gan wneud defnydd N gan y microbau yn fwy effeithlon, gan ostwng colled N o'r anifail a chynyddu'r cyflenwad o CP i'r anifail sy'n cnoi cil.

Mewn astudiaethau ymarferol, cafodd y buddion mwyaf yn nhermau cymhareb defnydd N a lefelau wrin N eu gweld pan gynyddodd WSC gwair ar draul Protein Amrwd. Canfu Foskolos a Moorby, (2017) fod gollwng nitrogen mewn wrin wedi'i ostwng o 26% er na chafodd cynhyrchion llaeth eu cynyddu. Ond er y gall gweiriau WSC-uchel gynyddu effeithlonrwydd defnydd N a chynnyrch llaeth, daeth Ellis et al. (2011) i'r casgliad fod y buddion yn dibynnu ar y deiet o dan ystyriaeth.

Yr anhawster mewn mesur y lliniaru o newid deiet yw er bod arbrofion penodol wedi dangos gostyngiadau allyrru wedi'u mesur, nid yw systemau mesur protein yn gallu rhag-weld allbwn N ymylol mewn wrin mewn ymateb i newidiadau mewn cyfansoddiad deiet (Dijkstra et al, 2013). Mae hyn yn ei gwneud hi'n anodd i safoni ffactorau effeithlon yn gysylltiedig â CP.

**I grynhoi mae'n bwysig i gael a defnyddio fformwleiddiadau bwydo cywir i ddarparu'r cydbwysedd mwyaf priodol rhwng ynni a phrotein mwyaf priodol. Mae protein nad yw'n cael ei ddefnyddio gan yr anifail yn cael ei ollwng mewn wrin a charthion, gan ddod yn ffynhonnell ocsid nitrus yn y pridd. Mae tystiolaeth fod pori gweiriau siwgr uchel yn effeithiol mewn lleihau cyfansoddiad nitrogen mewn wrin a charthion wedi'u gollwng.**

### 5.2.2 Llety anifeiliaid

Mae technegau lleihau ar gyfer llety da byw yn canolbwyntio ar gyfyngu'r ffactorau sy'n achosi'r allyriadau,  $\text{NH}_3$  gan amlaf ac i raddau llai,  $\text{CH}_4$  a  $\text{N}_2\text{O}$  (Loyon et, 2016). Mae allyriadau'n codi o'r carthion yn yr adeilad yn ogystal ag eplesu enterig o anifeiliaid sy'n cnoi cil. Mae amonia yn dod yn bennaf o'r wrin sy'n cynnwys y rhan fwyaf o'r N anwedol a ollyngir, tra bo'r carthion yn fwy tebygol o fod yn ffynhonnell cynhyrchu  $\text{CH}_4$ , ac i ryw raddau,  $\text{N}_2\text{O}$  (Chadwick et al., 2011). Mae cynhyrchu'r tri nwy hyn yn cael ei ddylanwadu gan y math o lawr, y system awyru, tymheredd yr adeilad a nodweddion y carthion (Chadwick et al., 2011).

Mae systemau piswail yn creu'r amgylched anaerobig delfrydol ar gyfer cynhyrchu methan. Mae'r piswail/carthion/wrin yn aros mewn cyflwr anaerobig i raddau helaeth ag ychydig o gyfle i'r  $\text{NH}_4^+$  gael ei nitreiddio. O ganlyniad, ychydig neu ddim allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  sy'n debygol o ddigwydd o systemau o'r fath (Chadwick et al. 2011). Mae  $\text{N}_2\text{O}$  o systemau seiliedig ar biswail yn fach iawn (Thormans et al, 2007).

Mewn gwrthgyferbyniad, mewn systemau lletya sy'n defnyddio gwellt a deunyddiau gwely eraill, mae gwartheg yn gollwng ar y gwasarn yn yr haen arwyneb ag wrin a charthion ffres. Gan ddibynnu ar y math a swm o wasarn a ychwanegir, mae ocsigen yn gwasgaru i mewn i'r haen arwyneb dyllog, ac mae prosesau eplesu yn codi'r tymheredd ac yn ysgogi llif ar i fyny o aer sy'n cynnwys  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  a  $\text{N}_2$  (Rom and Henriksen, 2000). Mae'r  $\text{N}_2\text{O}$  yn debygol o gael ei ffurfio yn y rhyngwyneb o amodau wedi'u hocsidreiddio ac wedi'u lleihau, lle mae prosesau nitreiddio a dadnitreiddio yn digwydd ochr yn ochr. Mae allyriadau eithriadol o uchel o  $\text{N}_2\text{O}$  o 10% ar gyfer systemau gwasarn dwfn wedi cael eu hadrodd (Oenema et al., 2005).

Mae allyriadau o lety yn cael eu lleihau gan y symud aml, a/neu sychu carthion), trwy gynnal amodau da yn yr adeilad (awyru a thymheredd digonol) a'r defnydd o hidlyddion aer ar gyfer tai moch a dofednod. Nid yw hidlo aer yn gymwys i siediau gwartheg oherwydd bod y rhain fel arfer wedi'u hawyru'n naturiol, mewn gwrthgyferbyniad â systemau moch a dofednod sydd wedi'u cau yn aml ag awyru wedi'i orfodi. Mae biohidlyddion yn gallu cael eu defnyddio i drin yr allyriadau, ond mae'r rhain yn bennaf ar gyfer amsugno methan (gweler Pennod 6) ac nid ydynt yn gymwys i  $\text{N}_2\text{O}$ .

Mewn iardiau casglu, ychydig o astudiaethau sydd, ond ystyrir bod allyriadau o ocsid nitrus a methan yn fach.

**I grynhoi, mae carthion solid yn allyrru ocsid nitrus a rhywfaint o fethan, tra bod gollyngiadau hylifol yn ffynhonnell methan yn bennaf. Mae newid i systemau hylif yn ddefnyddiol os oes ffyrdd i gipio'r methan ar gyfer biohidliad neu losgi. Gallai hyn fod yn opsiwn lliniaru ar gyfer ffermio cig eidion sy'n nodweddiadol yn defnyddio gwellt neu ddefnydd gwely solidau eraill. Fodd bynnag byddai'n gofyn am fuddsoddiad mawr mewn llynnoedd storio oherwydd bod ffermydd cig eidion yn tueddu i ddibynnu ar systemau gwrtaith solid sydd fel arfer yn cynnwys tomenni gwrtaith mewn buarthau neu gaeau.**



## 5.3 Storio a thrafod gwrtaitth

### 5.3.1 Gorchuddion piswail

Ar gyfer merlynnoedd a thanciau piswail, bydd presenoldeb crwst naturiol neu haen o ddeunydd tyllog sy'n arnofio yn cynyddu'r pellter gwasgaru yn fawr, gan arafu'r gyfradd drosglwyddo amonia i'r aer (Misselbrook et al, 2005b). Mae hyn yn arwain at gadw rhagor o amonia yn y toddiant piswail. Yn ymarferol mae'r crwstio yn anrhagweladwy fel mesur lliniaru - yn dibynnu ar lawiad, tymheredd, graddau llenwi'r storfa, cynnwys gwellt a chynhyrfu'r piswail. Mae glawiad uchel yng Nghymru yn debygol o wneud crystio yn anodd.

Adroddodd Kupper et al. (2020) ar adolygiad llenyddiaeth cynhwysfawr o effaith y gorchuddion piswail a ddefnyddir ar gyfer piswail gwartheg a moch. Ar gyfer  $N_2O$ , mae cynnydd mewn allyriadau yn cael ei arsylwi mewn llawer o achosion. Ond mae allyriadau gostyngol yn digwydd hefyd. Fodd bynnag, mae'r nifer o gofnodion sy'n darparu newidiadau allyrru o storio piswail oherwydd gorchuddion storio yn denau ac mae'r effeithiau yn anarwyddocaol yn ystadegol. Roedd allyriadau  $CH_4$  yn is o tua 10% i 60% ar gyfer gorchuddion anhydraidd (caead a chaenen blastig), teils plastig ac olew llysiâu o gymharu â storfa heb orchudd. Ar gyfer ffabrigau plastig, polystyren wedi'i ehangu a mawn, roedd yr allyriadau yn uwch o 2% i 33%. Mae'r mathau eraill o orchudd (clai wedi'i ehangu, gwellt a deunyddiau organig fel coesynnau yd neu sglodion pren) yn dangos cynnydd yn ogystal â gostyngiadau mewn allyriadau  $CH_4$ .

**I grynhoi, roedd allyriadau  $CH_4$  yn is o tua 10% i 60% ar gyfer gorchuddion anhydraidd (caead a chaenen blastig), teils plastig ac olew llysiâu o gymharu â storio heb orchudd, ond ar gyfer deunyddiau hydraidd eraill, roedd cynnydd yn ogystal â gostyngiadau mewn allyriadau  $CH_4$ . Ar gyfer  $N_2O$ , canfuwyd cynnydd yn ogystal â gostyngiadau mewn allyriadau ond mae'r nifer o gofnodion yn denau ac mae'r effeithiau yn ddi-nod.**

**Yn ddiweddar, mae storïau piswail wedi'u selio gan nwy neu eu selio'n rhannol wedi cael eu datblygu, yn gysylltiedig a chyfarpar i gipio'r methan ar gyfer ynni. Gall hyn brofi'n ddefnyddiol, gan ddibynnu ar gostau'r storfeydd a'r cyfarpar<sup>2</sup>. Mae bagiau piswail wedi cael eu datblygu hefyd i leihau allyriadau<sup>3,3</sup>.**

### 5.3.2 Tomenni gwrtaitth solid

Mae tromenni gwrtaitth yn ffynhonnell o  $N_2O$  a methan. Pan fydd gwrtaitth ffres yn cael ei ychwanegu ar ben tomen bob dydd, mae ffynhonnell barhaol o wrea ffres, ond ychydig o gyfle sydd i nitreiddwyr ddatblygu yn yr amgylchedd anaerobig. Mae allyriadau a adroddir yn yr ystod o 0.1% i 0.5% o'r N yn y gwrtaitth, ond mae'r amcangyfrifon hyn yn seiliedig ar ychydig o fesuriadau (Oenema et al., 2005). Dangosodd Chadwick (2005) fod gan gorchuddio a chywasgu tomenni carthion gwartheg y potensial i leihau allyriadau  $N_2O$  a  $NH_3$  yn drawiadol o 30% a 90% yn eu tro.

---

<sup>2</sup><https://www.fwi.co.uk/machinery/technology/cornish-farm-creates-kit-to-turn-slurry-into-fuel>

<sup>3</sup> <https://www.albersalligator.com/slurry-storage-covers/alligator-slurry-bag/?lang=en>

<sup>3</sup> [www.quberenewables.co.uk](http://www.quberenewables.co.uk)

### 5.3.3 Gwahanu solid hylif

Mae hyn yn gallu cael ei gyflawni gan ostyngiad mewn sylwedd sych piswail a chynnwys sylwedd organig sy'n diraddio'n hawdd. Sylwedd Chadwick et al, (2011) ei bod hi'n anodd i ddod i gasgliad a oedd gwahanu yn cynyddu neu'n lleihau allyriadau CH<sub>4</sub>. Mae a yw allyriadau methan yn cael eu lleihau yn dibynnu ar amodau storio'r ffracsiynau, a chyfansoddiad y gwrtaith. Ar gyfer N<sub>2</sub>O, mae'r ffracsiwn solid yn ymddwyn fel gwrtaith solid heb ei drin gan ddangos allyriadau uwch mewn storfa (Hansen et al. 2006). Daeth Kupper et al. (2020) hefyd i'r casgliad fod allyriadau N<sub>2</sub>O wedi cynyddu.

Mae'r broses yn gallu arwain at awyriad sy'n cymell nitreiddiad a dadnitrieddiad i nitrid/nitrad â'r nod o gwblhau dadnitreiddiad llwyr i N<sub>2</sub>. Os nad yw'r broses yn cael ei rheoli'n iawn, mae awyriad yn gallu cynhyrchu symiau sylweddol o NH<sub>3</sub> a N<sub>2</sub>O (Loyon et al., 2007). Cafodd gostyngiad o CH<sub>4</sub> o tua 50% i bron 100% o allyriadau ei arsylwi gan Amon et al. (2006) os oedd awyriad piswail yn cael ei gymhwyso.

**Mewn termau ymarferol, mae'r gwahanu solid hylif ar fferm yn weithred sy'n cymhlethu â'r risg o gynhyrchu allyriadau ychwanegol NH<sub>3</sub> a N<sub>2</sub>O hyd yn oed os yw if CH<sub>4</sub> yn cael ei leihau.**

### 5.3.4 Treuliad anaerobig

Mae treuliad anaerobig yn hyrwyddo cyfran o N organig i gael ei drosi i NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ond â chyfle bach ar gyfer allyriadau N<sub>2</sub>O (Bernet et al., 2000). Mae treuliad yn cynyddu'r cynhyrchiant methan i'w ddefnyddio fel tanwydd - y cynnydd hwn yn arwain at leihau'r potensial ar gyfer allyriadau methan yn storio dilynol y sylwedd treuliedig.

Mae treuliad anaerobig yn lleihau'r swm o garbon diraddiadwy (sylwedd organig) wedi'i osod mewn gosodiad unigol i'r pridd ac felly'n tueddu i leihau allyriadau N<sub>2</sub>O perthynol i wrteithiau heb eu trin (Montes et al., 2013). Mae ïonau amoniwm ac amonia yn y toddiad treuliedig yn cael eu trosglwyddo i'r pridd pan fydd y sylwedd treuliedig yn cael ei osod ar y tir (Bernet et al., 2000). Mae treuliad anaerobig yn cynyddu argaeledd planhigion o N ac mae'n darparu llai o ynni i gynorthwyo twf micro-organeddau sy'n ffurfio N<sub>2</sub>O, gan leihau'r potensial o allyriadau N<sub>2</sub>O pan gaiff ei osod ar y pridd.

Oherwydd bod dwyster ynni isel gwrtaith hylifol yn lleihau cynhyrchu methan, mae ffermwyr yn ychwanegu deunyddiau biodiraddadwy ychwanegol megis india-corn. Mewn egwyddor mae'r opsiwn hefyd o ychwanegu gwastraff bwyd biodiraddadwy (banks et al, 2011), gan gynyddu cynhyrchu methan gan ffactor o 2-3. Ond mae adfer gwastraff bwyd trwy dreuliad anaerobig yn destun Rheoliad Is-gynhyrchion Anifeiliaid (ABPR) (EC1774/2002), sydd wedi'i gyllunio i ddiogelu iechyd anifeiliaid a dynol trwy atall lledaeniad afiechyd anifeiliaid.

Un pryder yw llygredd yn lledaenu o sylwedd treuliedig ar dir. Mae gan yr hydoddiant tua 5% o solidau yn unig ac mae'n gallu rhedeg oddi ar dir oni bai ei fod yn cael ei chwistrellu. Mae'r gwrteithiau (N,P,K) yn doddadwy ac yn gallu cael eu colli'n hawdd fel dŵr ffo. Mae taenio ar gnydau sy'n tyfu yn hanfodol i leihau colledion, gan ystyried anghenion y cnwd. Mae angen osgoi taenu'r gaeaf fan fydd cnydau'n gysglyd.

Er bod lleihau cynnwys sylwedd organig gwrtaith yn cael ei ddisgwyl i leihau allyriadau N<sub>2</sub>O o briddoedd wedi'u gwella gan wrtaith adroddodd Thomsen et al. (2010) allyriadau uwch o N<sub>2</sub>O pan gafodd gwrtaith wedi'i drin ei osod mewn tymor gwanwyn gwlyb. Daeth Petersen a Sommer (2011) i'r casgliad fod rhag-weld allyriadau N<sub>2</sub>O o bridd wedi'i wella gan wrtaith yn

dibynnu ar gyfansoddiad gwrtaith ac amodau pridd. Nododd Masse et al. (2011) amrywioldeb uchel allyriadau  $N_2O$ .

**I grynhoi mae treuliad anaerobig o werth sylweddol mewn cipio methan er bod effeithiau'r sylwedd treuliedig mewn lleihau allyriadau ocsid nitrus yn amrywiol. O bersbectif ffermwr, y prif fater yw cost y cyfarpar, yr angen posibl am stoc bwydo atodol i gynyddu cynnyrch nwy, a rheolaeth weithredol y peiriant - treuliwr ac adfer ynni. Yn gyffredinol, mae angen i faint y fuches fod yn fawr i gynhyrchu digon o biswail, â'r angen i gynnal cyflenwad parhaus trwy gydol y flwyddyn. Mae hyn yn anodd i'w gyflawni os yw anifeiliaid yn pori ym misoedd yr haf.**

### 5.3.5 Asideiddio

Mae asideiddio yn dechneg arall sydd wedi cael ei chymhwyso i leihau allyriadau amonia trwy ffafrio ffurfio ïonau amoniwm yn y piswail yn hytrach na nwy amonia sy'n cael ei ryhau i'r atmosffer. Canfu Misselbrook et al. (2016) fod asideiddio piswail gwartheg i pH 5.5 yn lleihau allyriadau  $CH_4$  a  $NH_3$  o 61 a 75%, yn eu tro. Cafodd allyriadau ocsid nitrus eu monitro hefyd ond roeddent yn ddi-nod. Dangosodd Cao et al. (2020) fod asideiddio gwrtaith i pH5 a pH6 yn lleihau allyriadau  $CH_4$  o ~20% ac yn lleihau allyriadau  $NH_3$  o 70%, a'r rhai mwyaf effeithiol yn asidau mwnol fel asid sylffwrig. Gall rhywfaint o'r amrywioldeb gael ei esbonio gan y raddfa o awyriad y piswail.

Canfu'r adolygiad gan Kupper et al. (2020) fod asideiddio yn lleihau allyriadau  $NH_3$  a  $CH_4$  yn ystod storio tra bod cynnydd yn digwydd ar gyfer  $N_2O$  a mân newid ar gyfer  $CO_2$  o gymharu â slyri heb ei drin. Er enghraifft, gostyngodd allyriadau methan o 61% ar gyfer piswail gwartheg a 96% ar gyfer piswail moch. Roedd allyriadau amonia yn 71% a 77% yn llai yn eu tro ond arweiniodd at gynydd 4% mewn allyriadau ocsid nitrus ar gyfer piswail gwartheg a 39% ar gyfer piswail moch.

Canfu Fanguero et al. (2015) fod gan biswail wedi'i asideiddio fuddion eraill pan gafodd ei osod ar briddoedd. Cafodd oediad o nitreiddiad N amoniwm ei arsylwi mewn priddoedd a wellwyd â phisweiliau wedi'u hasideiddio, o gymharu â rhai heb eu hasideiddio. Parhaodd yr oediad hwn am tua 20 diwrnod, i biswail moch yn ogystal â phiswail gwartheg. Ymhellach, am fwy na 60 diwrnod, newidiodd y crynodiad  $NH_4^+$  mewn pridd a phiswail wedi'i asideiddio neu arhosodd y ffracsiwn hylifol yn arwyddocaol uwch nac mewn pridd a newidiwyd â'r deunyddiau crai. Mae ffrwythloni N yn haws i'w reoli â phiswail wedi'i asideiddio, gan fod y cynnwys  $NH_4^+$  yn fwy cyson o gymharu â phiswail heb ei asideiddio oherwydd colledion lleiaf  $NH_3$ .

Arsylwodd Roboredo et al. (2012) ar effaith arwyddocaol o asideiddio ar argaeledd Ffosfforws (P) mewn pridd yn ogystal â'i esblygiad ag amser. Cynyddodd asideiddio piswail y ffracsiwn mwyaf ansefydlog o P. Adroddodd Petersen et al. (2013) am gynydd o argaeledd P mewn priddoedd wedi'u newid gan biswail wedi'i asideiddio, o gymharu â phiswail heb ei asideiddio.

Yn Nenmarc, mae asideiddio piswail wedi dod i mewn i ddefnydd masnachol ar gyfer trin 20% o bisweiliau (Jacobsen, 2017), yn bennaf fel ffordd o leihau allyriadau amonia. Roedd cyfanswm defnydd asid yn dibynnu ar nodweddion piswail. Defnyddiodd astudiaeth o Ddenmarc asideiddio ar hyd at 4 litr/tunnell fetrig o biswail (Vestergaard, E.V., 2014). Y pris cyfatalog fesul tunnell o wrtaith a gafodd ei thrin oedd 6.5 DKK ar gyfer asideiddio caeau a defnydd asid o 1 litr o asid y dunnell fetrig o wrtaith, tra ar gyfer asideiddio storio y gost oedd 8DKK y dunnell fetrig o biswail gan ddefnyddio 2 litr o asid y dunnell fetrig (ar hyn o bryd 1 DKK = £0.11) cyfateb i £0.72/tunnell fetrig o wrtaith, £0.88/tunnell fetrig o biswail. cyfateb i

£0.72/. Costau ar gyfer gosod 30 tunnel fetrig/ha oedd o £22-£44 yr hectar. Roedd hyn yn seilieig ar bris asid o rhwng 1.97 i 4.00 DKK y litr a'r gost o osod o 1-5 DKK y dunnell fetrig o biswail.

Mae buddion allyriadau gostyngol yn dangos yn effaith nitrogen asideiddio caeau a storfeydd - budd o rhwng 7-18 Kg N yr hectar. Y cynnydd cynnyrch grawn wedi'i briodoli i'r nitrogen ychwanegol oedd 15 Kg fesul kg nitrogen. Yn ogystal mae gan y sylffwr yn yr asid sylffwrig effaith gwrtaith. Ond gall fod yn angenrheidiol i galchu priddoedd i atal gostwng pH.

**I grynhoi, mae gan asideiddio'r potensial i leihau allyriadau methan ac amonia o storfeydd piswail - hyd at 96% ac at 77% yn eu tro, ond mae allyriadau ocsid nitrus yn cynyddu. Mae lleihau allyriadau amonia yn bwysig mewn lleihau allyriadau anuniongyrchol yn dilyn gollwng a dŵr ffo Mae asideiddio hefyd yn achosi i N a P piswail fod ar gael mwy mewn priddoedd. Mae buddion economaidd mewn lleihau gofynion gwrtaith, sy'n gallu gwrthbwysu'r costau ychwanegol, yn enwedig wrth i brisiau gwrtaith godi.**

## 5.4 Taenu Gwrtaith a Ffrwythlonwr

Mae allyriadau  $N_2O$  o wrtaith yn dilyn ei osod ar dir yn dibynnu ar amseriad y gosodiad a dull ymgorffori, cyfansoddiad y gwrtaith, math o bridd, tymheredd, a glawiad (Chadwick et al., 2011). Ar gyfer taenu piswail, mae llawer o'r astudiaethau'n canolbwyntio ar leihau amonia. Y prif opsiynau yw taenu arwyneb, pibell ymlusgol, esgid ymlusgol neu chwistrellu bas. Yn ystod taenu, mae allyriadau  $NH_3$  yn llai â'r esgid ymlusgol (65%) neu â chwistrelliad hafn agored (70-80%) nac â phibell ymlusgol (35%) pan gaiff ei gymharu â system plat sblash safonol (Webb et al., 2010). Fodd bynnag, mae'r un awduron yn nodi amrywiad mawr yn rhychwant y data a adroddir.

Dangosodd Duncan et al. (2016) hefyd fod allyriadau cymharol  $NH_3$  yn ddramatig o is ar blotiau wedi'u chwistrellu wedi'u trin â phiswail gwartheg. Lleihaodd chwistrellu gwrtaith allyriadau o hyd at 98% o gymharu â phisweiliau wedi'u taenu'n eang. Cynyddodd allyriadau  $N_2O$  ar gyfer plotiau wedi'u chwistrellu hyd at 2.5 gwaith oherwydd bod amodau anaerobig pridd sy'n ffafriol i ddadnitreiddio yn gallu arwain at allyriadau  $N_2O$  cynyddol o gymharu â thaenu arwyneb yn eang. Ond o dan amodau pridd aerobig mae gan chwistrellu piswail y potensial i leihau allyriadau  $NH_3$  heb gynyddu allyriadau  $N_2O$ .

Cafodd y casgliadau hyn eu cefnogi gan adolygiad o opsiynau lliniaru  $N_2O$  ar gyfer rheoli gwrtaith gan Montes et al., (2013) a adroddodd er bod ymgorffori neu chwistrellu gwrteithiau i mewn i'r pridd yn effeithiol iawn mewn lleihau allyriadau  $NH_3$ , mae'n gallu gadael mwy o N yn agored i gollu fel  $N_2O$ , canfyddiad a gadarnhawyd gan Velthof et al. 2003. Mae deunydd organig a ychwanegir at bridd trwy osod gwrtaith yn gallu ysgogi dadnitreiddio a hefyd cyflymu anadlu'r pridd, teneuo ocsigen mewn tyllau pridd, a sbarduno dadnitreiddio a rhyddhau  $N_2O$  (Lazcano et al., 2016).

Cymharodd Thorman et al. (2020) bisweiliau wedi'u taenu ar arwyneb y pridd a gosod gan ddefnyddio technegau taenu eang (pibell ymlusgol ac esgid ymlusgol) i leihau colledion  $NH_3$ . Ar gyfer gosodiad y gwanwyn, roedd colledion cymedrig  $NH_3$  yn is o'r triniaethau taenu piswail yn eang o gymharu â'r taenu piswail yn eang i'r arwyneb. Byddai disgwyl i'r pwll uwch N yn y pridd arwain at allyriadau  $N_2O$  uwch, ond canfuwyd hyn ar gyfer gosodiadau'r gwanwyn yn unig, o bosibl pan fydd priddoedd yn llawn dŵr ac yn anaerobig.

Ar gyfer tir âr, lle mae gwrteithiau, hylifol yn ogystal â solid, yn cael eu rhoi ar dir, ymgorffori ar unwaith gan aradr yw'r opsiwn mwyaf effeithiol i leihau allyriadau. Yn eu hadolygiad, adroddodd Webb et al. (2010) fod ymgorffori cyflym o bisweiliau neu wrteithiau solid trwy aredig o fewn 4-6 awr yn dechneg leihau effeithiol, gan leihau allyriadau  $\text{NH}_3$  o hyd at 90%. Mae ymgorffori tebyg o wrtaith solid hefyd wedi cael ei adrodd i leihau allyriadau dilynol o of  $\text{N}_2\text{O}$  (Webb et al., 2004).

Mewn astudiaeth foddelu o effeithiau mesurau lleihau  $\text{NH}_3$ , ar nitrad yn gollwng ac allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  yn defnyddio'r model System Gwerthuso Strategaeth Lleihau Amonia Cenedlaethol (NARSES) model, canfu Webb et al. (2006) nad oedd y cynnydd mewn allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  byth yn fwy na 2% o'r  $\text{NH}_3$ -N a arbedwyd. Fel cyfanswm, ychydig gafodd allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  eu newid gan fabwysiadu technegau lleihau  $\text{NH}_3$ . Mae rhai dulliau lleihau  $\text{NH}_3$  hefyd yn lleihau allyriadau nitrad yn ogystal â  $\text{N}_2\text{O}$ . Yn amlwg mae'r gostyngiad mewn allyriadau amoniwm yn golygu bod effaith ffrwythloni helaethach yn cael ei chadw ac mae hyn yn gallu lleihau'r swm gwrtaith ychwanegol sy'n ofynnol gan y cnwd. Mae hyn yn gallu cael y budd mewn lleihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ .

**I grynhoi, mae ymgorffori gwrtaith o dan arwyneb y pridd yn lleihau amonia yn drawiadol o hyd at 98%, ac er bod swm y gronfa N yn y pridd yn gynyddol, mae allyriadau ocsid nitrus yn gallu bod yn fach, ac mae'n nhw'n cael eu lleihau os yw'r pridd wedi'i ddraenio'n dda ac yn aerobig. Mae lleihau allyriadau amonia i'r aer yn lleihau'r allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  anuniongyrchol, ac yn gwella ansawdd aer. Daeth Chadwick et al. (2011) i'r casgliad fod amodau pridd ac amgylcheddol sy'n achosi cynhyrchu ac allyrru  $\text{N}_2\text{O}$  (e.e., priddoedd cynnes a gwlyb) yn gallu bod yn bwysicach na'r dull gosod mewn rheoli allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ . Mae hyn yn rhoi pwyslais ar osod gwrtaith mewn amodau tywydd sych i dyfu cynydau sy'n gallu defnyddio'r gwrtaith ar unwaith. Budd eilaidd yw fod lleihau allyriadau amonia yn golygu bod angen llai o wrtaith N i gael ei osod i ateb anghenion cynydau – gan leihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o osod y gwrtaith.**

#### 5.4.1 Atalwyr nitreiddio ar gyfer gwrteithiau a ffrwythlonwyr

Cyfansoddion yw atalwyr Nitreiddio (Nlau) sy'n gohirio ocsideiddiad bacteriaidd amoniwm i nitrid trwy ostwng gweithgaredd bacteria Nitrosomonas yn y pridd. Mae Nlau yn dadafywiogi'r ensym cyfrifol am gam cyntaf nitreiddio, ocsideiddiad  $\text{NH}_4^+$  to  $\text{NO}_2$  (Subbarao et al., 2006). Gan mai nitrad yw'r swbstrad sydd ei angen yn y lle cyntaf ar gyfer dadnitreiddio, mae defnydd NI yn lleihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o'r ddwy broses; nitreiddio a dadnitreiddio. Bydd cynnwys NI gydag unrhyw wrtaith seiliedig ar  $\text{NH}_4^+$  - (gan gynnwys yn seiliedig ar wrea neu wrteithiau organig eraill sy'n trosi wedyn i  $\text{NH}_4^+$  felly'n cadw'r N yn y pridd yn y ffurf  $\text{NH}_4^+$  am gyfnod hirach. Yr Nlau mwyaf cyffredin a ddefnyddir mewn gwrteithiau yw deucynadeuamid (DCD) a 3,4-dimethylpyrsol ffosffad (DMPP) (Liu et al., 2013).

Mae llawer o astudiaethau wedi dangos bod Nlau, megis deucynadeuamid (DCD), yn gallu lleihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  (Gilsanz et al., 2016; Chadwick et al., 2018), ond mae eu heffeithiolrwydd yn ymarferol wedi cael ei ddangos i ddibynnu ar nifer o ffactorau allanol megis tymheredd, lleithder, a nodweddion pridd gan gynnwys clai a chynnwys sylwedd organig (Montes et al., 2013; McGeough et al., 2016). Canfu metaddadansoddiad byd-eang fod Nlau yn effeithiol mewn lleihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o 42% a 40%, ar gyfer DCD a 3,4-dimethylpyrsol ffosffad (DMPP), yn eu tro (Gilsanz et al., 2016).

Mewn astudiaeth ar 14 safle yn Lloegr, archwiliodd Misselbrook et al. (2014) effeithiolrwydd DCD ar allyriadau ocsid nitrus uniongyrchol o osod amoniwm nitrad, wrin gwartheg a

phiswail gwartheg. Cafodd effeithlonrwyddau lleihau cymedrig o 39, 69 a 70% ar gyfer amoniwm nitrad, wrea ac wrin gwartheg yn eu tro eu harsylwi. Pan gawsant eu cynnwys â phiswail gwartheg, cafodd gostyngiad arwyddocaol o 56% ei arsylwi. Nid oedd gostyngiadau allyrru  $N_2O$  wedi'u harsylwi o'r asesiadau cyfyngedig o'r atalwyr nitreiddio eraill. Yn gyffredinol, nid oedd effeithiau atalwyr nitreiddio ar anwediad  $NH_3$ , nitrad yn gollwng, cynnyrch crydau neu gymryd N crydau i fwrdd. Gallai defnydd DCD roi hyd at 20% o ostyngiad mewn allyriadau  $N_2O$  o amaethyddiaeth y DU (Misselbrook et al, 2014).

Adroddodd profion yn Seland Newydd fod DCD wedi lleihau colledion  $N_2O$  losses o wrin a charthion wedi'u gollwng ar gaeau o 50% ar gyfartaledd o 50% Gillingham et al. (2012) a chanfu Chadwick et al. (2018) fod DCD wedi lleihau'r Ffactorau Allyrru  $N_2O$  o glytiau wrin ar gyfartaledd o 46% o dan amodau'r DU. Adroddodd Luo et al. (2008b) hyd at 45% o ostyngiad mewn allyriadau  $N_2O$  o wrin gwartheg llaeth wedi'i osod ar briddoedd amrywiol yn Seland Newydd gan DCD ond tynnodd sylw y gall effeithiolrwydd y cyfansoddion hyn gael eu lleihau o dan law trwm. Adroddodd profion cenedlaethol yn Seland Newydd ostyngiad  $N_2O$  ar gyfartaledd gan DCD o 50% (Gillingham et al., 2012).

Cafodd effaith amodau tymhorol eu dangos gan Cardenas et al. (2016). Roedd DCD yn effeithiol yn unig mewn lleihau allyriadau  $N_2O$  ar gyfer gosod wrin a charthion y gwanwyn. Canfu Barneze et al. (2015) nad oedd y defnydd o DCD mewn lleihau allyriadau  $N_2O$  o bori'r DU o dan amodau'r haf yn arwyddocaol. O dan amodau'r arbrofion hyn, roedd diraddiad cyflym iawn o DCD yn y pridd, a hanner bywyd o tua 10 diwrnod, mae'n debygol oherwydd y tmheredd pridd uwch. Mae astudiaethau eraill hefyd wedi dangos wrth i'r tymheredd godi uwchben 10 C, mae gostyngiad llinol yn yr effeithiolrwydd; ar dymereddau o 25 C, mae'r effaith ataliol yn parhau 2-3 wythnos yn unig (Zerulla et al., 2001). Canfu McGeogh et al. (2016) fod effeithiolrwydd DCD yn cael ei effeithio'n andwyol gan dymereddau uchel ac mewn priddoedd â chlai uchel a chynnwys sylwedd organig uchel. Roedd y % ataliad mewn cynhyrchu Nitrad net ac allyriadau  $N_2O$  gan DCD yn arwyddocaol is mewn priddoedd glaswelltir nac mewn priddoedd â'r oherwydd cynnwys organig uwch glaswelltiroedd.

Amlygodd yr adolygiad gan Gilsanz et al. (2016), y prinder astudiaethau ynghylch effeithiolrwydd DMPP mewn lleihau allyriadau  $N_2O$  o gymharu â DCD. Mae hyn yn arbennig o wir am briddoedd wedi'u dylanwadu gan wrin. Profodd Marsden et al. (2018) DMPP wedi'i osod ar gyfradd o 1 kg/ha ond canfu na chafodd effaith ar allyriadau cronol cyffredinol  $N_2O$ .

Ataliwr amgen ar gyfer gwrteithiau wrea yw'r ataliwr wreaidd (UI), N-(butyl) triamid thiofosfforig (NBPT). Mae wrea yn hydroleiddio yn y pridd trwy weithrediad wreas microbig i gynhyrchu amonia sy'n gallu cael ei gollu gan anweddiad neu ei ocsideiddio gan nitreiddwyr microbig. Mae NBPT yn meddiannu'r safleoedd gweithredol mewn wreas ac mae'n sail cynhyrchion masnachol sy'n cael eu gosod ynghyd â gwrteithiau wrea (Sigurdarson et al. 2018).

Adroddir bod NBPT yn gohirio hydrolisis gwrtaith wrea o 7 i 10 diwrnod (Zaman et al. 2008), gan arwain at gynnydd pH llai o gwmpas y gronyn wrea nac ar gyfer wrea ar ei ben ei hun, ac felly colledion anweddu amonia is. Mewn astudiaeth fawr yn y DU, adroddodd Chambers a Dampney (2009) am ostyngiad allyriadau amonia cymedrig o 70% (ystod 25- 100%) o'r defnydd o NBPT ag wrea, ac ar gyfartaledd cynyddodd y defnydd o NBPT adfer N crydau o gymharu ag wrea yn unig. Fodd bynnag, nid oedd gwahaniaethau ar safle unigol yn arwyddocaol bob amser ac mae hyn yn gallu dangos fiffyg effeithiolrwydd UI oherwydd dirywiad cyflym mewn pridd o dan amodau penodol.

Canfu Smith et al. (2006) rywfaint o dystiolaeth fod allyriadau  $N_2O$  o wrea yn llai nac o Amoniwm Nitrad neu Galsiwam Amoniwm Nitrate, ond pan gafodd hyn ei addasu ar gyfer

colled amonia trwy anweddiad, yn gyffredinol ychydig iawn o wahaniaeth oedd rhwng ffurfiau gwahanol o N. Roedd allyriadau o wrea wedi'i addasu gan ychwanegu NBPT yn is nac allyriadau cyfatebol o ffurfiau nitrad, gan awgrymu bod y defnydd o atalwyr wreas yn gallu darparu rhywfaint o liniaru o allyriadau N<sub>2</sub>O, yn ogystal â NH<sub>3</sub>. Canfu Carswell et al. (2018) hefyd fod wrea â thriniaeth NBPT yn lleihau allyriadau NH<sub>3</sub> o 48 – 65% yn berthynol i'r driniaeth wrea.

Mewn metaddadansoddiad, canfu Maaz et al. (2021) fod y defnydd o atalwyr wreas, atalwyr nitreiddio, neu wrea â chôt bolymeryn yn lleihau allyriadau N<sub>2</sub>O. Mae'r canfyddiad presennol o ostyngiad o 24% yn syrthio o fewn yr ystod a adroddir gan fetaddadansoddiadau eraill, lle gostyngodd atalwyr nitreiddio ar eu pennau'u hunain neu ar y cyd ag atalwyr wreas allyriadau N<sub>2</sub>O o 8%–100%.

Mae materion wedi cael eu codi wrth ddefnyddio DCD, gan y cafodd olion o DCD eu canfod mewn llaeth pan gafodd DCD ei fwydo'n uniongyrchol i anifeiliaid (Welten et al., 2016), ac mae dail gwair o laswelltiroedd y cafodd DCD ei osod arnynt wedi cael eu hadrodd i gynnwys olion o DCD (pal et al., 2016). Mae tynged DCD yn yr amgylchedd yn aneglur, er bod ei diraddiad cyflym yn enwedig ar dymereddau amgylchol uwch yn bwysig mewn lleihau gweddillion parhaus. Daeth Kamal et al. (2021) i'r casgliad, er mwyn defnyddio Nlau mewn systemau pori da byw, fod angen ymchwil i sefydlu uchafswm lefel gweddillion derbyniol o Niau mewn pridd, planhigion a chynhyrchion anifeiliaid.

Mae Lam et al. (2017) yn rhybuddio bod angen asesiad integredig o allyriadau. Er bod atalyddion nitreiddiad yn dangos addewid o ran lleihau allyriadau ocsid nitraidd, gallant fod yn llawer llai effeithiol nag a feddylwyd yn flaenorol o ystyried allyriadau uniongyrchol ac anuniongyrchol. Er bod atalyddion nitreiddiad yn effeithiol wrth leihau allyriadau N<sub>2</sub>O uniongyrchol a thrwytholch nitrad, mae astudiaethau cyfyngedig yn awgrymu y gallent gynyddu anwedolrwydd amonia ac, o ganlyniad, allyriadau N<sub>2</sub>O anuniongyrchol.

Mae rhywfaint o gostau ychwanegol yn gysylltiedig â defnyddio Nlau. Amcangyfrifodd Subbarao et al. (2006) fod DCD yn ychwanegu tua 25-30% at gost gwrtaith N. Amcangyfrifodd Trenkel (2010) y costau ychwanegol i fod 1.3- 1.6 gwaith cost gwrteithiau safonol ond roedd hynny'n seiliedig ar ddata o 2005. Mae cynhyrchu wedi'i uwchraddio yn gallu lleihau'r gost, er na chanfu'r astudiaeth gan Misselbrook et al. (2014) unrhyw fuddion oedd yn gwrthbwysio buddion yn nhermau cynnyrch crydau cynyddol.

**I grynhoi roedd Nlau yn effeithiol mewn lleihau allyriadau N<sub>2</sub>O o 42% a 40%, ar gyfer DCD a DMPP, yn eu tro (Gilsanz et al., 2016). Dangosodd yr astudiaeth gan Maaz et al. (2021), fod llawer o amrywioldeb yn effeithiolrwydd yr Nlau hyn. Mae effeithiolrwydd yn cael ei leihau trwy dymereddau uwch a nodweddion pridd. O ystyried amrywioldeb gostyngiadau a arsylwyd, gall fod yn bwylllog i gymhwyso casgliad Misselbrook et al. (2014) fod gostyngiad ar gyfartaledd o 20% mewn allyriadau ocsid nitrus yn gallu cael ei gyflawni yn amaethyddiaeth y DU gan defnyddio atalwyr. Mae gostyngiadau mwy hyd at 50% yn gallu bod yn gymwys o dan amodau gorau. Mae defnyddio Nlau yn gofyn am asesiad gofalus o'u tynged yn yr amgylchedd a chynhyrchion bwyd anifeiliaid.**

#### 5.4.2 Math o wrtaith

Yng Nghymru a Lloegr, y prif fathau o wrtaith fesul symiau % yw Amoniwm Nitrad (AN) (39.1%), wrea (U) (8%), Calsiwm Amoniwm Nitrad (CAN)m (1.6%) ac Wrea Amoniwm Nitrad (UAN) (14.2%) (Arolwg Ymarfer Gwrteithiau Prydain). Mae gwrteithiau eraill yn cynnwys gwrteithiau cyfansawdd sy'n cynnwys Ffosforws (P) a Photasiwm (K). Fodd bynnag, mae U

yn gallu tueddu at golledion  $\text{NH}_3$  mawr, sy'n gallu bod yn yr ystod 5 – 68% o'r gwrtaith-N a osodwyd (Chambers a Dampney 2009), o gymharu â <3% ar gyfer AN. Fodd bynnag, mae AN yn gallu allyrru ocsid nitrus helaethach yn enwedig pan gaiff ei osod mewn amodau gwlyb (Smith et al. 2012). Mewn synthesis data, daeth Stehfest a Bouwman (2006) hefyd i'r casgliad nad oedd gwahaniaeth arwyddocaol ymhlith y rhan fwyaf o fathau gwrtaith yn nhermau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ .

Fodd bynnag o fetaddadansoddiad o 21 astudiaeth yn y DU ac Iwerddon dangosodd Cowan et al. (2020) mai AN a CAN yw'r mathau gwrtaith sy'n allyrru fwyaf fesul mas; fodd bynnag, roedd allyriadau o osodiadau AN yn sylweddol is nac ar gyfer gosodiadau i gaeau â'r nac i laswelltiroedd. Roedd allyriadau'n gysylltiedig ag wrea yn sylweddol is nac AN ar gyfer glaswelltiroedd ond ychydig yn uwch ar gyfer caeau â'r - gan ddangos yr anhawster o sefydlu tueddiadau cyffredinol clir.

O bersbectif lliniaru  $\text{N}_2\text{O}$ , mae effeithiolrwydd gwrteithiau â chot polymer (PCFau) wedi cael ei brofi mewn sawl astudiaeth (Akiyama et al., 2010). Dangosodd dadansoddiad cynhwysfawr fod PCFau yn lleihau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  yn arwyddocaol o 14%-58% â chyfartaledd o 35%. Fodd bynnag, cafodd y rhan fwyaf o'r astudiaethau presennol eu cynnal mewn tir cnydau. Byddai gwrteithiau rhyddhau araf yn creu costau ychwanegol sylweddol ar gyfer eu cyflenwi.

**I grynhoi, er bod wrea yn ymddangos yn ddewis gwell yn nhermau allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$ , mae allyriadau amonia yn uwch. Adroddodd prosiect DEFRA NT 26 (Smith et al, 2006) fod allyriadau amonia o wrea gronnog ar gyfartaledd yn 27% (glaswelltir) a 22% (â) o'r cyfanswm N a osodwyd, o gymharu â thua 2% o N a osodwyd fel AN. Pan fydd allyriadau anuniongyrchol o  $\text{N}_2\text{O}$  yn dilyn anweddiad ac ailddyddodiad amonia yn cael eu hystyried, mae cyfanswm yr allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o AN ac wrea yn debyg.**

### 5.4.3 Effeithlonrwydd ffrwythlonwr N a defnydd gwrtaith

Mae ffrwythlonwr a gwrteithiau N sydd ddim yn cael eu cymryd gan y cnwd neu'n cael eu dal mewn pyllau N organig pridd - sy'n cynnwys biomas microbig yn ogystal â sylwedd organig - yn agored i golledion o anweddiad, dadnitreiddio, a gollwng. Mae rheoli N i gynyddu Effeithlonrwydd Defnydd Nitrogen (NUE) wedi cael ei gydnabod fel ffordd effeithiol i liniaru allyriadau  $\text{N}_2\text{O}$  o amaethyddiaeth (Panel arbenigwyr nitrogen yr UE). Mae NUE yn cael ei ddiffinio fel

allbwn N, mewnbwn N, lle mae

- allbwn N yn gyfanswm N a fesurir yn y gwair sy'n cael ei gynaeafu, a
- mewnbwn N yw'r swm o ffrwythlonwr/gwrtaith a osodir yn y flwyddyn a dyddodiad N atmosfferig.

Mae NUE cyffredinol system dyfu cnydau felly'n gallu cael ei gynyddu trwy gyflawni effeithlonrwydd ymgymryd helaethach o fewnbynnau N a osodir, trwy leihau'r swm o N a gollir o byllau N pridd organig ac anorganig, neu'r ddau.

Mae llenyddiaeth a adolygwyd ar wella NUE mewn systemau cynhyrchu cnydau (Cassman et al. , 2002) wedi pwysleisio'r angen am gydamseriad helaethach rhwng galw am N cnydau a'r cyflenwad N o bob ffynhonnell trwy gydol y tymor tyfu. Mae'r ymagwedd hon yn cydnabod yn benodol, yr angen i ddefnyddio N cynhenid a gosodedig yn effeithlon ac mae'n cael ei gyfiawnhau gan y ffaith fod colledion o bob mecanwaith colli N yn cynyddu yn gymesur â'r swm o N ar gael yn bresennol ym mhroffil y pridd ar unrhyw adeg arbennig. Felly, mae



effeithlonrwydd ymgymryd o osodiad gwrrtaith N unigol fel arfer yn lleihau mewn cyfran o'r swm o wrtaith N a osodir Mae'r un egwyddor yn gymwys i N ar gael sy'n deillio o ffynonellau N organig megis gwrrteithiau llyisiau gwyrdd, cynydu gorchudd a charthion anifeiliaid.

Ymhlith llawer o ymarferion rheoli gwrrtaith N, mae cyfradd gwrrtaith N yn cael ei gysylltu gryfaf ag allyrru  $N_2O$  sy'n effeithio ar bridd. Ar gyfer Cymru, mae'r data o Arolwg Ymarfer Gwrrteithiau Prydain ar gyfer 2019 yn gyfyngedig gan fod y data'n cael eu hadrodd yn gyffredinol am Gymru a Lloegr Yng Nghymru, mae gwrrtaith yn cael ei daenu ar 82% o'r arwynebedd trin tir, a 64% o ardal laswelltir. Mae gwrrtaith buarth fferm yn cael ei daenu ar 66% o ardal trin tir a 38% o laswelltir. Roedd cyfraddau gosod N ar gyfataledd yn 90kgN/ha ar ardaloedd trin tir a 53kgN/ha ar laswelltir. Ond mae gan ffermydd llaeth gyfraddau gosod uwch - o gwmpas 140- 150kgN/ha. Mae'n ymddangos bod ffermwyr yn lleihau cyfraddau gosod gwrrtaith mwrol o tua 20kgN/ha lle maen nhw'n defnyddio carthion buarth, er mai yn anaml y mesurir cynnwys N gwrrteithiau.

Mae consensws cyffredinol fod lleihau'r gyfradd N yn ffordd ddibynadwy o leihau allyriadau  $N_2O$  (Venterea et al., 2012). Mae mesurau i gydamseru cyflenwad N ag anghenion crydu yn cael eu hanelu'n aml at leihau colled N trwy anweddiad  $NH_3$  a gollwng nitrad, sydd gyda'i glydd yn cyfrif am hyd at 50% o fewnbynnau N. Mae data cyfyngedig ar gael i ddangos a yw cydamseru cyflenwad nitrogen ag anghenion yn lleihau allyrru  $N_2O$  pridd o laswelltir.

Yn seiliedig ar astudiaethau mewn tir crydu, mae'n ymddangos nad yw gwella NUE yn gallu lleihau allyriadau  $N_2O$  yn gyson (Phillips et al., 2009), mae'n debygol oherwydd yr ymarferion sy'n gwella NUE trwy leihau  $NH_3$  a/neu mae colledion Nitrad yn gallu trefnu bod rhagor o N ar gael yn y pridd ar gyfer cymeriant N mewn crydu yn ogystal â chynhyrchu  $N_2O$  pridd (Venterea et al., 2012).

Ar gyfer yr ychydig arbrofion ymateb  $N_2O$  lle cafodd mwy na dwy lefel o N eu gosod, mae llif  $N_2O$  mewn ymateb i gyfraddau cynyddol N wedi cael ei ddisgrifio gan swyddogaethau llinol yn ogystal â rhai anllinol (Li et al. 2015). Er enghraifft, dangosodd Cardenas et al. (2010) fod yr allyriadau  $N_2O$  o osod gwrrtaith AN yn amrywio mewn ffordd anllinol - cyfraddau gosod uwch yn arwain at allyriadau llawer uwch. Fodd bynnag, dangosodd Cardenas et al. (2019) nad oedd y duedd o fod yn anllinol yn gyson. Mewn astudiaeth o 5 safle, dangosodd yr effaith o gynyddu cyfradd gwrrtaith N ar allyriadau  $N_2O$  blynyddol ymatebion llinol ar gyfer 3 safle, a chromlinau cyflymach yn y 3 safle arall. Ar gyfer glaswelltir, canfu Cardenas et al, (2019) o symiau cymryd N gwair i fwrdd, ni chafodd yr holl N a ychwanegwyd ei ddefnyddio gan y planhigion, gan arwain at weddill ar gyfartaledd o 0.32kg N fesul kg ychwanegol o N a osodwyd.

Mae tystiolaeth fod allyriadau  $N_2O$  yn newid ychydig pan oedd allbynnau gwrrtaith N o dan lefel benodol, ond yn cynyddu'n gyflym uwchben y lefel honno. Er enghraifft, mewn astudiaeth o dir crydu, roedd llifau  $N_2O$  yn gymedrol o isel (tua 20 g  $N_2O$  /ha/y dydd) ar lefelau o gyfraddau N hyd at 101 kg N/ha, lle cafodd cynhyrchion grawn eu huchafu, a llifau'n mwy na dyblu wedi hynny (i >50 g  $N_2O$  /ha/y dydd) (McSwiney and Robertson, 2005).

Yn yr un modd, mewn astudiaeth arall â safleoedd lluosog, ar gyfer dwy gyfradd wrtaith N uwchlaw'r rhai a argymhellir ar gyfer yr uchafswm elw economaidd (135 kg N/ha), roedd llifau  $N_2O$  ar gyfartaledd yn 43% (18 g  $N_2O$  /ha/y dydd) a 115% (26 g  $N_2O$  /ha/y dydd) yn uwch nac roedd llifau ar y gyfradd a argymhellir, ond cynyddodd cynnyrch yr  $\hat{y}$ d o 2% a 6% yn unig, yn eu tro (Hoben et al., 2011).

Yn gyffredinol, mae'r enghreifftiau uchod yn dangos y potensial i leihau llifau amaethyddol  $N_2O$  ag ychydig o gosb cynhyrchu trwy leihau mewnbynnau gwrrtaith N sy'n bodloni

anghenion cnydau. Wrth amcangyfrif gofynion y gwrtaith, mae'n hanfodol i ffactora cyfraniad gwrteithiau a osodir i mewn i ofynion cyffredinol y cnydau. Mae AHDB Fertilizer Manual RB209 yn cyflwyno argymhellion ar ofynion gwrteithiau sy'n rhoi'r elw **economaidd** mwyaf i ffermwyr, ond mae hyn yn gallu bod yn fwy nac sy'n bosibl i'w gyfiawnhau yn nhermau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Ar hyn o bryd, mae ADHB yn adolygu ei argymhellion gwrtaith i ystyried cynnydd mawr prisiau gwrteithiau a achoswyd gan gostau ynni cynyddol yn 2022.

Cyfarwyddyd AHDB yw ei bod yn bwysig i gael ymateb mwyaf o wrteithiau gan sicrhau bod pH pridd yn isafswm o 6. Mae hyn yn bwysig fel mesur lliniaru i ostwng gofynion gwrteithiau o gnydau.

Mae'r graddau o ostyngiadau gwrtaith N posibl yn gallu cael eu hamcangyfrif o Falansau Maetholion Pridd DEFRA (2019) ar gael ar sail y DU a Lloegr. Nid yw amcangyfrifon ar gyfer Cymru ar gael. Ar gyfer y DU, gan eithrio pori garw:

#### Mewnbynnau N

Gwrteithiau mwnol	88.9 kgN/ha
Gwrteithiau	82.7 kgN/ha
Dyddodi atmosfferig	10.4 kgN/ha
Sefydlogi Biolegol	11.4 kgN/ha
Cyfanswm	192.9 kgN/ha

Symiau N a Gymerir i Ffwrdd 108.9 kgN/ha

Gweddill 84.0 kgN/ha

Mae'r gweddill yn dangos y gostyngiad posibl mewn mewnbynnau N y gellir eu cyrraedd er ei bod yn bwysig nad yw lefelau N yn cael eu cloddio. Gallai fod gostyngiad arwyddocaol o'r defnydd o wrteithiau mwnol o ystyried bod cyfanswm y gweddill yn cyfateb i'r mewnbyn o wrteithiau mwnol.

**I grynhoi, byddai lleihau allyriadau yn cael ei ddarparu gan ddefnydd mwy effeithlon o wrteithiau, amseru gorau gosodiadau a sicrhau bod gwerth llawn gwrteithiau a meillion/llysiau yn cael ei ffactora i mewn i cynlluniau reoli maetholion sy'n ofynnol gan Rheoliadau Adnoddau Dŵr (Rheoli Llygredd Amaethyddol) (Cymru). Mae ymarfer da yn gofyn am ddadansoddiadau pridd rheolaidd, a dadansoddiadau o wrteithiau i asesu'r gwrtaith mwnol gofynnol i ddiwallu anghenion cnydau. Ar gyfer 2018, achosodd gosod gwrteithiau mwnol allyriadau N<sub>2</sub>O o 472Kt CO<sub>2</sub>e – 28.3% o gyfanswm allyriadau N<sub>2</sub>O. Gan ystyried y mewnbynnau N dros ben o Falans Maetholion Pridd DEFRA gallai gostyngiad o 50% yn y N dros ben gael ei gyflawni trwy haneru defnydd gwrtaith mwnol. Byddai hyn yn darparu gostyngiad allyriadau o 236Kt CO<sub>2</sub>e.**

## 5.5 Rheoli Tir

### 5.5.1 Gwella draenio tir

Mae lleithder pridd yn yrrwr mawr o allyriadau N<sub>2</sub>O gan ei fod yn rheoleiddio'r ocsigen sydd ar gael i ficrobau pridd (Butterbach-Bahl et al, 2013). Mae allyriadau uchafswm N<sub>2</sub>O yn digwydd yn yr ystod 70–80% o ofod tyllau wedi'u llanw â dŵr (WFPS) gan ddibynnu ar fath o bridd (Davidson et al, 2000). Ar leithder pridd uwch, cynnyrch mawr terfynol dadnitreiddio yw N<sub>2</sub>. Penderfynodd Firestone a Davidson (1989) mai cyflenwad ocsigen oedd y ffactor rheoli

pwysicaf mewn priddoedd wedi'u gwrteithio. Yn WFPS mae rhwng 45 a 75 % nitreiddio a dadnitreiddio yn gweithredu fel ffynonellau  $N_2O$ .

Canfu Dobbie a Smith (2006) fod codiadau yn y bwrdd dŵr yn gysylltiedig â chynnydd cyflym mewn allyriadau  $N_2O$ , trwy'r cynnydd cysylltiedig yng ngofod tyllau wedi'u llanw â dŵr yr uwchbridd. Rhagwelodd modelu pe byddai'r bwrdd dŵr yn gallu cael ei reoli fel ei fod yn cael ei gadw i ddim llai na 35 cm o dan arwyneb y ddaear, byddai llifau yn ystod y tymor tyfu yn cael eu lleihau o 50%, tra byddai gostwng i 45 cm yn eu lleihau o dros 80%. Y casgliad oedd y byddai draenio glaswelltiroedd lle mae'r byrddau dŵr ond yn anaml yn agosach at yr arwyneb na 35 cm yn lleihau allyriadau  $N_2O$  yn sylweddol.

Awgrymodd Davidson et al (2000) hefyd yn WFPS mai gwerthoedd uwchben 90 % yn unig o  $N_2$  a gynhyrchir. Mae'r WFPS "gorau posibl" ar gyfer allyriadau  $N_2O$  yn amrywio o bridd i bridd (Davidson, 1991). Gallai strwythur pridd fod yn dylanwadu ar yr effaith hon ac mae'n rhyngweithio'n gryf â lleithder pridd (van Groenigen et al., 2015) trwy newidiadau mewn WFPS. Canfu Luo et al. (2013) yn ogystal â lleithder pridd a thymheredd, fod ffactorau rheoli eraill megis argaeledd N a C, neu ddeinameg cymuned microbig a allai weithredu rheolaeth arwyddocaol ar yr amrywiad o lifau ocsid nitrus.

Dangosodd Cardenas et al. (2010) yr effaith leithder amywiol ar allyriadau ocsid nitrus mewn cymharu safleoedd Gorllewinol y DU ym Mhwllpeiran a Rowden yn erbyn safle Dwyreiniol y DU (High Mowthorpe). Yr allyriad  $N_2O$  ar gyfer gosodiad 100 kg N/ha/y flwyddyn oedd 3.9 kg  $N_2O-N$ /ha/y ar gyfer y safleoedd Gorllewinol a 0.5 kg  $N_2O-N$ /ha/y flwyddyn ar gyfer y safleoedd Dwyreiniol. Y casgliad oedd fod glawiad uwch a phriddoedd gwlypach yn y gorllewin yn ysgogi cynhyrchu 'mannau poeth' cynhyrchu  $N_2O$  i raddau helaethach, gan gynhyrchu allyriadau uchafbwynt mwy ac amlach  $N_2O$  o ganlyniad i ddadnitreiddio dwys o amodau pridd anaerobig.

Mae cywasgu pridd oherwydd da byw yn sangu a'r defnydd o beirianwaith trwm yn effeithio ar strwythur pridd ac allyriadau fel yr adroddir gan astudiaethau ynghylch dwyster swmp i lifau (KLefoth et al., 2014) a'r graddau o drin tir i allyriadau. Mae'n hysbys fod cywasgiad yn effeithio ar faint y tyllau mwy (macrodyllau) gan lleihau swm aer y pridd ac felly'n cynyddu'r WFPS (am yr un cynnwys lleithder) (van der Weerden et al., 2012).

**Y casgliad yw fod draenio tir i ostwng y bwrdd dŵr o dan 35 cm ynghyd â chynnal strwythur pridd effeithiol yn ddull lliniaru pwysig. Mae'r Rhestr Nwyon Tŷ gwydr yn ystyried WFPS gan ddefnyddio data pridd o Brifysgol Cranfield. O ystyried y glawiad uchel yng Nghymru, mae draenio tir yn opsiwn pwysig, ond â chosatu sylweddol. Byddai penderfynu ar ardaloedd sy'n gofyn am ddraenio yn gofyn am waith arolygu sylweddol. Gallai draenio gael effeithiau cadarnhaol trwy gynyddu capasiti dŵr pridd a lleihau rhedeg oddi ar yr arwyneb. Yng Nghymru dangosodd cynllun Pontbren fuddion ar gyfer lliniaru llifogydd (Ymddiriedolaeth Coetiroedd, 2013)**

### 5.5.2 Sefydlogi biolegol â llyisiau

Mae sefydlogi biolegol N(BNF) yn gysylltiedig â llyisiau bwyd yn darparu ffynhonnell N amgen i laswelltiroedd. Meillion gwyn y'r prif lysieuyn mewn porfeydd a dolydd rhanbarthau tymheraidd. Mae sefydlogi Nitrogen biolegol ar gyfartaledd mewn porfeydd meillion/gwair parhaol wedi'u pori yn rhanbarthau tymheraidd y byd wedi cael ei adrodd i fod yn 80- 100 KG N/ha/y flwyddyn (ystod 10-270 Kg N/ha/y flwyddyn) (Ledgrad et al, 2009). Mae'r N sefydlog hwn yn dod ar gael yn araf dros amser i'r gwair mewn porfeydd ar ôl iddo gael ei ryddhau i mewn i'r pridd trwy nawsiadau o wreiddiau llyisiau byw, trwy fwneiddio meinwe llyisiau ac mewn carthion ar ôl eu bwyta gan anifeiliaid sy'n pori (Ledgrad et al., 2009). Daeth Andrews

et al. (2007) i'r casgliad fod llystyfiant a chynhyrchu llaeth o borfeydd seiliedig ar feillion gwyn (bromwellt parhaol ag 20% meillion gwyn mewn llystyfiant DM) yn debygol o fod yn debyg i hynny o borfa bromwellt parhaol sy'n derbyn mewnbyn blynyddol o 200 kg/ha o wrtaith N. Mae AHDB RB209 yn amcangyfrif y gall y cyfraniad o feillion gwyn fod hyd at 180kgN/ha.

Dangosodd synthesis data fod yr allyriadau N<sub>2</sub>O pridd ar gyfartaledd o lysiau wedi'u tyfu mewn caeau, porfeydd gwair a chnydau wedi'u ffrwythloni gan N, a phriddoedd heb eu ffrwythloni yn 1.29, 3.22 a 1.20 kg N /ha/y flwyddyn yn eu tro (Jensen et al., 2012). Felly nid yw allyriadau N<sub>2</sub>O o gymysgeddau gwair llysiâu ond ychudig yn fwy nac allyriadau cefndir.

Er bod astudiaethau cyfyngedig wedi cael eu cynnal i gymharu gollwng nitrad neu anweddiad NH<sub>3</sub>mewn systemau seiliedig ar lysiau a gwrtaith, mae'r dystiolaeth bresennol yn awgrymu bod colledion N trwy'r ddau lwybr hyn yn gallu bod yn is mewn systemau seiliedig ar lysiau (Crews a Peoples, 2004). O ganlyniad, mae allyriadau N<sub>2</sub>O anuniongyrchol o'r colledion N hyn y gallu cael eu lleihau. Canfuwyd bod anweddiad NH<sub>3</sub> o weddillion llysiâu yn is o lawer .

Defnyddiodd Schils et al. (2005) ymagwedd lefel fferm i gymharu allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o ffermydd gwair/gwrtaith a gwair/meillion. O gymharu â system N- gwair/gwrtaith, roedd yr allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr (gan eithrio dal a storio carbon) o fferm wair/meillion 23% yn is yr hectar ac 11% yn is fesul kg llaeth.

Mae AHDB Fertilizer Manual RB209 yn cynghori mai ychydig o nitrogen gwrtaith sydd ei angen ar laswellt â chynnwys meillion sylweddol. Ar gyfartaledd, bydd glaswelltir gwair a meillion da (30-40% o sylwedd sych meillion) yn rhoi cynnyrch cyfatebol sylwedd sych blynyddol i'r hyn a gynhyrchir o tua 180 kg n/ha a osodir i laswelltir gwair pur. Nid oes angen gwrtaith N ar gnydau maglys a meillion coch, ac eithrio'r hyn sydd ei angen ar gyfer sefydlu mewn priddoedd statws nitrogen isel (hyd at 50 kg N/ha). Dylasi gosodiadau gwrtaith nitrogen i laswelltiroedd gwair/meillion gael eu gwneud â gofal oherwydd bod unrhyw ffurf o nitrogen mwnol yn atal sefyliad nitrogen trwy risobia yn nodylau'r meillion. Mae risg o'r gwair yn ymateb i'r nitrogen ac yn creu cysgod dros y meillion, sy'n gallu lleihau'r ganran o feillion yn y glaswelltir.

Mae gan weiriau yn gyffredinol gyfraddau twf cyflymach na llysiâu bwyd yn y gaeaf a'r gwanwyn ac mae hyn yn gallu eu gwneud yn fwy addas ar gyfer systemau cynhyrchu da byw sy'n cnoi cil lle mae costau lletya a thrafod porthiant yn cael eu lleihau trwy gadw'r anifeiliaid allan yn pori am gyhyd â phosibl bob blwyddyn. Mae dyfalbarhad agronomegol, a ddiffinnir fel gallu rhywogaeth porthiant i gynnal cynhyrchu llystyfiant dros nifer o flynyddoedd, yn nodwedd bwysig o borthiannau parhaol ac mae'n cael ei adrodd yn gyffredinol yn dlotach ar gyfer y rhan fwyaf o lysiau porthiant na gweiriau (Phelan et al, 2015).

**I grynhoi, byddai sefydlu meillion ar laswelltir dros dro ac ar laswelltir parhaol sy'n agored i hadu dim trin yn darparu gostyngiad arwyddocaol o allyriadau ocsid nitrus, ac yn lleihau'r angen am osodiadau ffrwythlonwr/gwrtaith a'u hallyriadau cysylltiedig. Fodd bynnag mae rheolaeth leiau gwair-llysiâu yn gofyn am reolaeth ofalus mewn sefydlu a chynnal. Mae llysiâu hefyd yn darparu menwbynnau N i gnydau â'r mewn system gylchdroi cnydau. Fodd bynnag, os yw cnwd llysiâu yn cymryd lle cnwd o werth uchel, mae'n gallu arwain at gostau economaidd. Ar hyn o bryd mae sefydlu biolegol yn darparu 5.9% o gyfanswm mewnbynnau N yn y DU (DEFRA- Balansau Maetholion Pridd y DU ar gyfer 2019).**

### 5.5.3 Mabwysiadu systemau sy'n llai dibynnol ar fewnbynau

Cwblhaodd De Ponti (2012) fetaddadansoddiad o ddata cynnyrch yn cymharu amaethyddiaeth organig a chonfensiynol o 362 o setiau data byd-eang a ddangosodd ar hyn o bryd fod cynhyrchion organig cynydu unigol ar gyfartaledd yn 70%-73% o gynhyrchion confensiynol yng Ngogledd Ewrop. Tueddai'r bwlch cynnyrch rhwng amaethyddiaeth organig a chonfensiynol i gynyddu wrth i gynhyrchion confensiynol gynyddu.

Gwrthdarodd y canfyddiadau â rhai Badgley et al. (2007), a amcangyfrifodd y gymhareb cynnyrch organig ar gyfartaledd ar gyfer yr holl fathau o gynydu ar y lefel byd-eang yn 1.32 (hynny yw, byddai organig yn cynhyrchu 1325 o'r cynnyrch confensiynol). Nid yw'r amcangyfrif hwn yn ystyried gwahaniaethau rhanbarthol. Mae gwledydd sy'n datblygu yn tueddu i gael mewnbynau gwrtaith is lle mae gwrteithiau organig yn brif wrtaith. Roedd y casgliad yn seiliedig ar yr amcangyfrif fod y cyfanswm N a gyflenwyd gan gynydu gorchudd llysiuol yn llawer mwy na'r swm o N synthetig sy'n cael ei ddefnyddio ar hyn o bryd, ac o ganlyniad, gallai gefnogi cynhyrchion cyfatebol i amaethyddiaeth gonfensiynol sy'n cynhyrchu'n uchel. Rhagdybiodd yr awduron y gallai 100% o dir â'r dderbyn cnwd llysiuol ychwanegol, gan ddilyn y prif gnwd yn yr un flwyddyn. Fodd bynnag mae angen llawer o dir mwyaf cynhyrchiol y byd eisoes i gario cynydu byd lluosog mewn blwyddyn unigol i ateb y galw am fwyd.

Mae cynnwys cynydu llysiuol mewn cylchdroadau cynydu yn gallu bod yn anodd os ydynt yn cymryd lle cynydu cynhyrchiol. Mae cyflenwad digonol o faetholion eraill trwy ffynonellau eraill yn hanfodol - P, K a S. Mae'r cyflenwad maetholion i gynydu organig yn dibynnu mwy na chynydu confensiynol ar gau cylchoedd maetholion yn well.

Asesodd Smith et al. (2019) effeithiau cynhyrchu trosi tir 100% yn Lloegr a Chymru i ffermio organig, gan ddefnyddio model rhaglennu llinol â mewnbynau ar strwythur fferm, pridd a glawiad, cyflenwad/cymryd nitrogen i ffwrdd (N) a galw am borthiant da byw. Byddai gostyngiadau mawr mewn cynhyrchu yd a barlys, wrth i gynhyrchu grawniau llai fel ceirch a rhyg gynyddu. Gostyngodd da byw monogastrig a chynhyrchu llaeth yn sylweddol hefyd o 40-90% oherwydd y gostyngaid o fwydydd grawn a glaswelltir llai dwys, tra chynyddodd niferoedd eidion a defaid. Roedd lefelau cynhyrchu llysiuol yn gyffredinol i'w cymharu â'r rheini o dan ffermio confensiynol.

Dangosodd y canlyniadau ostyngiad mawr mewn cynhyrchu byd, gyda chyfanswm allbwn byd yn cael ei fynegi fel ynni metaboladwy yn syrthio i 64% o lefelau llinell sylfaen anorganig. Mae hyn yn is na chasgliad De Ponti et al. (2012). Dangosodd yr astudiaeth y byddai mwy o ddibynnu'n drymach ar fewnforion byd, ynghyd â'r angen am ddeiet a lleihau gwastraff byd.

Cymharodd Smith et al. (2019) y Dadansoddiadau Cylch Bywyd organig yn erbyn systemau confensiynol i Loegr a Chymru yn seiliedig ar yr astudiaeth fodol uchod. Cafodd allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr is eu rhag-weld o dan dyfu cynydu organig, i raddau helaeth oherwydd disodli gwrtaith N gan sefydlu N biolegol mewn leiau, gan arwain at lai o CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O o weithgynhyrchu gwrtaith a llai o N<sub>2</sub>O fesul uned cynhyrchu. Fodd bynnag byddai'r gosb cynhyrchu ond yn cael ei thalu yn ôl yn ariannol os oes gan y cynnyrch organig breimiwm pris. Cynhyrchodd cynhyrchu cig dofednod ac wyau allyriadau mwy o dan reolaeth organig oherwydd cymarebau trosi byd gwaeth, cyfraddau marwoldeb uwch a choledion gollwng helaethach o gymharu â systemau crwydro rhydd confensiynol ac wedi'u lletya'n llawn. Arweiniodd cynhyrchu llaeth, cig eidion a defaid organig at gyfanswm allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr fesul ardal uned, o ganlyniad i effeithlonrwydd cynyddol cynhyrchu porthiant o dan reolaeth organig, er bod cymeriant porthiant helaethach yn cynyddu cyfanswm cyfraniad CH<sub>4</sub>

. Hefyd byddai cyfraddau twf is anifeiliaid a chynhyrchion llaeth is yn cynyddu allyriadau fesul uned cynhyrchu.

Ar lefel genedlaethol, mae'r allyriadau uniongyrchol cysylltiedig â chynhyrchu cynydau organig a da byw yn llai ar gyfer ffermio organig o gymharu â chonfensiynol: o 20% i gnydau, 3% i dda byw a 6% yn gyffredinol. Fodd bynnag, byddai angen i'r gostyngiad mewn cynhyrchu gael ei dalu amdano gan gynhyrchu mewn gwledydd eraill - a'r allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr cysylltiedig, neu ostyngiad mewn gwastraff bwyd. Byddai cyfraddau dal a storio carbon gwell yn ddisgwyliedig ar gyfer ffermio organig oherwydd cylchdroadau cynydau hirach a leiau yn defnyddio llysiau porthiant, wrth i dir â'r gael ei drosi i laswelltir. Fodd bynnag, byddai dal a storio carbon yn cyrraedd terfyn ar ôl tua 20 mlynedd.

**I grynhoi, byddai systemau ffermio organig ar gyfer da byw - y prif ffermio yng Nghymru - yn arwain at ostyngiad bach mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr cyffredinol (4 i 6%) yn bennaf trwy'r defnydd o gnydau llysiau i sefydlogi nitrogen - lleihau allyriadau o weithgynhyrchu gwrtaith a lleihau'r allyriadau ocsid nitrus sy'n dilyn o daenu gwrtaith ar dir. Ond mae astudiaethau yn dangos y gallai fod gostyngiad o gynhyrchu llaeth, a chynhyrchu cig eidion a defaid yn aros yn fras debyg i lefelau presennol.**

## 5.6 Crynoldeb Gwrteithiau a ffrwythlonwyr

Pwysleisodd Li et al. (2013) na all effeithiolrwydd yr opsiynau unigol ar y cyd i liniau allyriadau N<sub>2</sub>O fod yn atodol yn unig. Mae dadansoddiad meintiol o lifau N a choleddion N<sub>2</sub> O mewn systemau ffermio llaeth yn datgelu bod gweithredu pecyn o fesurau i wella rheoli N yn gallu lleihau allyriadau N<sub>2</sub>O o systemau ffermio llaeth o hyd at 70% (Velthof a Oenema, 1997). Mae Tabl 5.1 yn crynhoi'r opsiynau lliniaru.

*Y prif opsiynau lliniaru ar gyfer lleihau ocsid nitrus yw*

### Llaeth

- Gwneud y gorau o ddeiet - lleihau protein amrwd mewn deietau i leihau allyriadau nitrogen trwy wrin a charthion,
- Systemau piswail - gorchuddion storffeydd gwrtaith, a thaenu gwrtaith trwy chwistrellu hafn ,
- Gosod gwrteithiau a ffrwythlonwyr yn glyfar gan dargedu gosod i anghenion planhigion yn seiliedig ar ddadansoddiad o briddoedd a gwrteithiau ac amseru yn berthynol i amodau tywydd.
- Gwneud y gorau o pH pridd ar gyfer yr ymateb gwrtaith mwyaf effeithlon
- Atalwyr nitreiddiad wedi'u taenu â gwrteithiau i leihau allyriadau ocsid nitrus,
- Sefydlogi nitrogen biolegol â llysiau o fewn glaswelltir wedi'i wella.

### Eidion

- Gorchuddion gwrteith ar gyfer gwrtaith buarth soldet
- Gosod gwrteithiau a ffrwythlonwyr yn glyfar gan dargedu gosod i anghenion planhigion yn seiliedig ar ddadansoddiad o briddoedd a gwrteithiau ac amseru yn berthynol i amodau tywydd.
- Gwneud y gorau o pH pridd ar gyfer yr ymateb gwrtaith mwyaf effeithlon
- Atalwyr nitridiad wedi'u taenu â gwrteithiau i leihau allyriadau ocsid nitrus,

- Sefydlogi nitrogen biolegol â llysiâu o fewn glaswelltir wedi'i wella.
- Gwneud y gorau o ddeiet - gostwng protein amrwd mewn deietau i leihau allyriadau nitrogen trwy wrin a charthion - yn gyfyngedig i fuchesau wedi'u lletya yn y gaeaf wedi'u bwydo â deietau rheoledig.

### Defaid

- Gosod gwrteithiau a ffrwythlonwyr yn glyfar gan daregedu gosod i anghenion cnydau, wedi'i gefnogi gan ddadansoddiad pridd a gwrtaith ac amseru yn berthynol i amodau tywydd.
- Gwneud y gorau o pH pridd ar gyfer yr ymateb gwrtaith mwyaf effeithlon
- Atalwyr nitreiddiad wedi'u taenu â gwrteithiau i leihau allyriadau - cyfyngedig i laswelltir wedi'i wella. Mae defnydd o Atalwyr Nitrogen ar gyfer aradloedd pori dwys yn aneffeithiol oni bai eu bod yn cael eu taenu'n aml iawn.
- Sefydlogi nitrogen biolegol â llysiâu ar laswelltir wedi'i wella.

Nid oes ymyriadau rheoli carthion defaid penodol.

### Pob sector - Âr a thir cnydau gwair

- Mae Balansau Maetholion Pridd y DU DEFRA yn dangos bod y nitrogen dros ben a osodir i briddoedd yn cyfateb i'r cyfanswm o wrtaith artiffisial a osodwyd ar gyfer 2019. Gallai gosod gwrteithiau artiffisial yn glyfar ar y cyd â thaenu gwrteithiau'n gywir, a sefydlogi biolegol â llysiâu ostwng gosod artiffisial o 50%. Dylai ffermwyr ddilyn yr argymhellion a roddwyd yn AHDB RB209 yn agos

*Y prif opsiynau lliniaru ar gyfer lleihau methan yw*

### Llaeth ac eidion

- gorchuddion piswail a charthion solid
- asideiddio piswail - defnyddir yn Nenmarc i drin 20% o biswail. Mae'n gofyn am reolaeth dda o faterion iechyd a diogelwch.
- cipio methan mewn llety a merlynnoedd piswail dan orchudd
- treulio anaerobig - â thechnoleg bresennol, yn gyfyngedig i unedau llaeth mawr - mae ganddo gostau cyfalaf a galwadau gweithredol arwyddocaol

Tabl 5.1 Dadansoddiad Cryno o Opsiynau Lliniaru

Opsiwyn	Sylwadau	Effeithiolrwydd mewn lleihau allyriadau	
		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Deiet - lleihau protein	Cyfyngedig i ddognau wedi'u bwydo i wartheg - nid yn pori, anodd i'w fodelu	Dim	-20%
Gorchuddion storfeydd gwrtaith	Yn neilltuol o effeithiol os yw CH <sub>4</sub> yn gallu cael ei gipio a'i losgi	- 10 to -60%	Dim
Tomenni carthion solid wedi'u cywagu/gorchuddio	Mae'n lleihau ocsid nitrus yn bennaf o amodau erobig	Bach	-30%
Gwahanu solid hylif	Gweithdrefn ychwanegol i ffermwyr	-50% to -100%	Mae'n cynyddu allyriadau
Treuliad anaerobig	Opsiwyn drud, mae'n gofyn am reoli proses yn dda Rheoliadau gwastraff os yn mewnforio gwastraff	-50 to -90%	Dim
Asideiddio pisweiliau	Effeithiol ar gyfer lleihau allyriadau NH <sub>3</sub> . Trafod asid yn anodd	-96%	Mae'n cynyddu allyriadau
Taenu gwrtaith - chwistrellu ac ymgorffori	Gwelliannau amrywiadwy - yn dibynnu ar amodau pridd Mae'n lleihau allyriadau NH <sub>3</sub> a N <sub>2</sub> O anuniongyrchol	Dim	Amrywiadwy
Atalwyr nitreiddio	DCD a NBPT effeithiol ar gyfer gosod gwrtaith a ffrwythlonwr Canlyniadau cymysg ar gyfer anifeiliaid pori, a diraddiad cyflym o DCD mewn amodau cynnes	Dim	-42% to -20%
Math o wrtaith	Dim effeithiau canfyddadwy	Dim	Dim
Effeithlonrwydd ffrwythlonwr a gwrtaith N	Gostyngiadau sylweddol posibl	Dim	-50%
Gwella draenio tir	Gostyngiadau sylweddol yn bosibl mewn ardaloedd glawiad uchel. Drud	Dim	-50% to -80%
Sefydlogi biolegol â llysiâu	Dadleoli sylweddol o osod gwrtaith Allyriadau isel Drud ar gyfer tir â'r lle mae llysiâu'n disodli cnydau eraill.	Dim	-11% to -23%
Mabwysiadu systemau sy'n llai dibynnol ar fewnbynau	Arbed allyriadau yn gysylltiedig â sefydlu biolegol Allbynau is	Dim	4-6%

Yn seiliedig ar dadansoddiad cryno uchod, mae Tabl 5.2 yn crynhoi effaith gyffredinol yr opsiynau lleihau.

Tabl 5.2 Crynodeb o Leihau Allyrru o Opsiynau Lliniaru Gwrtaith a Ffrwythlonwr

Mesur	Arbed allyrru (kt CO <sub>2</sub> e)	
Effeithlonrwydd ffrwythlonwr a gwrtaith N - 50% o ostyngiad ffrwythlonwyr	236 (N <sub>2</sub> O)	
Atalwyr N - 40% o leihad ar gyfer ffrwythlonwyr plws pob gwrtaith sy'n weddill	138 (N <sub>2</sub> O)	
Lleihau allyriadau methan carthion o lety a storfeydd carthion o 50% trwy asideiddio, a chipio methan neu dreuliad anaerobig	205 (CH <sub>4</sub> )	
Cyfanswm gostyngiad N <sub>2</sub> O	374.	Gostyngiad o 23%
Cyfanswm gostyngiad CH <sub>4</sub>	205	6% o ostyngiad

**Dyma'r posibiladau technegol mwyaf sy'n gofyn am eu mabwysiadu'n gyffredinol yng Nghymru, ac nid rhai sy'n gallu cael eu darparu ar unwaith. Mae Pennod 6 yn adolygu**



**opsiynau lliniaru rheoli da byw a allai arwain at ostyngiad y nifer o anifeiliaid sy'n cnoi cil sy'n cynhyrchu carthion. Nid yw lleihau allyriadau o wrtaith yn sgil gostyngiad un llai o anifeiliaid cnoi cil wedi cael ei amcangyfrif.**

**Mae Pennod 7 yn trafod agweddau economaidd ac ymarferol yr opsiynau hyn. Mae hyn yn cynnwys asesiadau economaidd ar gyfer cyfraddau derbyniad sy'n ffurfio sail blaenamcanion UKCCC (Eory et al, 2020).**

## 6 FFERMIO DA BYW - LLAETH, CIG EIDION A DEFAID

### 6.1 Cyflwyniad

Mae allyriadau da byw yn rheoli allyriadau amaethyddol yng Nghymru (Rhestr 2018). Mae gwartheg yn allyrru 46% o gyfanswm allyriadau amaethyddol a defaid yn allyrru 19%. Prif gydrannau'r allyriadau yw methan ac ocsid nitrus. Y prif ffynonellau methan yw allyriadau enterig o'r blaenstumog ac allyriadau o storio carthion. Mae allyriadau eraill o ocsidau nitrus yn codi o ddyddodi tail ac wrin, a'r gosodiad o ffrwythlonwyr a gwrteithiau (gweler Pennod 5). Mae'r bennod hon yn disgrifio opsiynau lliniaru ar gyfer allyriadau methan enterig.

Mae allyriadau enterig o fethan yn deillio o'r broses dreulio mewn gwartheg a defaid. Mae bacteria anaerobig, protosoa, ffyngau, ac archaea methanogenig yn eu blaenstumog yn torri carbohydradau i lawr i foleciwlau syml sy'n gallu cael eu treulio gan yr anifeiliaid. Mae methan yn is-gynnyrch o'r broses hon ac mae'n cael ei ryddhau'n bennaf trwy'r geg a'r ffoenau. Mae rhywogaeth sydd ddim yn cnoi cil, megis moch, hefyd yn cynhyrchu methan ond mae symiau'n llawer is o gymharu. Mae cynhyrchu methan yn cynrychioli colled ynni a amlyncir i mewn fel bwyd, yn hytrach na chael ei gymhathu yn yr anifail ar gyfer cynhyrchu. Mae hyd at 12% o'r ynni gros a amlyncir gan yr anifail yn cael ei golli y ffordd hon (Johnson a Johnson (1995)).

Un o'r problemau o ddehongli opsiynau lliniaru yw'r dull o gyflwyno data lleihau methan. Mae allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn cael eu mynegi ar sail cymeriant ynni treuliadwy neu fesul uned o gynnyrch anifail (hynny yw., Dwsyter Allyrru, EI). Mae Dwyster Allyrru yn fwyaf gwerthfawr oherwydd bod hyn yn adlewyrchu'n fwyaf cywir effaith ymarfer lliniaru penodol ar gymeriant porthiant a chynhyrchiant anifail (Gerber et al, 2013).

Mae strategaethau allyrru wedi'u targedu ar leihau methan wedi cael eu hymchwilio gan ddefnyddio'r dulliau canlynol

- (i) Cyfansoddiad deiet
- (ii) Gwelliant genetig a rheoli da byw
- (iii) Ychwanegion deietegol

Mae'r ddau ddull cyntaf yn seiliedig ar gynyddu effeithlonrwydd cynhyrchu er mwyn lleihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr tra'n cynnal y lefel o gynhyrchu. Mae strategaethau nodedig yn y grŵp hwn yn cynnwys cynyddu effeithlonrwydd porthiant a gwella statws iechyd y fuches neu'r ddiadell, sy'n gweithredu fel strategaethau ennill bob tro, gan wella'r cynaliadwydd amgylcheddol ac elw economaidd. Mae'n rhaid i'r rhain fod yn ymwybodol o'r anghenion i gynnal lles anifeiliaid er mwyn i anifeiliaid ffynnu. Mae'r trydydd dull yn seiliedig ar strategaethau i leihau methanogenesis gan ychwanegion amrywiol sy'n atal ffurfiad biogemegol methan.

Gwnaeth Capper et al, (2009) y sylw "nad oes 'bwled hudol' yn bodoli ar hyn o bryd sy'n gallu cael ei chymhwysu i gydran neu broses unigol o fewn y system laeth i leihau effaith amgylcheddol, heb greu cyfnewidiadau negyddol posibl rhywle arall yn y system. Gellir dod i gasgliad tebyg am y sectorau cig eidion a defaid.

Mae gwella effeithlonrwydd cynhyrchiol (allbwn fesul uned o fewnbwn adnoddau) yn gwasgaru allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr dros unedau cynhyrchu, gan ganiatáu i'r cynnyrch gael ei gynhyrchu ar gymhareb is o allyriadau fesul uned cynhyrchu (Hyland et al, 2016). O fewn systemau llaeth, mae gofyn pob anifail am faetholion i'w gynnal yn gweithredu fel

allyriad sefydlog tra bo cynhyrchu (tyfu, beichiogrwydd neu laethiad) yn creu rhagor o allyriadau. Mae'r gofynion hyn yn gysylltiedig â chostau economaidd yn ogystal ag amgylcheddol yn nhermau mewnbynnau adnoddau (porthiant, dŵr, tir cynydu, gwrtaith tanwyddau ffosil) a Nwyon Tŷ Gwydr. Mae egwyddorion tebyg yn bodoli ar gyfer cynhychu cig eidion lle mae cynyddu'r cyfraddau o fagu pwysau yn golygu bod y gyfran o gyfanswm allyriadau o gynnal yr anifail yn cael ei leihau.

## 6.2 Opsiynau Lleihau Allyriadau

### 6.2.1 Cyfansoddiad deiet

Mae amrediad eang o fathau o fewnbynnau porthiant ar gyfer anifeiliaid sy'n cnoi cil, a chyfradd uchel o borthiannau yn gwneud y deiet cyfan. Mae swm yn ogystal ag ansawdd y porthiant a dderbynnir yn rheoleiddio'r graddau o gynhyrchu ac allyrru  $\text{CH}_4$ . Mae methan yn deillio'n bennaf o dreulio ffibr, felly mae deietau dwys yn seiliedig ar rawnfwydydd, prydu ac olewau yn lleihau allyriadau o gymharu â deietau o'r un cynnwys ynni yn seiliedig ar borthiant. Fodd bynnag mae gan y budd hwn o borthiannau anifeiliaid dwys anfanteision yn ei ddibyniaeth ar ffynonellau bwyd sydd ddim yn lleol ag allyriadau cysylltiedig - er enghraifft, bwyd ffa soia.

Mae cynyddu'r lefel o ddwysfwydydd yn y deiet yn lleihau'r gyfran o ynni deietegol a drosir i  $\text{CH}_4$  ac mae'n lleihau pH blaenstumog (Blaxter a Clapperton 1965), yn bennaf oherwydd y newid cysylltiedig mewn swbstradau wedi'u heplesu o ffibr i startsh. Yn ogystal â lleihau  $\text{CH}_4$  enterig mewn perthynas â chymeriant sylwedd sych (DMI), Mae bwydo dwysfwd hefyd yn gwella perfformiad anifail. (Beauchemin et al. 2008).

Mae'r defnydd o ddeietau yn seiliedig ar rawn cyfoethog o ran startsh yn effeithiol ar gyfer cynhyrchu ac allyriadau  $\text{CH}_4$ . Mae startsh yn cynhyrchu mwy o bropioad nac asetad sy'n lleihau gweithgaredd methanogenau yn y pen draw (Hassanat a Benchaar, 2013;). Oherwydd lleihad y swbstrad eplesadwy, mae'r sylwedd organig is a diraddiad ffibr yn lleihau cynhyrchu  $\text{H}_2$  ac felly allyriadau  $\text{CH}_4$  (Alstrup et al., 2015).

Mae defnydd porthiannau treuliadwyedd uwch yn ffordd effeithiol o liniaru  $\text{CH}_4$ . Mae cynaeafu silwair a gwellt yn gynnar yn bwysig i gynyddu treuliadwyedd. Mae defnydd o borthiant teuliadwy iawn fel silwair llysiâu yn neiet yr anifail sy'n cnoi cil yn lleihau'r eplesu enterig a chynhyrchu carthion, ac felly'n lleihau allyriadau  $\text{CH}_4$  (Hristov et al., 2013). Mae hyn oherwydd bod gan borthiant llysiâu gynnwys ffibr is o gymharu â phorthiant gwair.

Adolygodd Van Gastellan et al. (2019) astudiaethau a ddangosodd effeithiolrwydd strategaethau lliniaru  $\text{CH}_4$  cysylltiedig â phorthiant, gan gynnwys bwydo gwair mwy treuliadwy iawn (llystyfiant neu silwair) neu ddisodli mathau porthiant gwahanol â silwair india corn, Mae'r strategaethau hyn yn fwyaf effeithiol ar gyfer gwartheg llaeth, yn effeithiol i wartheg cig eidion i ryw raddau, ond yn ymddangos i gael effeithiau bach neu ddim o gwbl mewn defaid.

Mae gan fridio planhigion rôl mewn addasu porthiant ac o bosibl mewn lleihau allyriadau methan tra'n gwella perfformiad anifail y rhai sy'n cnoi cil (Abberton et al., 2007). Mewn astudiaethau o weiriau Siwgr Uchel (HS), dangosodd Moorby et al. (2006) fod cymeriant Sylwedd Sych cynyddol gan wartheg llaeth a gafodd weiriau HS yn arwain at allbynnau protein llaeth cynyddol. Canfu Misselbrook et al. (2012) fod cyfanswm allyriadau nwyon tŷ gwydr wedi'u lleihau hyd at 19% y litr o laeth, trwy allyriadau mewn  $\text{CH}_4$  yn ogystal â  $\text{N}_2\text{O}$ .

Fodd bynnag mewn gwrthgyferbyniad, ar gyfer lleihau methan, daeth adolygiad gan Parsons et al. (2011) i'r casgliad fod y rhagolygon ar gyfer lleihau allyriadau CH<sub>4</sub>, fesul hectar neu fesul uned cymeriant ynni neu gynnyrch anifail, a gweiriau HS yn ansicr. Awgrymodd arbrawf efelychu fod gweiriau HS yn gallu cynyddu allyriadau CH<sub>4</sub> mewn gwirionedd (Ellis et al., 2012).

Mae a yw bwydo mwy o rawn yn lleihau allyriadau fferm Nwyon Tŷ Gwydr net yn ansicr, o ystyried y colledion posibl o garbon pridd o amaethu a'r allyriadau ocsid nitrus o weithgynhyrchu ac osod gwrtaith. Mae'r cyfanswm allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn dibynnu ar y system ffermio (Beauchemin et al., 2010). Hefyd mae'r cwmpas ar gyfer cynyddu'r swm o rawn sy'n cael ei fwydo i anifeiliaid sy'n cnoi cil yn gyfyngedig ac mae bwydo grawn yn anwybyddu pwysigrwydd anifeiliaid sy'n cnoi cil mewn trosi porthiannau ffibrus, sy'n anaddas i gymeriant dynol uniongyrchol, i'r ffynonellau proteïn ansawdd uchel llaeth a chig (Garnett, 2009) - ffactor pwysig i amaethyddiaeth Cymru sy'n seiliedig yn bennaf ar wair.

Mae'r defnydd o ddwysfwydydd yn gallu cael ei gyfiawnhau ar seiliau maethol yn nhermau diwallu angen anifail am ynni, yn enwedig mewn beichiogrwydd hwyr (defaid) llaethiad cynnar (gwartheg llaeth) a chyfnod olaf tyfu (gwartheg cig eidion). Ymhellach, mae sefyllfaoedd penodol (e.e. y fuwch laeth sy'n cynhyrchu llawer) lle nad yw'r gofyn am brotein metaboladwy yn gallu cael ei ateb gan synthesis proteïn microbig yn y flaenstumog ac mae cyflenwad ychwanegol o brotein heb ei ddiraddio yn y flaenstumog a/neu asidau amino hanfodol yn ofynnol. Mae hyn yn arbennig o wir am fethionin a lysin lle mae ychwanegiad wedi'i ddiogelu wedi cael ei ddangos i gynyddu cynnyrch llaeth (Nichols et al., 1998). Ar ddeietau porthiant uchel mae histidin yn aml yn gyntaf yn cyfyngu oherwydd y ddibyniaeth helaethach ar brotein microbig (Lee et al., 2014, Wilkinson a Lee, 2017). Mae'n bwysig i gydnabod bod dwysfwydydd fel arfer yn cynnwys proteinau ac olewau amrywiol o ffynonellau trofannol sydd ag allriadau Nwyon Tŷ Gwydr cysylltiedig.

### **I grynhoi, ar gyfer llaeth gwartheg, daeth Knapp et al. i'r casgliad fod effeithlonrwydd porthiant yn cael ei gyflawni orau trwy**

- fwydo carbohydradau startshllyd i ychwanegu at borthiannau
- gan fwydo porthiannau o ansawdd uchel â threuliadwyedd uchel wedi'u cyflawni gan gynaeafu cynnar a dulliau cadwraeth da, ar y cyd â phori gwell trwy ailhadu a threfniadau pori wedi'u rheoli
- yn prosesu'r porthiannau i'r eithaf trwy dorri i gynyddu treuliad sylwedd sych.

Mae gan fwydo a maeth y potensial i liniaru CH<sub>4</sub>enterig/uned cynhyrchu llaeth mewn gweithrediadau llaeth dwys o 2.5-15%. I wartheg cig eidion a defaid, porthiannau o ansawdd uchel yw'r ffactor pwysicaf gan fod atodiadau porthiant amgen yn cael eu cyfyngu'n bennaf i anifeiliaid wedi'u lletya. Mae bwydo deietau dwysfwyd uwch fodd bynnag yn arwain at wrthdrawiadau â blaenoriaethau cymdeithasol eraill, megis uchafu'r cnydau grawn sydd ar gael ar gyfer cymeriant dynol uniongyrchol.

**Ar gyfer amcangyfrifon y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr, byddai rheoli deiet yn anodd iawn i'w fonitro oherwydd chmhlethdod casgu data gweithgaredd ar gyfer deietau amrywiol.**

### **6.2.2 Gwella Genetig a Rheoli Da Byw**

Mae nodau bridio, gan gynnwys nodweddion cynhyrchu a pheidio cynhyrchu, wedi dod yn norm mewn llawer o rywogaethau da byw. Mae dethol fel arfer yn seiliedig ar gyfuniad o gynhyrchu a 'ffitrwydd' (iechyd, ffrwythlondeb, hirhoedledd). Mae nodau bridio yn gallu cael

eu llunio mewn nifer o ffyrdd gan gynnwys y dull poblogaidd o bwysu a mesur nodweddion trwy eu gwerth economaidd cymharol (REV). Mae'r REVau hyn yn tueddu i gael eu cyfrifo trwy amcangyfrif y gost economaidd ymylol neu fudd i'r system o newid uned yn y nodweddion sy'n cael eu harchwilio.

Bridio dethol yr anifail yw un o'r dulliau mwyaf cynaliadwy o leihau allyriadau CH<sub>4</sub> enterig o anifeiliaid sy'n cnoi cil (Wall et al., 2009) yn seiliedig ar yr egwyddor o wella cynhyrchiant anifail, hynny yw, cynhyrchu ac ansawdd cig a llaeth. Mae gwella da byw yn enetig yn cynhyrchu newidiadau parhaol a chronnol mewn perfformiad. Mae cymhellion economaidd i ddefnyddio stoc bridio wedi'i wella, felly mae gostyngiadau mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn gallu cael eu cyflawni heb newidiadau mawr mewn ymarferion ffermio presennol.

Mae tri llwybr mae gwelliant genetig yn gallu helpu i leihau allyriadau fesul kg o gynnyrch trwyddynt (wall et al, 2009).

1. Cynhyrchiant ac effeithlonrwydd gwell yn yr anifail;
2. Lleihau gwastraff (e.e. didoli anwirfoddol, cylchoedd atgynhyrchiol gwag) ar lefel buches neu braidd;
3. Dethol yn seiliedig ar lefelau allyrru ar lefel anifail unigol, yn dibynnu ar ddulliau monitro effeithiol, a rhagdybiaethau am etifeddadwyedd y nodweddion lleihau methan.

Mae dethol ar gyfer cynhyrchiant ac effeithlonrwydd yn helpu i liniaru cynhyrchu Nwyon Tŷ Gwydr fel y trafodwyd yn barod (Capper et al, 2009). Yn gyntaf, mae cynhyrchiant uwch yn gyffredinol yn arwain at effeithlonrwydd gros uwch (trosi porthiant i gynnyrch) o ganlyniad i leihau cost cynnal yr anifeiliaid cynhyrchiol (ac anghynhyrchiol). Mae gan ddethol ar gyfer cynhyrchu effeithlon fudd clir mewn lliniaru allyriadau. Mae gan ddethol ar gyfer anifeiliaid sy'n cynhyrchu'n uwch effeithiau dilynol ar nodweddion 'ffitirwydd' hanfodol, sydd hefyd yn effeithio ar gynaliadwyedd. Felly, mae'n bwysig i ystyried ystod ehanagach o nodweddion mewn mynegeion dethol a'r cydweddiad â nodweddion system eraill i sicrhau cynaliadwyedd tymor hirach.

Yn ail, mae lleihau gwastraff yn galluogi lefel benodol o gynhyrchu i gael ei chyflawni â llai o anifeiliaid sy'n cynhyrchu'n uwch a'u dilynwyd. Yn achos buches laeth y DU, cafodd yr un swm o laeth ei gynhyrchu yn 2005 o filiwn yn llai o anifeiliaid na 20 mlynedd yn gynharach, oherwydd cynyddodd cynnyrch llaeth blynyddol y fuwch ar gyfarataledd o 5000 i bro 7000 litr, cynnydd o 2% y flwyddyn (Gill et al, 2010). Cyfrifodd Garnsworthy (2004) fod y cyfanswm methan (t/y flwyddyn) yn gysylliedig â chynhyrchu un miliwn litr o laeth o wartheg sy'n cynhyrchu 9000 litr/y fuwch y flwyddyn yn ychydig dros 50% o'r methan a fyddai'n gysylltiedig â gwartheg sy'n cynhyrchu 6000 litr/y fuwch y flwyddyn, gan ystyried y gofynion maethol gwahanol. Mae mesurau rheoli da byw sy'n arbed allyriadau, yn cynnwys lleihau bwrw llo cyntaf gwartheg i 24 mis yn hytrach na 30 mis, a lleihau oedran lladd i wartheg cig eidion.

Mae'r drydedd ffordd o ddefnyddio geneteg i leihau allyriadau methan yn seiliedig ar y cynsail fod y nodweddion yn etifeddadwy. Pwysleisiodd Pinares-Patine et al. (2013) yr angen i ddangos cod amrywiad unigol ailadroddol yn y nodwedd hon a bod cyfran o'r amrywiad hwn yn cael ei etifeddu'n enetig. Gwnaethant ddangos fod methan gros y dydd yn ogystal â chynnyrch methan (g CH<sub>4</sub> /kg Cymeriant Sylwedd Sych) yn nodweddion etifeddadwy ac ailadroddadwy.

Hawliodd Pickering et al. (2013) mai'r ffordd fwyaf gynaliadwy o bosibl o leihau CH<sub>4</sub> enterig o anifeiliaid sy'n cnoi cil yw trwy ddadansoddiadau genomig i gynorthwyo dethol genetig. Mae

ffynonellau o amrywiad systemig mewn cynhyrchu CH<sub>4</sub> gan anifail unigol yn cynnwys: cyfanswm cymeriant porthiant, cyfansoddiad maetholion y porthiant a fwytir, cyfran a chyfradd eplesu'r porthiant hwnnw yn y flaenstumog, amllder bwydo, maint y flaenstumog a chyfradd trosglwyddo'r sylwedd treuliedig o'r flaenstumog, cyflwr corfforol yr anifail ac amrywiaeth rhwng anifeiliaid unigol gan gynnwys rhwng teuluoedd cenhedlu.

Mae ymchwil diweddar mewn gwartheg cig eidion (Donoghue et al., 2015) a defaid (Pinares-Patiño et al., 2013) yn gynyddol gefnogol i nodweddion CH<sub>4</sub> yn etifeddadwy â gwelliant cyflawnadwy trwy ddethol uniongyrchol. Cwblhaodd Wallace et al. (2019) astudiaeth Ewropeaidd 1000 o wartheg i ddeall i ba raddau mae micro biomau anifeiliaid sy'n cnoi cil yn gallu cael eu rheoli gan yr anifail lletyol ac i adnabod nodweddion echel microbiom blaenstumog y lletywr sy'n pennu cynhyrchiant ac allyriadau methan. Ar sail penderfynyddion genetig y microbau etifeddadwy, daethant i'r casgliad y dylai fod yn bosibl i wneud y mwyaf o'u helaethrwydd trwy raglenni bridio dethol. Mae'r canlyniadau yn debygol o fod yn gymwysadwy i anifeiliaid cig eidion a rhywogaethau eraill sy'n cnoi cil.

O gymharu â geneteg i wella perfformiad, lle mae canlyniadau'n gallu cael eu cofnodi a'u dadansoddi'n gymharol hawdd, mae'n bwysig i nodi bod nodweddion bridio ar gyfer lleihau methan yn anos i'w hasesu. Mae hyn oherwydd bod mesur uniongyrchol o holl ffynonellau allyriadau methan o anifeiliaid unigol (a anadlir allan gan yr anifail oherwydd eplesu enterig, torri gwynt ac i raddau llai o garthion) yn gallu profi'n anodd ac mae wedi gofyn am dechnegau dadansodol amrywiol. Mae'r heriau arbrofol yn cynyddu ar gyfer monitro grwpiau mawr o anifeiliaid dros gyfnodau hirach o amser - gofyniad i gael data cadarn i seilio penderfyniadau bridio arnynt.

O ganlyniad, mae dangosyddion dirprwyol o allyriadau methan wedi cael eu defnyddio. Dangosodd Hegarty et al. (2007) fod cynhyrchu methan enterig gostyngol y dydd mewn anifeiliaid cig eidion a ddetholir ar gyfer cymeriant porthiant gweddilliol is (RFI). Mae RFI gostyngol yn debyg i ddethol ar gyfer effeithlonrwydd porthiant uchel gan fod anifail yn bwyta llai ond yn cynnal cyfradd dyfu debyg (effeithlonrwydd Porthiant net uchel) a, felly, mae angen llai o borthiant i gynhyrchu uned o allbwn. Dangosodd yr ymchwil y posibiladau ar gyfer dethol allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr gostyngol trwy ddethol anifeiliaid, sy'n defnyddio llai o borthiant na'r cyfartaledd i gyflawni lefel benodol o berfformiad. Mae hyn yn cydberthyn ag anifeiliaid sy'n cynhyrchu llai o fethan.

Fel arfer, mae bridio dethol yn gallu cyflawni cyfraddau blynyddol o ymateb o rhwng 1% a 3% o'r swm cymedrig yn y nodwedd (neu fynegai) o dan ddetholiad (Simm et al. 2004). Mae astudiaethau modelu diweddar yn y DU gan Genesis-Farady (Jones et al., 2008) wedi dangos bod dethol yn y gorffennol ar gyfer nodweddion cynhyrchu fel cyfradd dwf, cynhyrchu llaeth, ffrwythlondeb ac effeithiolrwydd trosi porthiant wedi arwain at ostyngiadau mewn cynhyrchu Nwyon Tŷ Gwydr fesul uned cynnyrch da byw o tua 1% y flwyddyn. Mae'r gostyngiadau hyn wedi bod fwyaf yn y rhywogaethau hynny lle mae'r enillion genetig mwyaf wedi cael eu cyflawni - dofednod, gwartheg llaeth a moch. Fodd bynnag, roedd y gostyngiadau yn llai o lawer mewn gwartheg cig eidion a defaid. Roedd hyn oherwydd y cyfraddau gwaeth o welliant genetig ar draws y boblogaeth yn y sectorau hyn a rhannu gwybodaeth yn wael gan fridwyr elit i'r poblogaethau masnachol (Gill et al. 2010).

Daeth Knapp et al. (2014) i'r casgliad ar gyfer buchesi llaeth dwys, fod dethol genetig ar gyfer effeithlonrwydd porthiant, goddef gwres, gwrthsefyll afiechyd, a ffrwythlondeb yn gallu cryfhau dethol ar gyfer cynnyrch llaeth mewn lleihau CH<sub>4</sub> enterig/cynnyrch llaeth a'r potensial o ostyngiadau 9 i 19%. Mae cyflawni gostyngiadau enterig trwy ddethol genetig yn gofyn am reolaeth gefnogol briodol, gan gynnwys bwydo a maethiad, iechyd, atgynhyrchu, a chynllun cyfleuster lletya.

I roi amcangyfrif o'r amserlen ar gyfer gwelliant genetig i leihau allyriadau methan, modelodd Alford et al. (2005) y gostyngiad o RFI o ganlyniad i ddefnyddio rhagor o deirw effeithlon o ran porthiant ar gyfer buches eidion Awstralia. Roedd hyn er mwyn efelychu lledaeniad genynnau RFI gwell trwy'r fuches fridio dros 25 mlynedd. Ar gyfer buches unigol sy'n mabwysiadau, cafodd y lleihad methan blyneddol ym mlwyddyn 25 gael ei rag-weld i fod 15.9% yn is na blwyddyn 1, hynny yw, cyfartaledd o 0.64% o ostyngiad/y flwyddyn.

**I grynhoi, gallai geneteg a rheoli da byw ddarparu arbedion allyriadau o 9-19% ar raddfa o 0.6-3% y flwyddyn, ond ar gyfer gwartheg eidion gall y gostyngiad fod yn llai. Ar gyfer defaid, awgrymodd Cottle a Conington, (2012) y gall geneteg leihau allyriadau methan hyd at 30% dros 20 mlynedd an defaid – yn dibynnu ar y cymellion economaidd i leihau allyriadau.**

### 6.2.3 Ychwanegion deietegol

Mae ystod o ychwanegion wedi cael eu profi i leihau cynhyrchu methan yn y flaenstumog. Mae rhai astudiaethau wedi dangos addewid mewn astudiaethau labordy, ond nid ydynt wedi cael eu profi *mewn creadur byw*.

#### 6.2.3.1 Olewau

Mae defnydd o olewau hanfodol wedi cael eu hadolygu gan Benchaar a Greathead (2011). Mae'r echdynion planhigion a metabolion eilaidd fel ei gilydd yn lleihau cynhyrchu CH<sub>4</sub> mewn anifeiliaid sy'n cnoi cil trwy wella effeithlonrwydd porthiant, defnydd maetholion, lladd a diraddiad gostyngol proteinau deietegol. Mae echdynion planhigion fel asidau trwythedig cadwyn ganolig ac addaswyr blaenstumog yn cynyddu effeithlonrwydd trosi porthiant 6% ac felly'n lleihau cynhyrchu CH<sub>4</sub> enterig (Moate et al., 2011). Mae newid porthiant deietegol â 1% braster amrwd yn gallu lleihau allyrru CH<sub>4</sub> o hyd at 5%. Er bod newidiadau oherwydd rheoli deiet yn dymor byr ac yn targedu newidiadau mewn allyriadau enterig yn unig, mae angen rhagor o ymchwil i gynaliadwyedd tymor hir ychwanegolion deiet.

#### 6.2.3.2 Lipidau

Mae lipidau yn is-gynhyrchion olew uchel o'r diwydiannau biodanwydd, grawniau distyllwyr gwlyb a phrydau hadau olew wedi'u hechdynnu'n fecanyddol a ymgorfforir i mewn i borthiannau. Yn y DU, un prif ffynhonnell yw cacen rêp. Yn seiliedig ar ddata a adolygwyd gan Hristov et al. (2013), daethpwyd i'r casgliad y byddai cynnwys lipidau mewn deietau anifeiliaid sy'n cnoi cil yn lliniaru cynhyrchu CH<sub>4</sub>, ond y gall hefyd leihau cymeriant porthiant ac, o ganlyniad, cynhyrchiant anifeiliaid. Felly, mae o leiaf rhan o'r effaith lliniaru a adroddir â lipidau yn ganlyniad o gymeriant gostyngol o gabohydrad deietegol, sy'n ganlyniad o DMI gostyngol o ganlyniad i lipidau yn cymryd lle carbohydrad yn y deiet.

Mewn astudiaeth â gwartheg eidion yn yr Alban, cafodd gostyngiad 7.5% mewn allyriadau methan ei arsylwi, gan ddefnyddio cacen rêp (Cooke et al, 2014). Mewn metaddanasoddiad arall o fuchesi llaeth yng Nghanada (Jayasundara et al. 2016) canfu'r astudiaeth ostyngiad o 9% mewn allyriadau methan.

#### 6.2.3.3 Taninau

Mae taninau hefyd yn gallu lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> enterig. Mae taninau fel arfer yn cael eu canfod mewn crynodiadau isel mewn llysiâu porthiant fel pys ceirw'r mynydd, pys ceirw mwy y mynydd, a ffacbys cyffredin. Mae echdynion tannin hefyd yn cael eu hymgorffori i borthiannau wedi'u fformiwleiddio. Mae barn gyffredinol wedi bod fod taninau yn cael effaith

negyddol ar berfformiad anifeiliaid - er enghraifft, gall cynhyrchu llaeth gael ei gyfaddawdu (Beauchemin et al. 2007). Mewn adolygiad o astudiaethau, adroddodd Aboagya a Beauchemin (2019) ostyngiad methan o 6-68% *mewn anifeiliaid byw*. Mae'r amrywioldeb mawr yn digwydd oherwydd y mathau amrywiol gwahanol o dannin - y crynodiad, deiet a math o anifail. Daeth yr adolygiad i'r casgliad fod ymchwil ar effeithiau taninau ar gyfer lliniaru CH<sub>4</sub> mewn cam cynnar ac mae'n gwarantu rhagor o ymchwilio.

#### 6.2.3.4 *Ïonofforau*

Mae ïonoffor - morensin, wedi cael ei ddefnyddio'n helaeth fel ychwanegyn porthiant ar gyfer da byw sy'n cnoi cil (Kobayaschi, 2010). Mae ïonofforau yn gyfansoddion sy'n ffurfio cymhlethion toddadwy mewn lipid sy'n trosgwyddo ïonau ar draws menweoedd biolegol. Mae monensin yn hyrwyddo cynhyrchu cymesur yn y flaenstumog. Mae cyflwyno monensin yn y tymor hir mewn gwartheg llaeth yn gallu lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> o 7% heb effeithio ar gynhyrchiant llaeth (Odongo et al., 2007). Mae monensin yn gallu cael ei ddarparu fel blaengymysgedd wedi'i ychwanegu at y deiet, fel capswil gollwng araf wedi'i osod yn y flaenstumog neu, yn gynyddol mewn systemau seiliedig ar borfa, yn y cyflenwad dŵr yn y padog gan ddefnyddio ffurf o fonensin a gynlluniwyd ar gyfer systemau dosbarthu dŵr mewn llinell. Mae pryderon nad yw effeithiau ataliol ïonofforau ar fethanogenesis yn parhau dros maser, fel y trafodwyd gan Grainger et al. 2008.

#### 6.2.3.5 *Brechlynnau 6*

Daeth Goopy (2019) i'r casgliad fod ychydig iawn o dystiolaeth wirioneddol am effeithiolrwydd brechlynnau methanogen ar gynhyrchu methan enterig mewn creaduriaid byw. Mae rheoliadau hefyd yn cyfyngu ar y defnydd o'r opsiwn lliniaru hwn.

#### 6.2.3.6 *Atalawyr ensymau*

Mae cyfansoddion sy'n targedu methanogenesis yn uniongyrchol yn y flaenstumog fel bromoethan sylffonad (BES) a bromopropan sylffonad (BPS) wedi cael eu profi. Mae'r cyfansoddion hyn yn atalwyr penodol o fethyl-coensym M redyctas (MCR), ensym sy'n cymryd rhan mewn ffurfio methan o archaea methanogenig. Fodd bynnag, mae BES wedi cael ei ystyried fel sylwedd gwenwynig (Grawert et al. 2014), sy'n atal ei ddefnydd fel ychwanegyn porthiant.

Arweiniodd astudiaethau o nitrogyfansoddion ar gyfer lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> blaenstumog at astudio 3-nitro-ocsipropanol (3-NOP) sy'n atal MCR yn benodol (Duval a Kindermann 2012). Profodd Hristov et al. (2015) effaith 3-NOP ar allyrru methan enterig mewn gwartheg Holstein oedd yn cynhyrchu llaeth. Ni chafodd cymeriant porthiant, cynhyrchu llaeth, na threuliadwyedd ffibr eu heffeithio gan yr ataliwr. Cafodd protein llaeth a chynhyrchion lactos eu cynyddu gan 3-NOP. Cafodd allyriadau methan blaenstumog eu lleihau gan 3-NOP, tua 30% yn is ar gyfartaledd na'r rheolaeth. Roedd allyrru methan fesul uned o borthiant cymeriant sylwedd sych neu fesul uned llaeth hefyd tua 30% yn llai ar gyfer y gwartheg a gafodd eu trin gan 3-NOP. Ar gyfartaledd, roedd ennill pwysau corff y gwartheg a gafodd eu trin â 3-NOP 80% yn fwy na gwartheg dan reolaeth yn ystod 12 wythnos yr arbrawf.

Parhaodd yr effaith ataliol dros 12 wythnos y driniaeth. Nid yn unig y lleihaodd 3-NOP a roddwyd i wartheg llaeth oedd yn cynhyrchu'n uchel ar 60mg/kg porthiant sylwedd sych allyriadau methan o 30% ond hefyd cynyddodd ennill pwysau corff yn sylweddol heb effeithio'n negyddol ar gymeriant porthiant na chynhyrchu a chyfansoddi llaeth. Mewn defaid, lleihaodd 3-NOP ar 0.5 g/y dydd gynhyrchu CH<sub>4</sub> o 29% heb effeithiau niweidiol nac eplesu blaenstumog.



Gwnaeth Jayanegara et al. (2018) fetaddadansoddiad o'r defnydd o 3-NOP fel ychwanegyn porthiant yn seiliedig ar 12 astudiaeth *mewn anifeiliaid byw* â gwartheg llaeth, gwartheg cig eidion a defaid. Roedd deietau a ddarparwyd ar gyfer anifeiliaid sy'n cnoi cil yn gyfanswm dogn gymysg (TMR) â naill ai deietau porthiant uchel neu grynodiad uchel. Amrywiodd crynodiadau o 3-NOP mewn deietau o 0 i 280 mg/kg cymeriant sylwedd sych (DMI). Roedd yr effaith ar ostyngiad methan yn llinol o fewn yr ystod o 3-NOP rhwng 0 a 280 mg/kg DMI. Roedd defnydd o 3-NOP ar 100 mg/kg DMI, er enghraifft, wedi'i amcangyfrif i leihau allyriadau methan o tua 20% o gymharu â'r deiet rheoli.

Cwblhaodd Dijkstra et al. (2018) ddadansoddiad meta o ddata o 11 arbrawf a 38 o drefniadau triniaeth *mewn anifeiliaid byw* gan ddefnyddio 3-NOP. Roedd y ddogyn 3-NOP ar gyfartaledd mewn arbrofion gwartheg cig eidion yn uwch (144mg/kg o DM) na hynny mewn gwartheg llaeth (81 mg/kg o DM). Effaith liniaru CH<sub>4</sub> 3-NOP oedd  $22.2 \pm 3.33\%$  mewn gwartheg cig eidion o gymharu â  $39.0 \pm 5.40\%$  ar gyfer gwartheg llaeth yn seiliedig ar gynhyrchu CH<sub>4</sub>. Mae effeithiolrwydd helaethach 3-NOP mewn lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> mewn gwartheg godro o gymharu â gwartheg eidion yn gallu bod yn gysylltiedig â'r lefel uwch o gymeriant porthiant mewn gwartheg godro.

**I grynhoi, mae 3-NOP yn ymddangos i fod yn ychwanegyn lleihau allyriadau mwyaf effeithiol mewn gwartheg godro o tua 20-40%, tua 20% mewn gwartheg eidion a thua 30% mewn defaid. Gallai ychwanegu olewau a lipidau at ddeietau leihau allyriadau o 5-7%. Mae gan daninau effaith amrywiol.**

Nid yw ymarferoldeb defnydd 3-NOP yn hysbys, er y gall ei defnydd yn Ewrop gael ei gymeradwyo yn fuan. Mae'n rhaid bod yn ofalus wrth fwydo nitrad ar y cyd â mewnbynnau nitrogen uchel eraill. Er wedi'u profi i fod yn effeithiol mewn lleihau allyriadau CH<sub>4</sub>, mae'r strategaethau ychwanegion porthiant yn tarfu ar weithrediad naturiol y flaenstumog a gallai eu camddefnydd arwain at anhwylderau blaenstumog a phroblemau iechyd a lles posibl eraill (Llonch et al. 2017). Mae gofyniad cyffredinol i ddeall effeithiau'r strategaethau hyn ar iechyd anifeiliaid ac allyriadau nwyon tŷ gwydr (Williams et al. 2015).

## 6.3 Dadansoddiad Sector

### 6.3.1 Llaeth

Canfu O'Brien et al. (2014) mewn cynhyrchu anifeiliaid sy'n cnoi cil, fod perthynas gref rhwng cynhyrchiant a dwyster allyrru - hyd at lefel gymharol uchel o gynhyrchiant, mae dwyster allyrru yn gostwng wrth i gynnyrch gynyddu. Canfu Gerber et al. (2011) fod anifeiliaid sy'n cynhyrchu'n uchel yn cynhyrchu mwy o laeth fesul llaethiad yn arddangos dwystrerau allyrru llai am dri phrif rheswm.

- Mae allyriadau'n cael eu gwasgaru dros fwy o unedau o laeth, felly'n teneuo allyriadau mewn perthynas â gofynion cynhaliaeth yr anifeiliaid.
- Mae enillion cynhyrchiant yn aml yn cael eu cyflawni trwy ymarferion a thechnolegau gwell sydd hefyd yn cyfrannu at leihau allyriadau. Er enghraifft, mae porthiant ansawdd uchel (deietau sy'n uchel mewn crynodiad (startsh) ac yn is mewn ffibr) a geneteg anifeiliaid perfformiad uchel yn bwysig.

- Mae enillion cynhyrchiant yn cael eu cyflawni'n gyffredinol trwy reoli buches yn dda, ymarferion iechyd anifeiliaid a hwsmonaeth sy'n cynyddu'r gyfran o adnoddau a ddefnyddir yn hytrach na chael eu defnyddio i gynnal yr anifeiliaid yn unig.

Mae hyn yn arwain at fas gwartheg gostyngol (mewn buchesi llaethiad ac mewn rhai amnewid) fesul uned o laeth a gynhyrchir. Mae'r effaith fesul uned o laeth felly'n cael ei leihau i'r f uwch unigol. Ar lefel buches wrth gwrs bydd y ffermwr â buches cynhyrchiant uchel yn gallu cynyddu maint buches i ddefnyddio'r arwynebedd tir sy'n cael ei ffermio yn llawn. Byddai hyn yn cynyddu allbwn a'r allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn gyffredinol - er y byddai cyfraddau stocio uchel yn cael eu cyfyngu gan Reoliadau Adnoddau Dŵr (Rheoli Llygredd Amaethyddol) 2021..

Effaith cynyddu'r nifer o laethiadau ar gyfartaledd fesul buwch yn y fuches genedlaethol yw lleihau'r nifer o wartheg a dilynwyr sy'n ofynnol i gynnal lefelau allbwn llaeth (Wall et al., 2009). Mae'r prif ostyngiad mewn allyriadau CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub> O yn dod o'r gostyngiad yn niferoedd y dilynwyr sy'n cadw'r fuches gynhyrchu, gyda gostyngiad o tua 19% mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr mewn dilynwyr o gymharu â gostyngiad 0.5% mewn gwartheg sy'n llaetha.

Mae'r amser sy'n ofynnol i gynyddu'r cyfartaledd (nifer o feichiogrwyddau) trwy ddethol genetig y fuches genedlaethol yn dibynnu ar ddwyster dethol ac amrywiad genetig. Ar werthoedd presennol ar gyfer etifeddadwyedd a gwerth economaidd cymharol oes (a nodweddion cydberthynol) a ddefnyddir yn y mynegai dethol llaeth cenedlaethol hwnnw, mynegai oes proffidiol (PLI), mae'r ymateb cenedlaethol disgwylidig tua 0.045 llaethiad y flwyddyn (Wall et al., 2009). Felly, byddai'n cymryd 11 mlynedd i gynyddu oes trwy 0.5 llaethiad gan ddefnyddio teclynnau dethol a phwysau mynegai ar gael ar hyn o bryd.

Modelodd Wall et al., (2009) y byddai 21% yn llai o allyriadau CH<sub>4</sub> fesul kg o gynnyrch llaeth yn bosibl ar ôl dethol buches wartheg â 17% o gynnyrch uwch y llaethiad, ac 14% effeithlonrwydd gros uwch.

I'r gwrthwyneb, mae'r ffocws ar gynyddu llaethiadau fesul buwch ac effeithlonrwydd gros uwch ar gyfer cynhyrchu llaeth yn cael yr effaith o leihau'r nifer o amnewidiadau llaeth a lleihau'r nifer o wartheg a gynhyrchir yn cael eu lladd, sy'n mynd i gynhyrchu eidion. Byddai amnewid y cig eidion o wartheg wedi'u lladd â chig eidion o wartheg sugno yn cynyddu allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr ar gyfer cig eidion sy'n cael ei fwyta. Mae hyn wedi cael ei ddangos gan Zehetmeier et (2012) sydd wedi herio'r ffocws cul ar gynhyrchu llaeth gan uned cynhyrchu llaeth yn cynhyrchu nid yn unig allbwn llaeth o'r f uwch laeth, ond hefyd allbwn eidion o wartheg a leddir a'r system dewhau ar gyfer lloi dros ben. Cafodd dau senario eu modelu:

- Senario 1 - cynhyrchu llaeth cyson ar lefel y fferm trwy gynyddu cynhyrchiant buwch, a chynhyrchiant eidion gostyngol, a
- Senario 2 - cynhyrchu llaeth yn ogystal ag eidion yn cael eu cadw'n gyson trwy wneud iawn am y gostyngiad mewn cynhyrchu eidion o'r gwartheg llaeth o gynhyrchu gwartheg sugno.

Arweiniodd senario 1 at allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr llai â chynnyrch llaeth cynyddol fesul buwch. Fodd bynnag, pan gafodd allbynnau llaeth ac eidion eu cadw'n gyson (Senario 2), arhosodd allyriadau yn fras gyson â chynnyrch llaeth cynyddol o 6000 i 8000 kg/y f uwch y flwyddyn. Gostyngodd allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr fesul kg llaeth gyda chynnyrch llaeth cynyddol fesul buwch y flwyddyn, o 1.06 kg CO<sub>2</sub>e ) i 0.89 kg CO<sub>2</sub>e ar gyfer y f uwch cynhyrchu llaeth 6000 a 10 000 kg, yn eu tro. Fodd bynnag, cynyddodd allyriadau fesul kg o eidion o 10.75 kg CO<sub>2</sub>e i 16.24 kg CO<sub>2</sub>e oherwydd cynnwys gwartheg sugno. Mae'r astudiaeth hon yn dangos bod yr allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o gynyddu cynnyrch llaeth fesul

buwch mewn ffermio llaeth yn gwahaniaethu, gan ddibynnu ar y ffiniau system sy'n cael eu hystyried, yn enwedig yr asesiad o werth cydgynhyrchion a'r gymhareb a ragdybir o alw llaeth i gig eidion.

Wrth geisio gwelliant genetig ar gyfer cynhyrchiant, mae'n hanfodol hefyd i beidio bridio anifeiliaid sy'n arwain at iechyd gwael a llai o ffrwythlondeb, gan fod y ffactorau hyn hefyd yn gyfrifol am allyriadau uwch fesul uned cynnyrch (Garnsworthy, 2004). Mae ffrwythlondeb gwael yn gofyn am nifer fawr o anifeiliaid mewn maint buches i ateb galw ac felly rhagor o allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Er bod bridio wedi arwain at gynnydd mewn cynnyrch llaeth fesul buwch o flwyddyn i flwyddyn, mae ffrwythlondeb wedi lleihau. Amcangyfrifodd Garnsworthy (2004) effaith ffrwythlondeb ar allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr, trwy adeiladu model, a gysylltodd newidiadau mewn ffrwythlondeb â strwythur buches, nifer o amnewidiadau, cynnyrch llaeth a gofynion maetholion i allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Cyfranodd amnewidiadau i ddilynwyr hyd at 27% o'r methan a 15% o'r amonia a briodolwyd i wartheg godro yn y DU. Byddai gwella ffrwythlondeb yn arwain at niferoedd gostyngol o amnewidiadau gofynnol, a gostyngiad arwyddocaol dilynol mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o'r fuches odro.

I ateb yr her i iechyd a ffrwythlondeb a gyflwynir gan gynyddu cynhyrchu mae defnydd cynyddol o stoc wedi'i drawsfnagu o gymharu ag anifeiliaid pedigri. Mae gwartheg coch Sgandinafia wedi dod yn un o'r bridiau sy'n cael ei ffafrio. Nid oedd y trawsfridiau Sgandinafaidd Coch/Holstein yn sylweddol wahanol i'r Holstein pur ar gyfer braster llaeth ynghyd â chynhyrchu protein (Heins et al. 2006)

Gallai rhagor o anifeiliaid cynhyrchiol leihau allyriadau CH<sub>4</sub> o 10–24% yn achos gwartheg godro (Grossi et al., 2019). Fodd bynnag, mae pwysau ar gynyddu cynhyrchiant anifeiliaid yn gallu arwain at effaith negyddol ar iechyd anifeiliaid oherwydd galw metabolig cynyddol (Llonch et al., 2017), dylid nodi bod rhaid i wartheg godro fridio er mwyn llaetha. Mae gostyngiad mewn cyfanswm niferoedd da byw yn gallu cael ei gyflawni â ffrwythlondeb gwell mewn gwartheg godro yn unig os yw cyfran helaethach o'r lloi a fagwyd gan wartheg godro yn gallu cymryd lle lloi gwartheg eidion, hynny yw, trwy'r defnydd o darw eidion, neu'r defnydd helaethach o semen wedi'u bennu o ran rhyw fel mai lloi heffer yw'r brid llaeth ac mae lloi gwrywaidd yn eidion.

Dangosodd astudiaeth Weiske et al. (2006) y byddai gwneud y mwyaf o effeithlonrwydd oes gwartheg godro, trwy leihau'r gyfradd amnewid ac allforio heffrod gormodol o'r system fel rhai newyddanedig, yn lleihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o hyd at 13%.

Daeth Knapp et al. (2014) i'r casgliad fod gostyngiadau arwyddocaol o of 9 i 19% CH<sub>4</sub>/uned llaeth yn gallu cael eu cyflawni trwy gyfuniadau o ymagweddau genetig a rheoli, gan gynnwys gwelliannau mewn atal gwres, afiechyd a rheoli ffrwythlondeb, technolegau gwella perfformiad, a chynllunio cyfleuster i gynyddu effeithlonrwydd porthiant a chynhyrchiant gydol oes anifeiliaid a buchesi unigol.

Mae dadl am y ffordd orau o uchafu cynnyrch llaeth fesul hectar ac elw. Un opsiwn yw cynnig deietau cywir o ran maeth mewn cyfyngiad. Mae'r ail opsiwn a ddefnyddir mewn rhai gwledydd, yn nodedig Iwerddon a Seland Newydd, yn anelu at gadw costau cynhyrchu i'r isafswm trwy uchafu'r gyfran o wair wedi'i bori yn neiet gwartheg sy'n llaetha. Defnyddiodd O'Brein et al. fodel fferm economaidd integredig Nwyon Tŷ Gwydr i fesur gwerth 9 system gynhyrchu llaeth. Cafodd tair llinell wahanol o wartheg Holstein Ffrisia (hynny yw, cynhyrchiant uchel Gogledd America, gwytnwch uchel Gogledd America, Seland Newydd) eu harchwilio mewn tair system fwydo yn seiliedig ar lwfans gwair uchel, cyfradd stocio uchel ac atchwanegiad crynodiad uchel. Y cyfuniad mwyaf proffidiol oedd system cyfradd stocio

uchel Seland Newydd. Arweiniodd y cyfuniad hwn hefyd at ostyngiad o 12% mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o'r fferm o gymharu â system crynodiad uchel Seland Newydd, oedd â'r allyriadau uchaf. Roedd y gostyngiad yn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr system gyfradd stocio uchel Seland Newydd oherwydd y nifer is o anifeiliaid oedd ddim yn cynhyrchu yn deillio o ffrwythlondeb buches uwch y grŵp hwn.

Mae safonau uchel o reoli yn chwarae rôl hanfodol mewn lleihau allyriadau methan. Mae gan y buchesi sy'n perfformio orau yn y ddwy system olion traed carbon 27 i 32% yn is na systemau llaeth ar gyfartaledd (capper et al., 2009). Fel y disgrifiwyd eisoes, mae ôl troed carbon is o systemau llaeth perfformiad uchel yn gallu cael ei esbonio gan eu heffeithlonrwydd cynhyrchiol helaethach, sydd o bosibl yn lleihau defnydd adnoddau fesul uned o laeth, gan leihau'r ôl troed carbon trwy hynny. Ymhellach roedd y gwahaniaeth cymharol rhwng systemau llaeth perfformiad cyfartalog ac uchel yn fwy na'r gwahaniaeth cymharol rhwng systemau gwair yn perfformio orau a systemau llaeth cyfyngu.

Agwedd arall ar reoli da byw yw lletya gwartheg yn enwedig yn 5-6 mis y gaeaf. Lle mae anifeiliaid yn cael eu lletya, mae aer yn aml yn cael ei echdynnu, ac mae cyfle felly i liniaru allyriadau methan. Yn Ewrop mae gan rai cyfleusterau sy'n lletya gwartheg systemau echdynnu aer wedi'u gosod. Yn adroddiad 2010 i Lywodraeth Cymru, roedd argymhelliad i archwilio'r potensial ar gyfer sgrwbio methan o wartheg wedi'u lletya'n barhaus. Byddai hyn yn cael ei gymhwyso i wartheg pan yn cael eu lletya yn y gaeaf. Defnyddiodd Fedrizzi et al. (218) fiohidlyddion i gipio methan o feudai gwartheg. Cyflawnodd y biohidlyddion hyn yn seiliedig ar gompost a gwellt masnachol bron 100% o ocsideiddiad methan. Pe byddai'r fath gyfradd yn gallu cael ei trawsosod i amodau caeau go iawn yng Nghanada, cartref i bron 945,000 o wartheg godro, gallai biohidlo gael ei gymhwyso i atal yn effeithlon yr hyn sy'n i rhwng 2-3Mt o CO<sub>2</sub>e y flwyddyn yn y DU. I Gymru byddai hyn i 0.53-0.80 Mt o CO<sub>2</sub>e y flwyddyn. Rhwystr arwyddocaol sy'n gofyn am ymchwil yw cynllun yr adeilad i gipio'r crynodiad isel o fethan o'r adeiladau. Yn yr Alban mae SRUC yn ymchwilio i'r agwedd hon.

Os yw gwartheg yn cael eu lletya am gyfnodau hir, dangosodd Haskell et al. (2006) fod hyn yn gallu cael effaith andwyol ar iechyd traed a choesau, wrth gymharu systemau dim pori mewn systemau dan do â systemau pori. Fodd bynnag, mae cynllun stonidin rhydd a llawr da yn gallu lleihau cloffni a briwiau coesau. Yn amlwg mae pryderon lles anifeiliaid y byddai angen mynd i'r afael â hwy.

**I grynhoi, mae gostyngiadau allyriadau methan yn gallu cael eu cyflawni trwy gyfuniad o newidiadau i ymarferion rheoli da byw a geneteg. Mae rheolaeth well o ymagweddau rheoli gwartheg godro yn cynnwys**

- 1. Bwydo carbohydradau sydd ddim yn strwythurol neu startshlyd gyda phorthiannau o ansawdd uchel - (treuliadwyedd uchel) â lefelau cymeriant uwch, gan brosesu'r porthiannau i'r eithaf. Mae'r gweithredoedd hyn yn gallu lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> enterig/uned laeth o 2.5 i 15%. (Knapp et al. 2014)**
- 2. Uchafu cynhyrchu trwy reoli da byw a gwelliant genetig yn lleihau allyriadau o 9-19% ar gyfer gwartheg godro, er enghraifft trwy ostwng oed ar loia cyntaf ac amllder cyfradd lladd i ostwng y nifer o amnewidiadau buches sy'n cael eu magu (Wall et al. 2009).**
- 3. Defnyddio ataliwr 3-NOP i leihau allyriadau methan o 20-40%. Mae ymchwil eisoes wedi'i wneud i'r defnydd o monensin a gallai hefyd leihau allyriadau 7%.**

**Mae'n anodd i asesu faint mae'r gostyngiadau hyn yn adiol, yn enwedig y defnydd o 3-NOP ar wartheg lle mae cynhyrchu methan yn cael ei leihau gan welliant genetig. Gan**

**dybio'n geidwadol bod lleihau 3-NOP yn 20% a chan gyfartaleddu'r gostyngiad posibl o ddeiet a rheoli da byw, gallai cyfanswm lleihau allyriadau fod hyd at 43%. Mae hyn yn debyg i'r asesiad gan Moxey a Thomson (2021) sy'n amcangyfrif bod gostyngiadau allyrru posibl o'r fuches laeth yn yr Alban tua 45%.**

### 6.3.2 Eidion

Yn achos anifeiliaid sy'n cynhyrchu cig, gydag effeithlonrwydd gwell, mae pwysau lladd yn gallu cael ei gyflawni ar oedran ifanc a bydd oes fyrrach yn lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> fesul anifail (Lovett & O'Mara, 2002). Mae cynyddu effeithlonrwydd cynhyrchu cig yn lleihau allyriadau fesul uned cynnyrch. Mae allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr yn gallu cael eu lleihau hyd at 27% (CO<sub>2</sub>e/ha) trwy gyfuniad o effeithlonrwydd buches, anifail a phorfa (Beukes et al., 2010).

Mae gwahaniaeth brid arwyddocaol wedi cael ei ganfod, gan awgrymu bod bridiau cyfandirool mwy o wartheg yn cynhyrchu tua 7% yn llai o allyriadau fesul uned allbwn na'r bridiau Prydeinig llai (Samsonstuen et al, 2019).

Astudiodd O'Brien et al. (2020) y Dadansoddiad Cylch Bywyd (LCA) o systemau cig eidion mewn 4 gwlad gan gynnwys lwerddon sy'n gallu dybygu amodau tyfu yng Nghymru orau. Mae allyriadau methan enterig yn un gydran fawr o'r LCA. Mae enghreifftiau o opsiynau dibynadwy sy'n gallu cael eu gweithredu ar yr un pryd i leihau ôl troed carbon eidion yn sylweddol yn cynnwys gwella cynhyrchiant anifeiliaid, a chynyddu ansawdd porthiant. Mae mesurau penodol a'r gostyngiad posibl mewn ôl troed carbon net yn cael eu dangos yn Nhabl 6.1. Mae'r rhybudd fod y gostyngiadau hyn yn ddarostyngedig i ansicrwydd ac nid ydynt o reidrwydd yn adiol.

Tabl 6.1. Effaith Opsiynau Rheoli ar LCA ar gyfer cynhyrchu eidion

Mesur Lliniaru	Gostyngiad Ôl Troed Carbon Net (%)
<b>Perfformiad Anifail</b>	
Cynyddu ennill pwysau dyddiol	3-10
Gostwng oedran lladd	5-10
Gwella iechyd anifeiliaid	5-15
Gwneud y gorau o oedran lloia cyntaf - 24 mis	5-10
Gwella teilyngdod genetig	2-10
<b>Deiet</b>	
Gwella rheoli glaswelltir	3-10
Gwella ansawdd porthiant	3-8
Cynyddu ffracsiwn dwysfwyd	Plws 15 i minws 20
Ychwanegolion bwyd	Plws 15 i minws 5
Disodli porthiant soia â dewisiadau amgen allyrru isel	3-15

Mae LCA o systemau cynhyrchu eidion wedi cael eu cynnal (Beauchemin et al., 2011), â'r consensws fod y cam llo – gwartheg sugno yn cyfrannu'r gyfran fwyaf o gyfanswm allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o gynhyrchu eidion (hynny yw, 60-84%). Mewn gwrthgyferbyniad, mae tyfu a gorffen gwartheg yn cyfrif am ffracsiwn cymharol fach o gyfanswm cyllideb Nwyon Tŷ Gwydr ar gyfer cynhyrchu eidion. Mae allyriadau CH<sub>4</sub> is o'r symud o wartheg storio i wartheg tewhau oherwydd y cyfnod cymharol fyr maen nhw'n cael eu bwydo ac, i raddau llai, y defnydd o'r dognau gorffen sy'n seiliedig ar rawn (Beauchemin et al., 2010). Mae astudiaethau wedi archwilio effeithiau systemau gorffen ar gyfer tyfu gwartheg cig eidion ac mae'r rhan fwyaf yn dod i'r casgliad fod allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o gig eidion wedi'i orffen gan rawn yn llai na'r rheini o eidion wedi'i orffen gan borthiant (Pelletier et al., 2010). Mae

deietau ag ansawdd maethol uwch yn lleihau allyriadau CH<sub>4</sub> enterig/kg cymeriant DM, yn cynyddu cyfraddau tyfu, lleihau'r dyddiau hyd y farchnad a chyfanswm allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr/kg o eidion a gynhyrchir.

Yn gyson â'r canfyddiadau hyn, yn yr Alban mae pwyslais neilltuol wedi bod ar leihau allyriadau o'r fuches wartheg sugno O dan nawdd Grŵp Hinsawdd Sugnwyr Eidion Llywodraeth yr Alban, mae opsiynau ar gyfer lleihau allyriadau ar raddfa fferm wedi cael eu hadnabod a'u hamcangyfrif (Bell et al. 2021) Cafodd y prif fesurau yn darparu'r effaith fwyaf eu modelu. Cafodd y gostyngiadau posibl eu hadnabod - gweler Tabl 6.2

Tabl 6.2 Allyriadau Cynhyrchu Eidion yn yr Alban

Ymyriad	% Newid allyrru o'r llinell sylfaen (kg CO <sub>2</sub> e/kg llwyth)	Newid Cronnol o'r llinell sylfaen (kg CO <sub>2</sub> e/kg llwyth)
Cynyddu'r lloi sy'n cael eu magu	- 1.4%	-1.4%
Lleihau oedran lloia cyntaf o 3 i 2 flynedd	- 6.9%	- 8.2%
Lleihau pwysau buwch o 10%	- 1.1%	-9.2%
Lleihau oedran ar ladd i 18 mis	- 12.5%	-20.5%
Rheoli glaswelltir yn well - pori cylchdroadol, ailhadu, silwair o ansawdd gwell	- 7.9%	-26.8%
Ataliwr methan - 3 NOP	- 4.8%	-30.3%
Rheoli maetholion yn well	- 3.9%	-33.0%
Atalwyr nitreiddio mewn gwrteithiau artiffisial	- 6.2%	-37.2%
Lleihau oedran ar ladd i 16 mis	+ 1.4%	-36.3%
Gorffen fel eidion tarw ar 13 mis	- 2.0.	-37.6%

Sylwer: Nid yw pob ymyriad yn adio'n llwyr oherwydd bod cyfnewidadau rhwng ymyriadau.

Er y bydd rhai gwahaniaethau mewn ymarferion rheoli, bridiau anifeiliaid, ansawdd tir a hinsawdd rhwng Cymru a'r Alban, mae'r dadansoddiad yn darparu amcangyfrif da o'r arbedion allyrru posibl o'r sector eidion yng Nghymru. Gan eithrio rheoli maetholion yn well ac atalwyr nitreiddio (gweler Pennod 5) gallai'r lleihad allyriadau fod yn uchafswm o 30%. Byddai'r ymyriadau rheoli da byw yn arwain at ostyngiad sylweddol (hyd at 21%) mewn niferoedd gwartheg yn yr Alban tra'n darparu'r gostyngiadau allyriadau a amcangyfrifir. Os arweiniodd yr ymyriadau at gynyddu cynhyrchu yn nifer yr anifeiliaid, byddai hynny'n negyddu'r gostyngiadau mewn allyriadau.

**I grynhoi ar gyfer y system wartheg eidion, mae'r rheoli da byw, geneteg ac ymyriadau deiet yn gallu lleihau allyriadau o tua 30%, gan eithrio'r mesurau ar gyfer gwrteithiau a ffrwythlonwyr. Byddai 3-NOP yn anodd i'w roi ac eithrio ar gyfer defnydd i anifeiliaid wedi'u lletya.**

### 6.3.3 Defaid

Nid yw effaith rheoli perfformiad uchel ar allyriadau CH<sub>4</sub> yn gyfyngedig i wartheg. Amcangyfrifodd Jones et al. olion traed carbon o'r crud i gât y fferm 64 fferm ddefaid ar draws Lloegr a Chymru gan ddefnyddio data fferm empeiraidd. Cafodd olion traed carbon cymedrig o 10.85, 12.85 a 17.86 kg CO<sub>2</sub>e /kg pwysau byw oen wedi'i orffen eu cofnodi ar gyfer ffermydd iseldir, ucheldir a brynau eu cofnodi yn eu tro. Roedd allyriadau methan enterig ar gyfartaledd yn 42-48% o gyfanswm allyriadau ar gyfer y tri math o fferm. Dangosodd modelau atchweliad llinol lluosog fod pedwar amrywiolyn rheoli fferm wedi cael effaith arwyddocaol ar faint ôl troed carbon yr oen gorffenedig. Heb ystyried categori'r fferm, y rhain oedd

- nifer yr ŵyn a fagwyd fesul mamog (pen/mamog),
- cyfradd dyfu'r oen (g/dydd)
- canran mamogiaid a mamogiaid amnewid diadell ŵyn heb eu paru (%),
- defnydd dwysfwyd (kg/uned da byw).

O'r rhain, y nifer o ŵyn a fagwyd fesul mamog a barwyd a chyfradd twf ŵyn oedd yn fwyaf dylanwadol. Gwelliannau cynhyrchiant gellir dadlau yw'r rhai mwyaf problematig i ffermydd mawr ar fryniau ond perfformiodd y ffermydd bryniau sy'n perfformio orau yn yr astudiaeth hon yn well na'r ffermydd iseldir ac uwchdir cymedrig. Mae'r canlyniadau'n awgrymu ar lefel genedlaethol, y dylai'r pwyslais ar gyfer lleihau ôl troed carbon oen fod ar gau'r bwllch cynhyrchiant rhwng ffermydd sy'n perfformio waethaf a gorau.

Dangosodd y dangosyddion cynhyrchiant fod ffermydd oedd yn perfformio orau tua dwy neu dair gwaith mor gynhyrchiol â'r ffermydd gwaethaf. Er enghraifft, roedd y niferoedd o ŵyn fesul mamog yn amrywio rhwng 0.7 a 1.8; a thwf ŵyn rhwng 57g/y dydd a 356g/y dydd, gan ddangos potensial sylweddol i wella ar y ffermydd oedd yn perfformio waethaf. Mae allbwn wedi'i wella fesul mamog yn gallu cael ei gyflawni trwy ystod o ymyriadau gan gynnwys bridio dethol ar gyfer cynhyrchiant mamog, ŵyn yn goroesi'n gynyddol trwy hylendid a rheolaeth well ar enedigaeth, a rheolaeth faethol.

Ar gyfer dethol am gyfraddau twf mewn llinellau mamol, mae rhaglenni AHDB yn helpu mewn cynghori ffermwyr ar fynegeion genetig e.e Gwerth Bridio Amcangyfrifedig (EBV) ar gyfer dethol stoc bridio yn seiliedig ar nodweddion ar gyfer ffactorau cynhyrchu, iechyd a rheolaeth. Er enghraifft, ar gyfer ffermydd yn y rhaglen gwella defaid, honnir bod y cynnydd mewn cyfraddau tyfu i ŵyn yn 50% dros y cyfnod 2000-2014. (AHDB, 2015). Yng Nghymru, mae'r Cynllun Hyrddod Mynydd yn gwerthuso'r defnydd o hyrddod wedi'u cofnodi â pherfformiad (EBV) yn erbyn hyrddod heb eu cofnodi, mae canlyniadau rhagarweiniol yn awgrymu bod pwysau pesgi ŵyn yn cynyddu a bod amser pesgi yn cael ei leihau.

Ar lefel fferm unigol, mae'n hollbwysig nad yw gostyngiadau allyrru ŵyn sy'n gorffen yn gynharach yn cael eu negyddu gan naill ai gynnydd cyfatebol mewn allyriadau o borthiant ychwanegol, neu gynnydd mewn gofynion gwrtaith i wella cynhyrchiant porfa.

**I grynhoi, gellid cael gostyngiadau arwyddocaol o allyriadau trwy leihau amrywioldeb perfformiad fferm ofewn y math o fferm (iseldir, ucheldir, mynyddoedd) yn enwedig trwy wella'r nifer o ŵyn sy'n cael eu magu fesul mamog a chyfradd twf ŵyn o 30% (Jones et al. 2014) i lefelau perfformiad ffermydd sy'n perfformio'n uwch. Byddai gwella genetig hefyd yn hwyluso'r gostyngaid hwn. Bydd 3-NOP yn anodd i'w roi i defaid yn pori.**

**Byddai allyriadau'n cael eu lleihau o 30% o leihau'r ddiadell fridio genedlaethol o 4.5 miliwn i 3.15 miliwn tra'n cynnal allbwn o tua 4 miliwn o ŵyn/y flwyddyn. Mae mamogiaid yn allyrru tua 75% o allyriadau enterig diadell gyfan, felly mae gostyngiad o 30% mewn niferoedd mamogiaid yn mynd ag allyriadau i 515 ktCO<sub>2</sub>e/y flwyddyn. Mae allyriadau ŵyn yn aros yr un peth ~250 ktCO<sub>2</sub>e/y flwyddyn. Cyfanswm y gostyngiad fyddai 215 ktCO<sub>2</sub>e/y flwyddyn.**

## 6.4 Crynodeb da byw

**Mae llawer o'r astudiaethau a adolygir yma yn canolbwyntio ar wartheg godro, lle mae rheolaeth dda ar ddeietau i uchafu cynhyrchu, ac mae ymdrech sylweddol wedi bod i**

wella geneteg. I wartheg stôr eidion a defaid, mae'r deiet yn fwy helaeth ac yn canolbwyntio'n llwyr bron ar systemau gwair yn enwedig yn yr uwchdiroedd. Mae opsiynau i ddefnyddio ychwanegion deiet, grawniau a dwysfwydydd yn cael ei hwyluso gan systemau llaeth, ond maen nhw'n anos i'w gweithredu ar gyfer systemau eidion a defaid. Mae Tabl 6.3 yn crynhoi'r potensial lleihau allyriadau i'r tri prif sector.

Tabl 6.3 Potensial Lleihau Allyriadau

	Allyriadau 2018	Gostyngiad canran posibl	Allyriadau Posibl o leihau Methan Enterig
Sector	(kt CO <sub>2</sub> Cyfatebol)		(kt CO <sub>2</sub> Cyfatebol)
Llaeth	792	Deiet, rheolaeth, geneteg a 3-NOP (43%*)	341
Cig eidion	1188	Deiet, rheolaeth, geneteg (30%)	356
Defaid	981	Deiet, rheolaeth a geneteg (30%)	215
<b>Cyfanswm</b>	<b>2961</b>		<b>912 (31% o ostyngiad)</b>

\* gwerth ar gyfartaledd, yn ddibynnol iawn ar ddefnydd o 3-NOP

Mae'r amcangyfrifon hyn o'r potensial technegol mwyaf. Nid ydynt yn cynnwys gostyngiadau rheoli gwrtaitaith a ffrwythlonwr sy'n cael eu cwmpasu ym Mhennod 5. Byddai gostyngiad bach ychwanegol mewn allyriadau o wrteithiau os bydd niferoedd da byw yn gostwng, yn enwedig yn y fuches laeth. Bydd graddau'r gweithredu yn ymarferol gan ffermwyr Cymru yn amrywiol ac yn dibynnu ar sector. Hefyd mae'r ffrâm amser ar gyfer gwelliannau genetig yn hir ond yn barhaus.

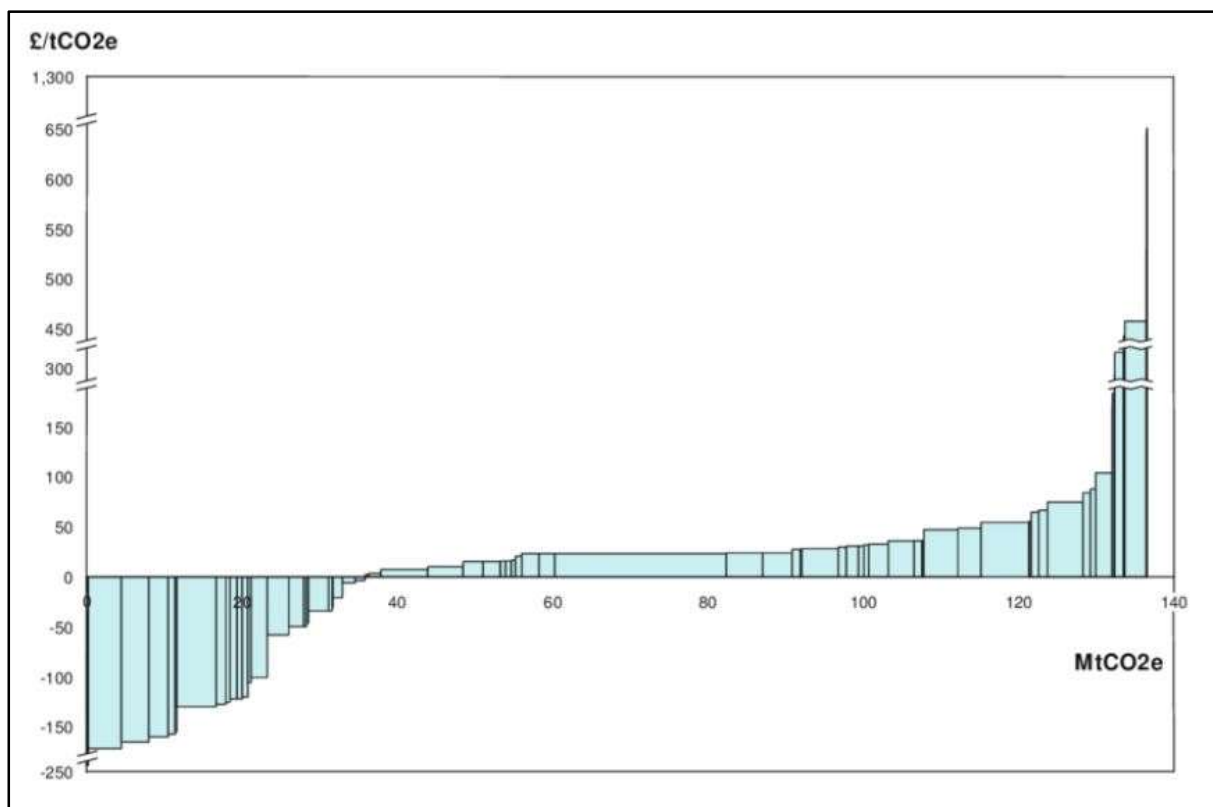
Mewn cyfrifiadau rhestr eiddo, byddai unrhyw ostyngiad mewn allyriadau yn deillio o leihad yn nifer yr anifeiliaid cnoi cil, trwy well rheolaeth a gwell geneteg i gyflawni'r un lefel o gynhyrchu. Gall gwelliannau mewn diet gael eu hadlewyrchu mewn gwell iechyd anifeiliaid, a gwell gallu i oroesi stoc. Ni fyddai ymgorffori ychwanegion dietegol yn cael ei gynnwys yn y rhestr oni bai bod Ffactorau Allyriadau penodol a'r data gweithgaredd cysylltiedig yn cael eu cynhyrchu i gyfrif am yr arferion hyn.



## 7 Aseiad economaidd ac ymarferol

### 7.1 Aseiad Economaidd

Mae cromlinau cost ymylol (MACCau) yn dangos cost gymharol lliniaru nwyon tŷ gwydr trwy ddulliau a thechnegau lliniaru amgen (Macleod et al. 2010). Mae MACC yn gosod mesurau atal yn nhrefn effeithiolrwydd cost. Mae MACC arferol yn cael ei ddangos yn Ffigur 7.1 sy'n dangos cost arbed yr hyn sy'n cyfateb i allyriad cabon deuocsid (CO<sub>2</sub>e) ar yr echel mewn £/t CO<sub>2</sub>e. Mae mesurau i'r chwith o'r gromlin ac o dan yr echel-x yn dangos costau neu arbedion negyddol tra bod canlyniadau cadarnhaol i'r dde ac uwchben yr echel-x yn dangos y bydd cost economaidd i gyflawni'r lleihau allyriadau Mae lled y colofnau yn dangos y lleihau allyrru posibl.



Ffigur 7.1 MACC ar gyfer ystod o opsiynau lliniaru - Cost ar echel y ac opsiwn lliniaru ar echel X (Moran et al., 2008)

Mae Tabl 7.1 yn dangos y tabl MACC i dargedu'r opsiynau yn nhermau potensial lliniaru – uchel a chanolig yn bennaf yn Lloegr, a'r effeithiolrwydd cost – mae'r opsiynau cost negyddol wedi'u hamlygu yn goch (Moran et al, 2020).

**Fel y daethpwyd i'r casgliad o'r blaen y prif grwpiau o opsiynau yw**

- Rheolaeth cynydau gwell i wneud defnydd effeithiol o wrteithiau a ffrwythlonwyr trwy ffermio manwl, gydag amrywiaethau cynydau gwell, gweiriau uchel mewn siwgr a llysiau i wella trwsio nitrogen biolegol.
- Deiet, rheolaeth da byw a geneteg gwell i wella cynhyrchiant fesul anifail ac i leihau allyriadau methan.
- Rheolaeth well ar wrtaith

- **Y defnydd o 3-NOP ar gyfer lleihau allyriadau methan ac atalwyr nitrogen â gwrteithiau i leihau allyriadau ocsid nitrus o briddoedd.**

Tabl 7.1 Asesiad MACC ar gyfer opsiynau lliniaru i Loegr.

Rhif	Mesur	Categori	Potensial Lliniaru	Effeithiolrwydd Cost £/tCO <sub>2</sub> e
1	Amrywiaethau cnydau gwell	Tir cnydau	Canolig	-1248
2	Cnydau dal/gorchudd	Tir cnydau	Uchel	150
3	pH ar ei uchaf - calchu	Tir cnydau	Uchel	-28
4	Amaethgoedwigaeth	Tir cnydau	Uchel	1793
6	Aratau solar amaethfoltaig	Tir cnydau	Uchel	18
7	Iechyd Cnydau	Tir cnydau	Isel	-2863
8	Integreiddio leiau gwair/llysieuol	Tir cnydau	Canolig	-28
10	Ffermio manwl	Tir cnydau	Uchel	-1043
11	Osgoi gormodedd o N	Tir cnydau	Canolig	-1683
12	Gwrteithiau atalwyr N	Tir cnydau	Uchel	667
15	Dadansoddi gwrtaith cyn ei osod	Tir cnydau	Canolig	-2127
16	Draenio tir ar briddoedd mwnol	Tir cnydau	Canolig	1256
17	Lleihau cywasgiad pridd	Tir cnydau	Uchel	-21
20	Sefydlogi biolegol	Glaswelltir	Uchel	-1770
21	Gweiriau siwgr uchel	Glaswelltir	Canolig	-801
26	Bridio Anifeiliaid - genomgau	Da byw	Uchel	-784
28	Dethol genetig i leihau methan	Da byw	Llinell sylfaen	-1620
29	Ymarferion bridio presennol	Da byw	Uchel	
30	Cynllunio iechyd - gwartheg	Da byw	Uchel	-88
31	Deiet startsh uchel	Da byw	Isel	0
32	Bwydo manwl	Da byw	Canolig	58
35	Ychwanegyn porthiant 3-NOP	Da byw	Canolig	113
37	Amllder godro cynyddol	Da byw	Canolig	-1882
38	Bridiau gwartheg pwrpas deuol	Da byw	Uchel	-10
45	Ychwanegolion nitrad	Da byw	Uchel	84
48	Cynllunio iechyd defaid	Da byw	Canolig	16
22	Treuliad anaerobig	Da byw	Uchel	-186
23	Cipio carbon	Da byw	Canolig	1695
25	Gorchudd piswail athraidd	Da byw	Isel	36931
47	Gorchudd piswail anathraidd	Da byw	Uchel	59
39	Adfer priddoedd organig	Tir cnydau	Uchel	0

Gall fod yn fwy priodol i ystyried effeithiau'r dadansoddiad MACC i'r Alban, er bod graddau'r ffermio â'r yn yr Alban yn fwy arwyddocaol nac yng Nghymru (Eory V et al, 2020). Y prif ganfyddiadau oedd

- Mae'r mesurau lliniaru sy'n gymwysadwy i dir amaethyddol yn gallu arbed rhwng 7 a 553 kg CO<sub>2</sub>e pob blwyddyn ar bob hectar lle maen nhw'n cael eu cymhwyso.
- Y mesur unigol mwyaf effeithiol yw amaethu cynyddol o lysiau grawn (hynny yw, pys a ffa) sy'n darparu 553 kg CO<sub>2</sub>e yr hectar o arbedion yn flynyddol ond ar gost uchel oherwydd bod gwerth cnwd llysiau yn llawer llai na chnwd grawn.
- Yr ail a thrydydd mesurau mwyaf effeithiol (ar sail arwynebedd) yw nitrogen cyfradd amrywiol a gosod calch (ffermio manwl) a rheoli pH pridd (hynny yw, calchu pan fydd angen), gan ddarparu lliniaru o 151 a 112 kg CO<sub>2</sub>e yr hectar yn flynyddol, yn eu tro.
- Mae tyfu rhwng cnydau yn gallu darparu'r arbedion cost uchaf i ffermwyr fesul hectar y flwyddyn (£45); nitrogen cyfradd amrywiol a gosod calch, mae amrywiaethau cnydau ag effeithlonrwydd defnydd nitrogen uwch a rheolaeth pH pridd hefyd yn gallu darparu arbedion. Amaethu llysiau grawn yw'r opsiwn drutaf (£406 yr hectar y flwyddyn).
- Mae'r mesurau lliniaru gwartheg a aseswyd yn gallu arbed rhwng 57 a 854 kg CO<sub>2</sub> e pob blwyddyn ar gyfer pob anifail sy'n cael eu cymhwyso i ychwanegolyn porthiant 3-NOP, bridio ar gyfer allyriadau methan isel a gorchudd storfa biswail â gorchudd anathraidd yw'r mwyaf effeithiol.
- Mae costau net mesurau gwartheg yn amrywio o arbediad o £359 i gost o £31 yr anifail y flwyddyn. Gallai'r mesur bridio llaeth arbed £359 yr anifail y flwyddyn, a iechyd gwell anifeiliaid llaeth, bwydo llaeth manwl, ac mae bridio eidion ar gyfer allyriadau methan isel a gorchuddio storiau piswail eidion hefyd yn gallu arbed arian i ffermwyr. Y mesur gwartheg drutaf yw rhoi ychwanegolyn porthiant 3-NOP i anifeiliaid eidion (£31 yr anifail y flwyddyn).
- Mae'r mesurau defaid yr ymchwiliwyd iddynt yn gallu darparu 15 kg CO<sub>2</sub>e o liniaru yr anifail yn flynyddol ac arbediad cost o £0.36 y pen.

Mae Tabl 7.2 yn cyflwyno'r arbedion lliniaru a chyfanswm cost yr erw o gnwd neu fesul pen da byw yn yr Alban

Tabl 7.2 Potensial lliniaru a chostau mesurau ar gyfer amaethyddiaeth yn y Alban

Mesur Lliniaru	Cyfanswm lliniaru blynyddol (t CO <sub>2</sub> e /ha neu t CO <sub>2</sub> e/y pen)	Cyfanswm cost blynyddol (£/ha or £/y pen)
<b>Trin tir a glaswelltir</b>		
Llysiâu grawn mewn cylchdroad	0.533	406.00
Gosod nitrogen graddfa amrywiol a chalch	0.151	-16.83
Rheoli pH pridd	0.122	-7.86
Tyfu cnydau cymysg e.e llysiâu a grawn	0.079	-45.18
Atalwyr nitreiddio ac wreas e.e DCD	0.071	20.67
Amrywiaethau cnydau ag effeithlonrwydd defnydd N uwch	0.13	-10.17
Chwistrellu piswail	0.026	21.35
Gosod pibell ymlusgol/ piswail esgid	0.007	8.16
<b>Cynhyrchu Llaeth</b>		
Ychwanegyn porthiant 3-NOP	0.855	17.78
Bridio ar gyfer cynnyrch methan isel	0.627	-358.74
Gorchuddio storffeydd piswail - gorchuddion anathraidd	0.527	2.56
Deiet startsh uchel	0.162	0
Bwydo manwl	0.104	-18.22
Iechyd da byw gwell	0.057	-26.89
<b>Cynhyrchu Eidion</b>		
Ychwanegyn porthiant 3-NOP	0.423	31.38
Gorchuddio storffeydd piswail - gorchuddion anathraidd	0.255	-0.25
Bridio ar gyfer cynnyrch methan isel	0.116	-15.96
Iechyd da byw gwell	0.027	20.26
<b>Cynhyrchu Defaid</b>		
Iechyd da byw gwell	0.015	-0.36

Byddai costau negyddol a amlygir yn darparu arbedion cost i ffermwyr. Gwelliannau i reolaeth da byw a gwrtaith yw'r ffyrdd cyson o leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Fodd bynnag mae'n rhaid cydnabod bod y cwmpas ar gyfer tir â'r yng Nghymru yn llai (â 90,000ha) nac yn yr Alban (arwynebedd â'r o 580,000ha).

Y prif fater mewn dehongli'r data hyn yw hwylustod gweithredu ac amserlen. Mae gan dyfu llyisiau grawn mewn cylchdroad gostau mawr, gan ei wneud yn llai tebygol o gael ei fabwysiadu. Mae tyfu rhwng cnydau hefyd yn gofyn am newid ymarfer ffermio oherwydd bydd angen i'r ddau gnwd gael eu cynaeafu gyda'i gilydd ar gyfer porthiant - gan aberthu defnydd y grawn at osodiadau eraill. Mae bridio ar gyfer allyriadau methan isel yn gost negyddol ar gyfer gwartheg godro ond mae'n amcan tymor hir. Mae gan ddefnydd 3-NOP ar gyfer gwartheg godro ac eidion gost ond byddai'n cael ei weithredu'n haws - gan ragdybio cymeradwyaeth reoleiddiol.

Mae ymchwil MACC wedi parhau i gael ei ddefnyddio gan UKCCC ac mae'r gwaith diweddaraf wedi modelu senarios ar gyfer y raddfa o weithredu mesurau lliniaru (Eory et al. 2020). Mae newidiadau mewn ymddygiad defnyddwyr a ffermwyr yn gallu rhyddhau tir o amaethyddiaeth. Ystyriodd yr UKCC ddau grŵp bras o newidiadau a allai ryddhau tir, tra'n cynnal sector cynhyrchu bwyd cryf i fwydo poblogaeth sy'n cynyddu yn y DU i 73.6 miliwn erbyn 2050:

- Newid ymddygiadol: newid deiet a lleihau gwastraffu bwyd (gan ystyried twf poblogaeth a masnachu parhaus).
- Gwelliannau mewn ymarferion amaethyddol: gwelliannau cynnyrch cnydau, dwysterau stocio a symud cynhyrchu garddwriaethol o dan do.

Roedd y senarios yn cynnwys gostyngiadau o hyd at 50% mewn cynhyrchion cig a llaeth gyda newid i gynhyrchion seiliedig ar blanhigion a chig wedi'i dyfu mewn labordy. Gallai cynhyrchiant llaeth godi hyd at 2.9%/y flwyddyn yn y lle cyntaf a gallai dwyster pori godi hyd at 10% a gostyngiad o dda byw ar uwchdiroedd. **Byddai graddfa'r newidiadau yn cael goblygiadau sylweddol i amaethyddiaeth Cymru. Mae sylwebaeth ar y mesurau a argymhellir gan UKCCC mewn perthynas â'r adroddiad hwn yn Atodiad 1.**

**I grynhoi, mae'r dadansoddiadau MACC yn Lloegr a'r Alban, yn darparu arbedion lleihau allyriadau a chostau a fyddai'n cael eu defnyddio i ddyfeisio mecanweithiau cymorth i gynllun ffermio newydd i ddarparu lliniaru newid hinsawdd. Mae mesurau cadarn yn gofyn am ddadansoddiad MACC i amaethyddiaeth Cymru. Mae'n rhaid cofio bod y rhain yn bosibiliadau technegol uchaf sy'n rhagdybio 100% o dderbyniad. Mae dichonoldeb ymarferol yn fater hollbwysig i gyflawni cynnydd.**

## 7.2 Dichonoldeb Ymarferol

Mae Barnes et al. (2021) wedi defnyddio ymagwedd gweithdy at ymchwilio meysydd o ymddygiad a gyrwyr derbyn mesurau sy'n arwain at liniaru Nwyon Tŷ Gwydr. Canolbwyntiodd yr astudiaeth ar ffermio Lloegr, a gall beidio bod yn gwbl gynrychioladol o'r sefyllfa yng Nghymru. Cafodd ffactorau pwysig ar gyfer derbyn mesurau eu hadnabod i fod yn:

- Hunanadnabyddiaeth y ffermwr a normau cymdeithasol
- Rheolaeth risg
- Caffael gwybodaeth
- Cyfyngiadau cynllunio tymor hir oherwydd effeithiau cloi i mewn asedau ac ymarferion
- Y rôl sydd gan ymarferion presennol ar benderfynu sut mae rhai newydd yn cydweddu
- Ffactorau cylch bywyd teulu
- Dyfodiad ffermwyr mwy newydd i mewn i'r diwydiant
- Ffactorau sefydliadol: y dylanwadwr ar ymarfer, cyfyngiadau cadwyn gyflenwi a sefydliadau anffurfiol

Tabl 7.3 SRUC - NIAB-UKCEH dadansoddiad o ymyriadau ar gyfer mabwysiadu mesurau lliniaru

Ymarfer Fferm	Mabwysiadu targed ymyriad canolig	Targed mabwysiadu ymyriad uchel	Cost dechnegol ar fferm	Cost buddsoddi ar fferm	Dichonoldeb gwneud	Hwylustod monitro	Risg a weilir gan ffermwyr	Cymhwysedd	Lefel mabwysiadu yn 2020	Medi' fonitro yn y rhestr Nwyon Tŷ Gwydr
Cadw pH ar lefel optimaidd	Ariannol	Rheoleiddiol	Arbedion	Canolig	Hawdd	Canolig	Isel	Canolig - glaswelltir	Isel iawn	Trwy ddefnydd gwrtaith N
Amaethgoedwigaeth	Ariannol	Ariannol	Uchel	Canolig	Canolig	Hawdd	Uchel	Isel iawn	Isel iawn	Trwy newid defnydd tir
Systemau amaethfoltaig	Ariannol	Ariannol	Uchel	Uchel	Anodd	Hawdd	Canolig	Isel iawn	Isel iawn	Trwy ystadegau ynni
Atalwyr nitreiddio	Ariannol	Rheoleiddiol	Canolig	Dim	Canolig	Canolig	Canolig	Canolig	Isel iawn	Trwy ddefnydd gwrtaith N
Lleihau cywasgiad pridd	Ariannol	Rheoleiddiol	Arbedion	Canolig	Hawdd	Canolig	Canolig	Canolig	Isel	Rhif
Cymysgeddau gwair-illysiau	NA	Rheoleiddiol	Arbedion	Canolig	Hawdd	Hawdd	Isel	Uchel iawn	Isel	Rhif
Adfer priddoedd organig	Ariannol	Rheoleiddiol	Uchel	Uchel	Canolig	Hawdd	Uchel	Canolig	Isel iawn	Trwy newid defnydd tir
Gwrteithiau da byw AD	Marchnad	Marchnad	Arbedion	Uchel	Canolig	Hawdd	Uchel	Isel	Isel iawn	Trwy ystadegau ynni
Bridio â genomgau	Ariannol	Ariannol	Arbedion	Canolig	Canolig	Hawdd	Canolig	Uchel-llaeth Isel - eidion	Isel iawn	Trwy niferoedd da byw
Gwella statws iechyd gwartheg	Dim	Rheoleiddiol	Arbedion	Dim	Hawdd	Anodd	Isel	Uchel	Isel iawn	Trwy niferoedd da byw
Bridiau pwrpas deuol	Dim	Dim	Arbedion	Dim	Canolig	Hawdd	Uchel	Uchel	Isel iawn	Trwy niferoedd da byw
Ychwanegion nitrad i leihau methan enterig	Rheoleiddiol	NA	Canolig	Dim	Canolig	Canolig	Uchel	Canolig - llaeth	Isel iawn	Angen data gweithgaredd a ffactorau allyrru newydd

Mae agweddau sy'n effeitho ar fabwysiadu yn cynnwys y swm o newid system sydd ei angen, graddfa'r gweithrediad, y cyfleoedd ar gyfer trosglwyddo rhwng cenedlaethau, a ffactorau personol.

O'r senarios terfynol, cafodd ymyriadau eu dadansoddi - gweler Tabl 7.3. Un agwedd drawiadol yw fod ychydig o ymyriadau wedi cael eu gweld i fod yn risg isel a chafodd lefelau mabwysiadu yn 2050 eu gweld i fod yn isel neu'n isel iawn. **Mae angen asesu sut mae'r opsiynau hyn yn cael eu gweld gan ffermwyr yng Nghymru, gan fod rhai asesiadau yn gallu bod yn wahanol i'r gweithdai a ddefnyddir yn Lloegr.**

**Mae rhybudd pwysig yn y duedd am gynnydd mewn cynhyrchiant ar ffermydd. Tuedd naturiol ffermwyr yw defnyddio'r holl dir ar gyfer cynhyrchu. Oni bai fod eu lefelau cynhyrchu ar eu ffermydd yn cael eu cyfyngu, byddant yn cynyddu cyfanswm cynhyrchu sy'n negyddu unrhyw fudd ar gyfer lleihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr fesul uned o gynnyrch.**

Gallai'r tir a arbedir rhag cynhyrchu gael ei ddefnyddio ar gyfer darparu manteision cyhoeddus e.e. gwella bioamrywiaeth, cynyddu dal a storio carbon neu liniaru llifogydd. Cadarnhaodd Balmford et al. (2018) fod gan ffermio cynnyrch uchel y potensial ar gyfer tir nad oes ei angen i gael ei ddefnyddio ar gyfer cynhyrchu i gael ei ddefnyddio ar gyfer dal a storio carbon, i wneud cyfraniad sylweddol at liniaru newid hinsawdd. Bydd angen cyngor a chymhellion ar ffermwyr i ddefnyddio unrhyw dir a ryddheir er budd y cyhoedd.

I ddeall y gyfradd araf o newid, mae DEFRA yn monitro'i Gynllun Gweithredu Amaethyddiaeth (DEFRA 2020). Mae fframwaith dangosydd wedi cael ei gynllunio sy'n cynnwys deg prif ddangosydd sy'n cwmpasu agweddau a gwybodaeth ffermwyr, canlyniadau tymor canol ynghylch dwyster allyrru Nwyon Tŷ Gwydr cynhyrchu mewn sectorau amaethyddol allweddol a derbyniad dulliau lliniaru. Ar gyfer rhai dangosyddion (megis agweddau ffermwyr) mae data cyfyngedig ar gael ar hyn o bryd i asesu tueddiadau tymor hir ac yn y tymor byr ychydig o newid sydd. Lle mae data tymor hirach ar gael, mae asesiad ar hyn o bryd yn dangos bod y darlun cyffredinol yn gymysg. Dros y 10 mlynedd diwethaf mae tuedd gadarnhaol dymor hir ar gyfer cybwysedd nitrogen y pridd (dangosydd lefel uchel o bwysau amgylcheddol) ac ar gyfer effeithlonrwydd defnydd nitrogen deilliiedig wedi'i weithgynhyrchu ar gyfer barlys, hadau olew rēp a betys siwgr. Ar gyfer canlyniadau tymor canol perthynol i ddwyster allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr i'r sector da byw ychydig o newid cyffredinol sydd wedi bod.

Mae'r sefyllfa hon yn cael ei hadlewyrchu mewn agweddau ffermwyr yn Lloegr yn 2020, a gall fod yn debyg yng Nghymru. Adroddodd 18% o ffermwyr ei bod yn "bwysig iawn" i ystyried allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr wrth wneud penderfyniadau ynglŷn â'u tir, cnydau a da byw a chredai 46% ychwanegol ei bod yn "weddol bwysig". Fodd bynnag gosodd 30% o ymatebwyr ychydig neu ddim pwysigrwydd ar ystyried Nwyon Tŷ Gwydr wrth wneud penderfyniadau neu meddylient nad oedd eu fferm yn cynhyrchu allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr.

Mae gan Gynllun Gweithredu Lloegr y targed o symud ymlaen tuag at gyflawni uchelgais y diwydiant o leihau allyriadau cynhyrchu amaethyddol o 3 M tCO<sub>2</sub>e erbyn 2020 o gymharu â llinell sylfaen 2007. Fodd bynnag erbyn Chwefror 2020, roedd tua 0.9 Mt CO<sub>2</sub>e o ostyngiad mewn allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr wedi cael eu cyflawni o dderbyn y prif ddulliau lliniaru. Mae hyn yn cymharu â gostyngiad posibl technegol uchaf o 2.8 Mt CO<sub>2</sub>e pe byddai'r holl ddulliau hyn yn cael eu gweithredu'n llawn ar ffermydd perthnasol. – hynny yw, gostyngiad 32% o gymharu â'r targed.

**Mae gofyn am raglen hyfforddi sylweddol, ag ystod o gymhellion rheoleiddiol ac ariannol. Mae mynediad at gyngor ymarferol trwy Farming Connect a'r Bwrddau Ardoll yn hanfodol i gynyddu derbyn mesurau lliniaru. Er enghraifft mae rhaglenni AHDB a HCC yn helpu mewn cynghori ffermwyr ar fynegeion genetig e.e Gwerth Bridio Amcangyfrifedig ar gyfer dethol stoc bridio yn seiliedig ar nodweddion ar gyfer ffactorau cynhyrchu, iechyd a rheolaeth.**



## 8 Casgliadau

### 8.1 Opsiynau lliniaru

Mae'r adolygiad hwn wedi canolbwyntio ar bump prif opsiwn lliniaru ar gyfer lleihau allyriadau ar ffermydd i anifeiliaid sy'n cnoi cil a chnydau. Nid yw'r adolygiad wedi ystyried allyriadau o'r prif sectorau eraill - moch, dofednod a garddwriaeth. Hefyd nid yw wedi cwmpasu lleihau allyriadau y tu hwnt i gât y fferm, er bod cytundeb y dylai'r gadwyn fwyd gyfan gael ei hystyried fel un system gydlynol. Canolbwyntiodd yr opsiynau ar ffermydd ar dda byw sy'n cnoi cil a chnydau - cyfrif am fwyta bwyd lleol, heb ei brosesu a heb ei becynnu er enghraifft.

- Lleihau allyriadau methan o anifeiliaid sy'n cnoi cil
- Lleihau allyriadau ocsid nitrus o osod gwrteithiau a ffrwythlonwyr i briddoedd
- Lleihau allyriadau methan ac ocsid nitrus o storio gwrtaith, ei drafod a'i osod
- Lleihau allyriadau carbon deuocsid trwy gynnal stociau carbon mewn priddoedd a mawniau,
- Ehangu dal a storio carbon mewn llystyfiant - coetir, cloddiau ac ati ac mewn priddoedd amaethyddol i wrthweithio allyriadau o ffynonellau eraill.

Er bod allyriadau hylogiad (CO<sub>2</sub> o dractorau a pheiriannau yn 9.8% o gyfanswm allyriadau amaethyddol, mae'r prif opsiynau lliniaru yn y cam datblygu. Mae'r rhain yn cynnwys cyfnewid tanwydd diesel â hydrogen (JCB), moduron trydan (John Deere), tanwydd methan (New Holland) a chelloedd tanwydd. Hyd yn oed ar ôl cyflwyno bydd lleihau allyriadau o'r fflyd gerbydau/peiriannau bresennol yn cymryd rhywfaint o amser i ddigwydd. Ond mae gostyngiad allyriadau o 56% wedi cael ei amcangyfrif gan UKCCC erbyn 2050, hynny yw, tua 310 Kt CO<sub>2e</sub> o ostyngiad. Byddai ymarferion peidio trin ar gyfer cnydau â'r yn cael effaith fach mewn lleihau allyriadau o beiriannau.

Ers 2010, mae ymchwil rhyngwladol ar ffyrdd o leihau allyriadau methan ac ocsid nitrus wedi ehangu yn fawr, ond mae'r gostyngiadau posibl yn bennaf yn gynyddrannol ac mae angen eu cyfuno i wneud ymyriadau arwyddocaol i gyflawni lleihau allyriadau. **Er hynny ni fydd y gostyngiadau yn cyrraedd y targed allyrru sero net heb ostyngiad sylweddol mewn niferoedd anifeiliaid.**

I rai, yr ateb heddiw yw lleihau cynnyrch amaethyddol Cymru, ond ni fyddai hyn yn datrys yr her fyd-eang. Bydd hi'n angenrheidiol i barhau i ddiwallu'r galw am fwyd, a byddai lleihau cynnyrch Cymru ond yn ei symud i wledydd lle mae gan gynhyrchu bwyd ôl troed hinsawdd uwch.

Mae gan systemau ffermio organig allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr is, ond â'r gosb o gynhyrchiant is. Mae'r angen i leihau'r ddibyniaeth ar wrteithiau wedi'u gweithgynhyrchu oherwydd y costau ac allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o weithgynhyrchu, yn golygu y gall dulliau ffermio gael eu mabwysiadu'n gynyddol, er enghraifft trwy egwyddorion adfywiol ac amaethecoleg (Carlile a Garnett, 2021) sy'n anelu at fynd i'r afael â'r tair her rhyng-gysylltiedig o gynhyrchu bwyd, newid hinsawdd a cholli bioamrywiaeth, ond wedi'u hehangu o'r nodau tecnocrataidd i gynnwys newid yr agweddau cymdeithasol, economaidd a gwleidyddol o gynhyrchu a defnyddio bwyd. Yng Nghymru mae'r rhain yn cael eu hyrwyddo trwy sefydliadau fel y Comisiwn Bwyd, Ffermio a Chefn Gwlad.

Yn Nenmarc, mae'r Cyngor Amaethyddiaeth a Bwyd (2020) wedi amlinellu gweledigaeth i fod yn niwtral o ran hinsawdd erbyn 2050 trwy ddatblygiadau gwyddonol. Mae'r cynigion ar gyfer

Ileihau allyriadau yn cwmpasu'r holl opsiynau sydd wedi cael eu disgrifio yn yr adroddiad hwn, gan gynnwys datblygu brechlynnau i leihau allyriadau methan o anifeiliaid sy'n cnoi cil, a chipio methan a chnydau ynni ar gyfer ynni adnewyddadwy.

## 8.2 Gweithredu newid

O fewn y Cynllun Ffermio Cynaliadawy a gynigir y mathau o fecanweithiau cyngor/cymorth penodol a fyddai'n bwysig yw

- Creu a rheoli coetir
- Cadwraeth mawndir yn enwedig mawniau iseldir
- Rheoli gwrtaith - gorchuddion, echdynwyr methan, chwistrellu piswail, asideiddio
- Gwella rheoli pridd - monitro pridd am ofynion pH a maetholion. a dadansoddiadau i asesu gwerthoedd N gwrtaith i ddiwallu gofynion cnydau.
- Rheoli llysiâu a chnydau gorchudd
- Gwella rheoli da byw - deietau, iechyd anifeiliaid, geneteg

Mae ffermwyr yn edrych yn gynyddol ar ffyrdd o ddefnyddio dal a storio carbon mewn coetir, cloddiau a phriddoedd fel ffordd bosibl o wrthweithio allyriadau. Mae ehangu coetiroedd a chloddiau yn dal a storio carbon yn y biomas a'r pridd isorweddol. Yng Nghymru, mae'r cyfrannau uchel o laswelltir parhaol a phriddoedd sydd eisoes yn uchel mewn carbon yn cyfyngu'n ddifrifol ar y potensial am ddal a storio carbon. Y gofyniad hanfodol yw cynnal stociau carbon presennol mewn priddoedd a mawniau i ostwng allyriadau carbon deuocsid.

**Nid yw gwrthweithio allyriadau amaethyddol yn llwyr trwy ddal a storio carbon pridd i gyflawni allyriadau sero net yn bosibl o dan ddulliau ymarferol ar hyn o bryd.**

Mae'r ymchwil diweddar wedi dangos yr uchafswm potensial technegol i leihau allyriadau, ond mae darparu'r opsiynau hyn yn ymarferol gan ffermwyr Cymru yn dibynnu'n hanfodol ar y fframwaith economaidd, rheolaethol a diwylliannol i gymell ymgymryd â hyn.

I gynorthwyo derbyniad mae angen ymgysylltu â ffermwyr yn fwy uniongyrchol yn eu rôl mewn opsiynau lleihau allyriadau. Un enghraifft fyddai edrych ar y ffordd y cafodd grwpiau wedi'u harwain gan ffermwyr eu sefydlu yn yr Alban i ddatblygu cyngor a chynigion i Lywodraeth yr Alban ar sut i dorri allyriadau a mynd i'r afael â newid hinsawdd. Mae ymchwil gwyddor cymdeithasol yn gallu helpu i adnabod ffyrdd o newid ymarferion ffermwyr. Dylai'r achos economaidd dros fesurau lliniaru gael eu seilio ar Gromlinau Cost Lleihau Ymylol (MACC) ar gyfer Cymru.

Mae rhaglen hyfforddi sylweddol yn ofynnol, â mynediad at gyngor ymarferol trwy Farming Connect a'r cyrff ardoll, HCC ac AHDB, gydag amrediad o ffermydd arddangos. Byddai defnydd o hybiau ffermwyr lleol yn helpu i ledaenu ymarferion da.

## 8.3 Monitro newid

Er mwyn helpu ffermwyr i leihau allyriadau, mae'r angen am gyfarpar mesur ôl traed carbon wedi'i sicrhau o ran ansawdd. Mae'r cyfarpar yn arwain at amrediad mawr o ganlyniadau ôl troed ar fferm. Mae gwaith yn dechrau ar ddull safonol yn y DU yn debyg i Gyfrifianell Carbon Cod Coetir y DU i gynorthwyo cymharu systemau rheoli fferm gwahanol. Mae Martineau et al. (2019) wedi adolygu'r anghenion data i gyflawni tracio effeithiol o dueddiadau allyrru gan ddefnyddio ymagwedd dadansoddiad cylch bywyd ar lefel fferm.

I fonitro cynnydd y polisi i leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr o amaethyddiaeth a defnydd tir, mae'n hanfodol i wella'r casglu data manylach sy'n gallu cael ei gysylltu â'r Ffactorau Allyrru

diwygiedig ar gyfer amrediad o reolaeth da byw, gwrtaith a ffrwythlonwr. Mae angen ymchwilio i'r defnydd o ddata eraill megis o osodiadau o'r System Osod a Rheoli Integredig (IACS) a ddefnyddir i fonitro defnydd tir i gynorthwyo taliadau a chronfeydd data symudiadau anifeiliaid. Gallai synhwyro o bell helpu i gasglu data hefyd. Opsiwn arall fyddai i ffermwyr gael eu gorfodi i ddarparu data gweithgaredd fel amod o gymryd rhan yn y Cynllun Ffermio Cynaliadwy. Mae angen i'r enghreifftiau hyn gael eu datblygu ledled y DU.

## 8.4 Buddion lleihau allyriadau

Mae'n bwysig i gydnabod y buddion eraill o leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr. Mae gan fesurau i leihau allyriadau o ocsid nitrus fuddion lluosog mewn gwella ansawdd aer a dŵr a gostwng ewtroffigedd cynefinoedd. Mae gan leihau allyriadau methan hefyd fudd eilaidd mewn gostwng ffurfio oson yn yr atmosffer is (hyd at 15km) Mae oson ei hun yn nwy tŷ gwydr ac mae'n achosi problemau iechyd dynol yn ogystal â difrod i llystyfiant. Gallai gorfodi'r Rheoliadau Llygredd Amaethyddiaeth yn gysylltiedig â'r Safonau Gofynnol Cenedlaethol newydd helpu yn rheolaeth fwy effeithlon gwrteithiau a ffrwythlonwyr - sy'n hanfodol i leihau allyriadau ocsid nitrus.

## 9 Atodiad-1: Comisiwn Newid Hinsawdd y DU 6<sup>ed</sup> Adroddiad

Mae crynodeb adroddiad UKCCC yn cael ei gyflwyno isod (italig). Mae sylwadau o bersbectif Cymreig yn cael eu gwneud ar bob agwedd, yn seiliedig ar y prif adroddiad.

### 9.1 Arolwg o Amaethyddiaeth

*Roedd allyriadau amaethyddol yn 54.6 MtCO<sub>2</sub>e yn 2018, 10% o allyriadau nwyon tŷ gwydr y DU (GHGs). Nid yw datgarboneiddio'r sector amaethyddol yn llwyr yn bosibl (ar ddealltwriaeth bresennol) oherwydd y prosesau biolegol a chemegol cynhenid mewn cynhyrchu cnydau a da byw. Fodd bynnag, mae opsiynau i leihau'r allyriadau hyn yn cwmpasu newid ymddygiad, gwelliannau cynhyrchiant ac ymgymryd ag ymarferion ffermio carbon isel. Mae ein dadansoddiad yn dechrau â'r rhagdybiaeth fod tir yn cael ei flaenoriaethu ar gyfer tai a gweithgaredd economaidd arall a chynhyrchu bwyd cyn amcanion hinsawdd. Rydym yn amcangyfrif y gallai allyriadau sector syrthio i 39 MtCO<sub>2</sub>e yn 2035, ac i 35MtCO<sub>2</sub>e erbyn 2050 yn y Llwybr Cytbwys.*

Yng Nghymru mae opsiynau i leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr trwy welliannau cynhyrchiant ac ymgymryd ag ymarferion ffermio carbon isel. Mae llawer o weithgaredd tai ac economaidd Cymru wedi'i ganolbwyntio yn ardaloedd arfordirol y gogledd a'r de a chymoedd De Cymru. Mae cynhyrchu bwyd, newid hinsawdd a gwrthdroi tueddiadau bioamrywiaeth yn aros yn flaenoriaeth yn y rhan fwyaf o Gymru.

- *Ymarferion ffermio carbon isel*

*Asesodd SRUC y potensial lleihau o fesurau i leihau allyriadau o briddoedd (e.e leiau gwair a chnydau gorchudd), da byw (e.e. deietau a bridio) a rheoli gwastraff a gwrtaith (e.e treuliad anaerobig). Mae'r rhain yn lleihau allyriadau amaethyddol o 4 MtCO<sub>2</sub>e yn 2035. Mae hyn yn ystyried y rhyngweithio â gweithrediadau eraill, yn enwedig newid deiet, sy'n gostwng potensial lleihau y mesurau hyn dros amser.*

O asesiad yr Uchafswm PoTensial Technegol mae opsiynau i wneud gostyngiadau arwyddocaol mewn allyriadau ar hyd y llinellau a awgrymir gan UKCCC. Mae newid deiet dynol yn cael ei dderbyn fel tuedd sy'n lleihau'r galw am dda byw, ond ni ddylai gostwng lefelau cynhyrchu fod ar draul gofyn am fewnforion.

- *Defnydd tanwydd ffosil mewn amaethyddiaeth*

*Ar hyn o bryd mae 18 TWh o danwyddau ffosil yn cael eu defnyddio mewn cerbydau, adeiladau a pheiriannau amaethyddol, gan arwain at allyriadau o 4.6MtCO<sub>2</sub>e. Mae opsiynau i ddatgarboneiddio tanwydd ffosil yn debyg i'r rheini mewn trafndiaeth arwyneb, peiriannau oddi ar y ffordd mewn diwydiant ac adeiladau masnachol. Mae'r rhain yn cwmpasu trydaneiddio, biodanwyddau, hydrogen a cherbydau hybrid. Mae ein Llwybr Cytbwys yn rhagdybio bod biodanwyddau a thrydaneiddio yn cael eu mabwysiadu o ganol y 2020au a hydrogen o 2030, gan leihau allyriadau i 2 MtCO<sub>2</sub>e yn 2035.*

Mae'r amserlen yn uchelgeisiol iawn o ystyried bod cerbydau amaethyddol â ffynonellau ynni amgen yn dal yn cael eu datblygu, a bydd effaith gwaddol lle bydd y fflyd bresennol o gerbydau yn parhau i gael ei defnyddio. Mae gan gerbydau amaethyddol oes ar gyfartaledd o tua 20 mlynedd ac yn hirach ar gyfer cyfarpar cynaeafu sy'n cael ei ddefnyddio am gyfnodau byrrach.

- *Mesurau i ryddhau tir.*

*Mae newidiadau mewn ymddygiad defnyddwyr a ffermwyr yn gallu rhyddhau tir tra'n cynnal sector cynhyrchu bwyd cryf. Gwnaethom ystyried pum mesur a allai ryddhau tir gan gwmpasu newidiadau cymdeithasol a gwelliannau mewn cynhyrchiant amaethyddol. Mae ein dadansoddiad yn awgrymu y gallai'r pum mesur hyn leihau allyriadau Nwyon Tŷ Gwydr amaethyddol blynyddol o 8 MtCO<sub>2e</sub> erbyn 2035, gan godi i ychydig dros 11 MtCO<sub>2e</sub> erbyn 2050, a newid deiet yn un mwyaf arwyddocaol:*

*– Newid deiet. Mae ein Llwybr Cytbwys yn cynnwys symudiad o 20% i ffwrdd o gynhyrchion cig a llaeth erbyn 2030, a gostyngiad ychwanegol o 15% o gynhyrchion cig erbyn 2050. Mae'r rhain yn cael eu disodli gan opsiynau'n seiliedig ar blanhigion. Mae hyn o fewn amrediad argymhellion Cynulliad yr Hinsawdd ar gyfer gostyngiad 20- 40% mewn bwyta cig a llaeth erbyn 2050. Mae'n llwybr yn arwain at ostyngiad mewn niferoedd da byw ac arwynebedd glaswelltir, gan ddarparu lleihad blynyddol o 7 MtCO<sub>2e</sub> erbyn 2035, gan godi i bron 10 MtCO<sub>2e</sub> erbyn 2050.*

Bydd y gostyngiad sylweddol mewn bwyta cig a llaeth yn cael effaith sylweddol ar amaethyddiaeth Cymru yn enwedig yn yr uwchdiroedd. Mae llawer o uwchdir Cymru yn cynnwys glaswelltir amgaeedig parhaol a phori helaeth ar weundiroedd a mynyddoedd, lle mae lleihau glaswelltir yn mynd i ddigwydd os yw'n cael ei drosi i goetir neu goedwig yn unig, neu'n cael ei ddefnyddio i hyrwyddo buddion cyhoeddus eraill e.e bioamrywiaeth, lliniaru llifogydd.

*– Gwastraff bwyd. Rydym yn rhagdybio bod gwastraff bwyd yn cael ei haneru ar draws y gadwyn gyflenwi erbyn 2030 yn unol â Map Ffordd Lleihau Gwastraff Bwyd y DU y Rhaglen Weithredu Gwastraff ac Adnoddau (WRAP) Byddai hyn yn lleihau allyriadau'r DU o bron 1 MtCO<sub>2e</sub> yn 2035.*

Mae lleihau gwastraff bwyd yn cael ei gydnabod fel llwybr lliniaru, ond ni chafodd ei gwmpasu yn yr adroddiad hwn.

*– Gwelliannau cynhyrchiant. Mae cwmpas ar gyfer lleihau ychwanegol o fesurau i gynyddu cynhyrchiant amaethyddol, a allai yn ein Llwybr Cytbwys leihau allyriadau o 1MtCO<sub>2e</sub> yn 2035 a 2050. Mae'r rhain yn cwmpasu cynydu a da byw:*

- *Mae gwella cynhyrchion cynydu heb yr angen am fewnbynnau ychwanegol fel gwrtaith a phlaladdwyr yn gallu cael eu cyflawni trwy ymarferion agronomegol, technoleg ac arloesedd gwell wrth ystyried effeithiau hinsawdd. Mae ein Llwybr Cytbwys yn rhagdybio bod cynhyrchion gwenith yn cynyddu o gyfartaledd o 8 tonnell metrig/hectar ar hyn o bryd i 11 tonnell metrig/hectar erbyn 2050 (a chynnydd cyfatebol i gynyddau eraill).*

Bydd cynhyrchiant gwell yng Nghymru yn cael ei gyfyngu'n bennaf i laswelltir wedi'i wella a'i amgáu yn barhaol. O ystyried arwynebedd bach tir â'r, ychydig o effaith fydd cynnydd mewn cynhyrchiant â'r yn ei chael.

- *Mae cyfraddau stocio ar gyfer da byw yn gallu cael eu cynyddu trwy wella cynhyrchiant glaswelltiroedd ac ymarferion rheoli megis pori cylchdroadol. Mae tystiolaeth yn awgrymu bod cwmpas i gynyddu cyfraddau stocio yn gynaliadwy yn y DU.*

Mae hyn yn cael ei gydnabod fel ffordd o leihau'r nifer o anifeiliaid ar gyfer lefel benodol o gynhyrchu. Ar hyn o bryd mae rheoliadau Cymru yn cyfyngu ar grynodiadau da byw i 1.7 uned da byw yr hectar.

– *Symud garddwriaeth dan do.*

*Mae symud 10% o gynnyrch garddwriaethol dan do o dan amgylchedd wedi'i reoli yn lleihau'r ôl troed carbon, maetholyn, tir a dŵr. Ni ddylai darparu lleihau allyriadau fod ar draul cynyddu mewnfurion bwyd sy'n peryglu 'gollwng carbon'. Felly, mae angen i gynhyrchu yn ogystal â bwyta'r bwydydd uchaf o ran carbon syrthio.*

Tra'n cydnabod yr angen i ehangu cynhyrchu garddwriaethol o ffrwythau a llysiau i leihau'r 85% a fewnforir i mewn i'r DU o ffynonellau tramor, mae'r sector garddwriaethol yn fach iawn yng Nghymru, a bydd yn cael ei gyfyngu i ardaloedd iseldir. Bydd rhaglen hyfforddi a buddsoddi sylweddol yn ofynnol i newid y safle hwn.

## 9.2 Trosolwg o Defnydd Tir a Newid Defnydd Tir

*Mae angen trawsnewidiad yn nhir y DU tra'n cefnogi ffermwyr y DU. Erbyn 2035 mae ein senarios yn cynnwys plannu 440,000 hectar o goetir cymysg i dynnu CO<sub>2</sub> o'r atmosffer wrth iddynt dyfu, a 260,000 hectar ychwanegol o dir amaethyddol yn newid i gynhyrchu bioynni (gan gynnwys coedwigaeth cylchdroad byr). Byddai hyn yn gweld gorchudd coetir y DU yn tyfu o 13% yn awr i 15% erbyn 2035. Mae'n rhaid i fawndiroedd gael eu hadfer yn eang a'u rheoli'n gynaliadwy. Mae'n rhaid i ymarferion ffermio carbon isel gael eu mabwysiadu'n eang, tra'n codi cynhyrchiant ffermydd.*

Cydnabyddir bod ehangu coetir yn ofynnol yng Nghymru. Mae gorchudd coetir tua 14% o Gymru, ac mae Llywodraeth Cymru wedi disgrifio'i huchelgais yn ddiweddar i ehangu coetir o 180,000 hectar, yn unol ag argymhellion UKCCC.

*Y cyfraniad mwyaf yw o ymgymryd mawr â datrysiadau carbon isel, wedi'u pweru gan ehangiad mawr o drydan carbon isel a chyflenwadau hydrogen. Mae angen newidiadau yn nefnydd tir y DU hefyd. Mae dewisiadau ac effeithlonrwydd carbon isel yn gallu gwneud cyfraniad materol at ateb y gyllideb. Ochr yn ochr â'r gwarediadau yn seiliedig ar natur, erbyn 2035 dylai'r DU fod yn defnyddio bioynni (wedi'i dyfu i raddau helaeth yn y DU) a Dal a Storio Carbon i ddarparu gwarediadau wedi'u cynllunio o CO<sub>2</sub> ar raddfa.*

Cydnabyddir bod newidadau i ddefnydd tir yng Nghymru yn ofynnol. Mae bioynni yn opsiwn ond mae angen gofal i sicrhau bod gan y dadansoddiad cylch bywyd o blannu, cynnal a chynaeafu fudd lliniaru cadarnhaol. Yn ogystal mae'r swm o dir ar gael ar gyfer ehangu cnydau â'r yng Nghymru yn gymharol fach.

## 10 Cyfeiriadau

### Pennod 2

Eory, V., Topp, K., Rees, B., Leinonen, I., Maire, J., Macleod, M., Sykes, A. and Wall, E. (2020). Marginal abatement cost curve for Scottish agriculture. [www.climatexchange.org.uk](http://www.climatexchange.org.uk)

Fedrizzi, F., Cabana, H., Ndanga E. and Cobral, A. (2018) Biofiltration of methane from cow barns. Effects of climatic conditions and packing media acclimatization. *Waste Management* 78, 669-676.

Jones, A. K., Jones, D.L. and Cross, P. (2014). The carbon footprint of lamb: sources of variation and opportunities for mitigation. *Agricultural Systems* 123: 97-107.

Moran, D., Eory, V., McVittie, A., Wall, E., Topp, K., McCracken, D. and Haskell, M. (2020) Wider implications of greenhouse gas mitigation measures in English agriculture - Defra AC0226

Welsh Government (2021). Net Zero Wales Carbon Budget 2 (2021-2025). Net Zero Wales Carbon Budget 2 (2021 to 2025) | GOV.WALES

UKCCC Advice Report: The path to a Net Zero Wales. December 2020. [www.theccc.org.uk/publications](http://www.theccc.org.uk/publications)

### Pennod 3

AHDB RB209 Section 1 Principles of nutrient management and fertiliser use.

Allen, M. R., Shine, K., Fuglestedt, J., Millar, R., Cain, M., Frame, D. and Macey, A. (2018). A solution to the misrepresentations of CO<sub>2</sub>-equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *Clim. Atmos. Sci.* 1, 16.

Brown, P., Cardenas, L., Choudrie, S., Del Vento, S., Karagianni, E., MacCarthy, J., Mullen, P., Passant, N., Richmond, B., Smith, H., Thistlethwaite, G., Thomson, A., Turtle, L. and Wakeling, D. UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2019. Annual Report for Submission under the Framework Convention on Climate Change. UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2019 ([defra.gov.uk](http://defra.gov.uk))

Cain, M., Lynch, J., Allen, M.R., Fuglestedt, J.S., Frame, D. and Macey, A.H. (2019) Improved calculation of warming-equivalent emissions for short-lived climate pollutants. *Climate and Atmospheric Science* 2:29.

Chen, D., M. Rojas, M., Samset, B.H., Cobb, K., Diongue Niang, A., Edwards, P., Emori, S., Faria, S.H., Hawkins, E., Hope, Huybrechts, P., Meinshausen, M., Mustafa, S.K., Plattner, G.K. and Tréguier A.M. (2021) Framing, Context, and Methods. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of 10 Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*

DEFRA GHG R&D Platform, (2013). Defra, UK - Science Search

Evans, C., Artz, R., Moxley, J., Smyth, M-A., Taylor, E., Archer, N., Burden, A., Williamson, J., Donnelly, D., Thomson, A., Buys, G., Malcolm, H., Wilson, D., Renou-Wilson, F. and Potts J. (2017). Implementation of an emission inventory for UK peatlands. Report to the Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor.

Matthews, R. (2020). ERAMMP Report-36 National Forest in Wales - Evidence Review Annex-4: Climate Change Mitigation

UNFCCC (2019) Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement on the third part of its first session, held in Katowice from 2 to 15 December 2018

Welsh Government (2021) Emissions of Greenhouse Gases by Year ([gov.wales](http://gov.wales)).

### Pennod 4

Alison, J., Thomas, A., Evans, C.D., Keith, A.M., Robinson, D.A., Thomson, A., Dickie, I., Griffiths, R.I., Williams, J., Newell-Price, J.P., Williams, A.G., Williams, A.P., Martineau, A.H., Gunn, I.D.M. &

Emmett, B.A. (2019). Technical Annex 3: Soil Carbon Management. In Environment and Rural Affairs Monitoring & Modelling Programme (ERAMMP): Sustainable Farming Scheme Evidence Review. Report to Welsh Government (Contract C210/2016/2017). Centre for Ecology & Hydrology Project NEC06297.

Alvarez, R., (2005). A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use Manag.* 21, 38–52.

Ammann, C., Flechard, C.R., Leifeld, J., Neftel, A., Fuhrer, J., (2007). The carbon budget of newly established temperate grassland depends on management intensity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121, 5–20.

Axe, M., Grange, I.D. and Conway, J.S. (2017) Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 250, 81-88

Bellamy, P., Loveland, P., Bradley, R. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. *Nature* 437, 245–248 (2005).

Black, K., Green, S., Mullooley, G. and Poveda A. (2014). Carbon Sequestration by Hedgerows in the Irish Landscape. EPA Climate Change Research Programme (CCRP) 2007-2013 Report Series No. 32 Bioenergy crops.

Bradford, M.A, Keiser, A.D., Davies, C.A., Mersmann, C.A. and Strickland, M. S. (2013). Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. *Biogeochemistry* 113, 271-281.

Bradley, R.I., Milne, R., Bell, J., Lilly, A., Jordan, C., and Higgins, A. (2005) A soil carbon and land use database for the United Kingdom. *Soil Use and Management* 21, 363-369.

Briske, D., Derner, J., Brown, J., Fuhlendorf, S., Teague, R., Gillen, B., Ash, A., Havstad, K. and Willms, W. (2008). Rotational Grazing on Rangelands: An Evaluation of the Experimental Evidence. *Rangeland Ecology and Management*, 61, 3-17.

Buckingham, S., Cloy, J., Topp, K., Rees, B., and Webb, J. (2013). Capturing Cropland and Grassland Management Impacts on Soil Carbon in the UK LULUCF Inventory. Defra project SP1113.

Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E. and Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 236, 243–255.

Chamberlain, P.M., Emmett, B.A., Scott, W.A., Black, H.I.J., Hornung, M., Frogbrook, Z.L., (2010). No change in topsoil carbon levels of Great Britain, 1978–2007. *Biogeosciences Discuss.* 7, 2267–2311.

Chenu, C., Angers D.A., Barré, P., Derrien, D., Arrouays, D. and Balesdent, J. (2019) Increasing organic stocks in agricultural soils: Knowledge gaps and potential innovations, *Soil and Tillage Research*, 188, 41-52.

Conant, R.T., Paustian, K. and Elliot, E. (2001) Grassland Management and Conversion into Grassland: Effects on Soil Carbon. *Ecological Applications*, 11(2), 343–355.

Conant, R.T., Cerri, C.E.P., Osborne, B.B. and Paustian, K. (2017) Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. *Ecol Appl* 27, 662–668.

Daniels, S.M., Evans, M.G., Agnew, C.T. and Allott, T.E.H. (2012). Ammonium release from a blanket peatland into headwater stream systems. *Environmental Pollution* 163, 261-272.

Emmett, B., 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). CS Technical Report No. 9/07: Soils Report from 2007.

Evans, C., Rawlins, B., Grebby, S., Scholefield, P. and Jones, P. (2015). Glastir Monitoring & Evaluation Programme. Mapping the extent and condition of Welsh peat. (Contract reference C147/2010/11), Centre for Ecology and Hydrology, Bangor. <https://gmep.wales/resources>.



Evans, C., Artz, R., Moxley, J., Smyth, M-A., Taylor, E., Archer, N., Burden, A., Williamson, J., Donnelly, D., Thomson, A., Buys, G., Malcolm, H., Wilson, D., Renou-Wilson, F., and Potts J. (2017). Implementation of an emission inventory for UK peatlands. Report to the Department for Business, Energy and Industrial Strategy, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor.

Evans, C.D., Peacock, M., and Baird, A.J. (2021). Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions. *Nature* 593, 548–552.

Falloon, P., Powlson, D., and Smith, P. (2010). Managing field margins for biodiversity and carbon sequestration: a Great Britain case study. *Soil Use Manag.* 20, 240–247.

FAO (2017) Voluntary Guideleines for Sustainable Soil Management

Fornara, D A , Wasson, E-A, Christie, P. and Watson, C. (2016) Long-term nutrient fertilization and the carbon balance of permanent grassland: any evidence for sustainable intensification? *Biogeosciences*, 13, 4975–4984.

Fornara, D A, Olave, R. and Higgins A. (2020) Evidence of low response of soil carbon stocks to grassland intensification. *Agriculture, Ecosystems and the Environment*, 287, 10675

Freibauer, A., Rounsevell, M.D.A., Smith, P. and Verhagen, J., 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122, 1–23.

Frogbrook Z.L., Bel, I J, Bradley, .R.I., Evans, C., Lark, R.M., ,Reynolds B., Smith, P, and Towers, W. (2009) Quantifying terrestrial carbon stocks: examining the spatial variation in two upland areas in the UK and a comparison to mapped estimates of soil carbon. *Soil Use and Management* 25: 320-332.

Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Rööös, E., Smith, P., de Boer, I.J.M., zu Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C., Schader, C. and van Zanten, H. (2017). Grazed and Confused? Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question – and what it all means for greenhouse gas emissions. FCRN, University of Oxford.

Godde, C. M., de Boer, I. J. M., zu Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C. E., Muller, A., Rööös, E., Schader, C., Smith, P., van Zanten, H.H. and Garnett, T. (2020) Soil carbon sequestration in grazing systems: managing expectations. *Climatic Change*. 161:385–391.

Guo, L.B. and Gifford, R.M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345-360.

Henderson, B.B., Gerber, P.J., Hilinski, T.E., Falcucci, A., Ojima D.S., Salvatore, M. and Conant, R.T. (2015). Greenhouse gas mitigation potential of the world's grazing lands: Modeling soil carbon and nitrogen fluxes of mitigation practices. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 207, 91-100.

Hopkins, D.W., Waite, I.S., McNicol, J.W., Poulton, P.R., Macdonald, A.J. and O'Donnell, A.G. (2009). Soil organic carbon contents in long-term experimental grassland plots in the UK (Palace Leas and Park Grass) have not changed consistently in recent decades. *Glob. Chang. Biol.* 15, 1739–1754.

Eggelston, S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M. and Bastos, A.C. (2011) A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis *Agric. Ecosyst. Environ.* 144 175–187.

Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., and Verheijen, F. (2017) Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. *Environ. Res. Lett.* 12 053001.

Jobbágy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. *Ecological Applications*, 10, 423-436.

Jones, S.K., Rees, R.M., Kosmas, D., B. C. Ball, B.C., and Skiba, U.M. (2006) Carbon sequestration in a temperate grassland; management and climatic controls *Soil Use and Management*, 22 132-142

- Kell, D. (2012) Large-scale sequestration of atmospheric carbon via plant roots in natural and agricultural ecosystems: why and how. *Phil. Trans. R. Soc. B* 367, 1589–1597.
- Liu, L. and Greaver, T.L. (2010). A global perspective on below-ground carbon dynamics under nitrogen enrichment. *Ecol. Lett.* 13, 819–828 (2010).
- Manley, J., van Kooten, G.C., and Moeltner, K. (2005). Creating Carbon Offsets in Agriculture through No-Till Cultivation: A Meta-Analysis of Costs and Carbon Benefits. *Climatic Change* 68, 41–65.
- Matthews, R. (2020) ERAMMP Report-36 National Forest in Wales - Evidence Review Annex-4: Climate Change Mitigation. Report to Welsh Government (Contract C210/2016/2017). Centre for Ecology & Hydrology Project NEC06297
- McCalmont, J., McNamara, N. P., Donnison, I., Farrar, K. and Clifton-Brown, J. (2017a). An inter-year comparison of CO<sub>2</sub> flux and carbon budget at a commercial-scale land-use transition from semi-improved grassland to *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy* 9, 229–245.
- McCalmont, J., Hastings, A., McNamara, N., Richter, G. M., Robson, P., Donnison, I., and Clifton-Brown, J. (2017b). Environmental costs and benefits of growing *Miscanthus* for bioenergy in the UK. *GCB Bioenergy*, 9(3), 489-507.
- McSherry, M.E. and Ritchie, M.E. (2013). Effects of grazing on grassland soil carbon: a global review. *Global Change Biology*, 19, pp. 1347–1357.
- Morison, J., Matthews, R., Miller, G., Perks, M., Randle, T., Vanguelova, E., White, M. and Yamulki, S. (2012). Understanding the carbon and greenhouse gas balance of forests in Britain. Forestry Commission Research Report. Forestry Commission, Edinburgh
- Neff, J.C., Townsend, A.R., Gleixner, G., Lehman, S.J., Turnbull, J. and Bowman, W.D. (2002) Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature* 419:915–917
- Nordberg, M. and Roos, E. (2016) Holistic management – a critical review of Allan Savory's grazing method. Swedish University of Agricultural Sciences
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P. and Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature* 532(7597), 49-57
- Poepflau, C. and Don, A. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—a meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41.
- Poepflau, C., Zopf, D., Greiner, B., Geerts, R., Korvaar, H., Thumm, U., Don, A., Heidkamp, A. and Flessa, H., (2018). Why does mineral fertilization increase soil carbon stocks in temperate grasslands? *Agric. Ecosyst. Environ.* 265, 144–155.
- Poirier, V., Angers, D.A., Rochette, P., Chantigny, M.H., Ziadi, N., Tremblay, G. and Fortin, J. (2009). Interactive effects of tillage and mineral fertilization on soil carbon profiles, 73(1), 255-261. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2008.0006>
- Poirier, V., Roumet, C, and Munson, A.D. (2018). The root of the matter: linking root traits and soil organic matter stabilization processes. *Soil Biology and Biochemistry* 120: 246–259.
- Poulton, P., Johnston, J., Macdonald, A., White, R., and Powlson, D. (2018) Major limitations to achieving “4 per 1000” increases in soil organic carbon stock in temperate regions: Evidence from long-term experiments at Rothamsted Research, United Kingdom. *Glob Change Biol.* 24:2563–2584.
- Powlson, D.S., Whitmore, A.P. and Goulding, K.W.T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination to identify the true and the false. *Eur. J. Soil Sci.* 62, 42–55.
- Powlson, D S, , Stirling, C. M., Jat, M. L., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A. and Cassman, K.G. (2014) Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation. *Nature Clim Change* 4, 678–683.
- Quinn, R.J., Ha, H. and Volk, T.A. (2020) Life cycle assessment of forest biomass energy feedstock in the Northeast United States. *GCB Bioenergy*. 12:728–741.

- Schils, R.L.M., Verhagen, A., Aarts, H.F.M. and Šebek, L.B.J. (2005). A farm level approach to define successful mitigation strategies for GHG emissions from ruminant livestock systems. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 71, 163–175.
- Schlesinger, W.H. and Amundson, R. (2019). Managing for soil carbon sequestration: Let's get realistic. *Glob. Chang. Biol.* 25, 386–389.
- Schrumpf, M., Schulze, E.D., Kaiser, K., and Schumacher, J. (2011): How accurately can soil organic carbon stocks and stock changes be quantified by soil inventories?, *Biogeosciences*, 8, 1193–1212,
- Schulze, E. D., Luysaert, S., Ciais, P., Freibauer, A., Janssens, I. A., Soussana, J. F., Smith, P., Grace, J., Levin, I., Thiruchittampalam, B., Heimann, M., Dolman, A. J., Valentini, R., Bousquet, P., Peylin, P., Peters, W., Rodenbeck, C., Etiope, G., Vuichard, N., Wattenbach, M., Nabuurs, G. J., Poussi, Z., Nieschulze, J., and Gash, J. H. (2009) Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse-gas balance, *Nat. Geosci.*, 2, 842– 850.
- Shi, S.W., Zhang, W., Zhang, P., Yu, Y.Q. and Ding, F. (2013). A synthesis of change in deep soil organic carbon stores with afforestation of agricultural soils. *Forest Ecol. Manag.* 296, 53–63.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. and Paustian, K. (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter : Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241, 155–176.
- Smith, P., Andren, O., Karlsson, T., Perala, P., Regina, K., Rounsevell, M. and Van Wesemael, B. (2005) Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology* 11, 2153–2163
- Smith, P. et al. (2007) ECOSSE - Estimating carbon in organic soils sequestration and emissions. Climate Change and Air Division, Scottish Executive, Edinburgh
- Smith, P., Chapman, S.J., Scott, A.W., Black, H.I.J., Wattenbach, M., Milne, R., Campbell, C.D., Lilly, A., Ostle, N., Levy, P.E., Lumsdon, D.G., Millard, P., Towers, W., Zaehle, S., and Smith, J.U. (2007). Climate change cannot be entirely responsible for soil carbon loss observed in England and Wales, 1978-2003. *Glob. Chang. Biol.* 13, 2605–2609.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M. and Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos Trans R Soc*, 363(1492), 789–813.
- Smith, P. (2008). Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 81, 169–178.
- Smith P. (2014) Do grasslands act as a perpetual sink for carbon? *Global Change Biology* 20, 2708–2711
- Smith P. et al. (2016) Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. *Nature Climate Change* 6, 42-50.
- Sokol N., Kuebbing S.E., Karlsen-Ayala E., and Bradford M. (2019). Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter in forming soil organic carbon. *New Phytologist*, 221: 233-246.
- Soussana J.F., Allard V, Pilegaard K, Ambus C, Campbell C, Ceschia E, Clifton-Brown J, Czobel S, Domingues R, Flechard C, Fuhrer J, Hensen A, Horvath L, Jones M, Kasper G, Martin C, Nagy Z, Neftel A, Raschi A, Baronti S, Rees RM, Skiba U, Stefani P, Manca G, Sutton M, Tuba Z and Valentini R (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO2, N2O CH4) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, 121–134.
- Soussana J.F., Tallec, T. and Blanfort, V. (2010) Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 4:3 334–350.
- Soussana, J.F. and Lemaire, G., (2014). Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190, 9–17.

Thomson, A., Buys, G., Cliverd, H. Malcolm, H., Henshall, H. and Matthews R. (2020) Projections of Emissions and Removals from the LULUCF Sector to 2050/2100 : National Atmospheric Emissions Inventory Report ERG 1103

Upson, M.A., Burgess, P.J. and Morison J.I.L. (2016). Soil carbon changes after establishing woodland and agroforestry trees in a grazed pasture. *Geoderma* 283: 10-20.

Vanguelova, E.I., Nisbet, T.R., Moffat, A.J., Broadmeadow, S., Sanders, T.G.M. and Morison, J.I.L. (2013) A new evaluation of carbon stocks in British forest soils. *Soil Use and Management* 29, 169-181.

Welsh Government (2020) Land Use Statistics and research | GOV.WALES

Welsh Government (2021) Emissions of Greenhouse Gases by Year (gov.wales)

White, R.E, Davidson, B., Shu Kee Lam and Chen, D. (2018) A critique of the paper 'Soil carbon 4 per mille' by Minasny et al. (2017) *Geoderma* 309, 115-117.

Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J. and Joseph, S. (2010) Sustainable biochar to mitigate global climate change *Nat. Commun.* 1 56, 1-9.

## Pennod 5

AHDB (2021) RB209 Principles of Nutrient Management

Akiyama, H., Xiaoyuan, Y. and Yagi, K. (2010) Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N<sub>2</sub>O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16 ,1837-1846

Amon, B., V. Kryvoruchko, V., Amon, T., and Zechmeister-Boltenstern S. (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 112, 2–3, 153-162.

Badgley, C., Mohhtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappel, M., Aviles-Vazquez, K., Perfecto, I. (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22, 86-108.

Banks C. J., Salter, A.M., Heaven, S. and Riley, K. (2011) Energetic and environmental benefits of co-digestion of food waste and cattle slurry: a preliminary assessment. *Resources, Conservation and Recycling* 56, 71-79.

Bernet, N., N. Delgenes, J. C. Akunna, J. P. Delgenes, and R. Moletta. 2000. Combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggy wastewater. *Water Res.* 34:611–619

Butterbach-Bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., and ZechmeisterBoltenstern, S. (2013). Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Phil. Trans. R. Soc. B* 368:20130122.

Cao, Y., Wang, X., Liu, L., Velthof, G. L., Misselbrook, T. H., Bai, Z. and Ma, L. (2020) Acidification of manure reduces gaseous emissions and nutrient losses from subsequent composting process. *Journal of Environmental Management*. 264, 110454.

Cardenas, L. M., Bhogal, A., Chadwick, D.R., McGeough, K., Misselbrook, T. H., Rees, R. M., Thorman, R. E., Watson, C. J., Williams, J. R., Smith, K. A. and Calvet, S. (2019). Nitrogen use efficiency and nitrous oxide emissions from five UK fertilised grasslands. *Science of the Total Environment*. 661, 696-710.

Cardenas, L.M., Thorman R, and Ashlee N. (2010) Quantifying annual N<sub>2</sub>O emission fluxes from grazed grassland under a range of inorganic fertilizer nitrogen inputs. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 136, 218–226.

Cardenas, L. M., Bol, R., Lewicka-Szczebak, D., Gregory, A. S., Matthews, G. P., Whalley, W. R., Misselbrook, T. H., Scholefield, D. and Well, R. (2017). Effect of soil saturation on denitrification in a grassland soil. *Biogeosciences*. 14 (20), 4691-4710.

Cardenas, L. M., Misselbrook, T. H., Hodgson, C. J., Donovan, N., Gilhespy, S. L., Smith, K. A., Dhanoa, M. S. and Chadwick, D. R. (2016). Effect of the application of cattle urine with or without the nitrification inhibitor DCD, and dung on greenhouse gas emissions from a UK grassland soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 235, 229-241.

Carswell, A. M., Shaw, R., Hunt, J., Sanchez-Rodriguez, A. R., Saunders, K. S., Cotton, J., Hill, P. W., Chadwick, D. R., Jones, D. L. and Misselbrook, T. H. (2018). Assessing the benefits and wider costs of different N fertilisers for grassland agriculture. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 65 (5), pp. 625 - 639.

Cassman, K.G., Dobermann, A. and Walters, D.T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*, 31, 132–140.

Chadwick, D. (2005). Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmos. Environ.* 39, 787–799.

Chadwick, D., Sommer S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B. and Misselbrook, T. (2011) Manure management: Implications for greenhouse gas emissions, *Animal Feed Science and Technology*, 166–167, 514-531,

Chambers B. and Dampney P., (2009) Nitrogen efficiency and ammonia emissions from urea<sup>360</sup> based and ammonium nitrate fertilizers. Proc No. 657, Internat Fert Soc, York, UK

Chambers, B.J., Smith, K.A., and Pain, B.F. (2000) Strategies to encourage better use of nitrogen in animal manures. *Soil Use Management* 16,157–161.

Crews, T. and Peoples, M. (2004) Legume versus Fertilizer Sources of Nitrogen: Ecological Tradeoffs and Human Needs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 102, 279-297.

Davidson, E.A., Keller, M, Erickson, H.E, Verchot, L.V. and Veldkamp, E. (2000) Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *Bioscience* 50, 667 – 680.

De Ponti, T., Rijk, B. & van Ittersum, M. K. (2012) The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108, 1–9.

Defra, UK - Science Search

DEFRA (2020) Soil Nutrient Balances - UK Provisional Estimates for 2019

Dijkstra, J., Oenema, O., Van Groenigan, J., Spek, J., Van Vuuren, A., and Bannink, A. (2013). Diet effects on urine composition of cattle and N<sub>2</sub>O emissions. *Animal*, 7, 292-302.

Dobbie, K.E. and Smith, K.A. (2006) The effect of water table depth on emissions of N<sub>2</sub>O from a grassland soil. *Soil Use Manage.*, 22, 22–28.

Duncan, E.W., Dell, C.J., Kleinman, P.J. and Beegle, D.B. (2017). Nitrous oxide and ammonia emissions from injected and broadcast-applied dairy slurry. *J. Environ Qual.*46, 36–44.

Eory, V., Maire, J., MacLeod, M., Sykes, A., Barnes, A., Rees, R.M., Topp, C.F.E. and Wall, E. (2020) Non-CO<sub>2</sub> abatement in the UK agricultural sector by 2050 Summary report submitted to UKCCC to support the 6th Carbon Budget in the UK

Ellis J.L., Dijkstra J., Bannink A., Parsons A.J., Rasmussen S., Edwards G.R., Kebreab E. and France J. (2011). The effect of high-sugar grass on predicted nitrogen excretion and milk yield simulated using a dynamic model. *Journal of Dairy Science*, 94, 3105-3118.

EU Nitrogen Expert Panel (2015). Nitrogen Use Efficiency (NUE) - an indicator for the utilization of nitrogen in agriculture and food systems. Wageningen University, Alterra, PO Box 47, NL-6700 Wageningen, Netherlands.

Fanguero, D., Hjorth, M., and Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry--a review. *J Environ Manage.* 149:46-56.

Firestone, M.K. and Davidson, E.A. (1989) Microbiological Basis of NO and N<sub>2</sub>O Production and Consumption in Soils. In: Andreae, M.O. and Schimel, D.S., Eds., Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere, John Willey and Sons, New York, 7-21

Foskolos, A., and Moorby, J. (2017). The use of high sugar grasses as a strategy to improve nitrogen utilization efficiency: A meta-analysis. *Advances in Animal Bioscience* 8. 072  
<https://doi.org/10.1017/S2040470017001479>

Fu, Q., Abadie, M., Blaud, A., Carswell, A.M., Misselbrook, T.H., Clark, I.M. and Hirsch, P.R. (2019). Effects of urease and nitrification inhibitors on soil N, nitrifier abundance and activity in a sandy loam soil. *Biology And Fertility of Soils*. 1-10.

Gillingham AG, Ledgard SF, Saggar S, Cameron KC, Di HJ, de Klein CAM, Aspin MD (2012) Initial evaluation of the effects of dicyandiamide (DCD) on nitrous oxide emissions, nitrate leaching and dry matter production from dairy pastures in a range of locations within New Zealand. In: Currie LD, Christensen CL (eds) *Advanced nutrient management: gains from the past-goals for the future*. Occasional report no. 25, FLRC. Massey University, Palmerston North,

Gilsanz, C., Baez, D., Misselbrook, T.H., Dhanoa, M.S., and Cardenas, L.M. (2016). Development of emission factors and efficiency of two nitrification inhibitors, DCD and DMPP. *Agric. Ecosyst. Environ.* 216, 1–8.

Hansen, M.N., Henriksen, K., Sommer, S.G., (2006). Observations of production and emission of greenhouse gases and ammonia during storage of solids separated from pig slurry: effects of covering. *Atmos. Environ.* 40, 4172–4181.

Hoben JP, Gehl RJ, Millar N, et al. (2011). Non-linear nitrous oxide response to nitrogen fertilizer in on-farm corn crops of the US Midwest. *Glob Change Biol* 17: 1140–52.

Huhtanen, P. and Hristov, A.N. (2009). A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 3222–3222.

Jacobsen, B.H. (2017). Why is acidification of slurry a success only in Denmark? Transfer of environmental technology across borders. Paper presented at IFMA Congress, Edinburgh, United Kingdom.

Jensen, E. S., Peoples, M. B., Boddey, R. M., Gresshoff, P. M., Hauggaard-Nielsen, H., Alves, B. J. R., & Morrison, M. J. (2012). Legumes for mitigation of climate change and the provision of feedstock for biofuels and biorefineries: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(2), 329–364.

Kamal P. Adhikari, Grace Chibuike, Surinder Saggar, Priscila L. Simon, Jiafa Luo, Cecile A.M. de Klein (2021) Management and implications of using nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from urine patches on grazed pasture soils – A review, *Science of The Total Environment*, 79, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148099>.

Klefoth, R. R., Clough, T. J., Oenema, O., & van Groenigen, J. W. (2014). Soil bulk density and moisture content influence relative gas diffusivity and the reduction of nitrogen-15 nitrous oxide. *Vadose Zone Journal*, 13(11). <https://doi.org/10.2136/vzj2014.07.0089>

Kupper, T., Hani, C., Neftel, A., Kincaid, C., Buhler, M., Amon, B. and VanderZaag A. (2020) Ammonia and greenhouse gas emissions from slurry storage – a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 300, 106963'

Lam, S.K., Suter, H., Mosier, A.R., and Chen, D. (2017). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N<sub>2</sub>O emission: a double-edged sword? *Glob. Change Biol.* 23, 485–489

Lazcano, C., Tsang, A., Doane, T.A., Pettygrove, G.S., Horwath, W.R., and Burger, M. (2016). Soil nitrous oxide emissions in forage systems fertilized with liquid dairy manure and inorganic fertilizers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 225, 160–172.

Li, D., Watson, C.J., Yan, M.J., Lalor, S., Rafique, R., Hyde, B., Lanigan, G., Richards, K.G., Holden, N.M. and Humphreys J. (2013). A review of nitrous oxide mitigation by farm nitrogen management in temperate grassland-based agriculture. *J Environ Management* 128: 893-903.

- Ledgard S., Schils R., Eriksen J. and Luo J. Environmental impacts of grazed clover/grass pastures. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2009;48:209–226
- Loyon, L., Burton, C.H., Misselbrook, T.H., Webb, J., Philippe, F.X., Aguilar, M., Doreau, M., Hassouna, M., Veldkamp, T., Dourmad, J.Y., Bonmati, A., Grimm, E. and Sommer, S.G. (2016). Best available technology for European livestock farms: Availability, effectiveness and uptake. *Journal of Environmental Management*. 166, 1-11.
- Luo, G. J., Kiese, R., Wolf, B., and Butterbach-Bahl, K. (2013) Effects of soil temperature and moisture on methane uptake and nitrous oxide emissions across three different ecosystem types, *Biogeosciences*, 10, 3205–3219.
- Maaz, T.M., Sapkota, T.B., Eagle, A.J., Kantar, M.B., Bruulsema, T.W. and Kaushik, M. (2021) Meta-analysis of yield and nitrous oxide outcomes for nitrogen management in agriculture. *Global Change Biology* 2021;27:2343–2360.
- Marsden, K.A., Scowen, M., Hill, P.W., Jones, D.L., Chadwick, D.R., 2015. Plant acquisition and metabolism of the synthetic nitrification inhibitor dicyandiamide and naturally-occurring guanidine from agricultural soils. *Plant Soil* 395, 201–214
- Masse, D. I., G. Talbot, and Y. Gilbert. 2011. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:436–445
- McGeough, K. L., Watson, C. J., Müller, C., Laughlin, R.J., and Chadwick, D.R. (2016). Evidence that the efficacy of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) is affected by soil properties in UK soils. *Soil Biol. Biochem.* 94, 222–232
- McSwiney, C. P. and G. P. Robertson. 2005. Non-linear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* sp.) cropping system. *Global Change Biology* 11:1712-1719.
- Miller, L. A., Moorby, J.M., Davies, D.R. Humphreys, M.O., Scollan, N.D. and MacRae, J.C. (2001). Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Milk production from late-lactation dairy cows. *Grass Forage Sci.* 56:383–394.
- Misselbrook, T., Hunt, J., Perazzolo, F., and Provolo, G.(2016). Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Slurry Storage: Impacts of Temperature and Potential Mitigation through Covering (Pig Slurry) or Acidification (Cattle Slurry). *J. Environ. Qual.* 45:1520–1530.
- Misselbrook, T.H., Cardenas, L.M., Camp, V., Thorman, R.E., Williams, J.R., and Rollett, A.J.(2014). An assessment of nitrification inhibitors to reduce nitrous oxide emissions from UK agriculture. *Environ. Res. Lett.* 9:115006.
- Misselbrook, T.H., Brookman, S.K.E., Smith, K.A., Cumby, T.R., Williams, A.G. and McCrory, D.F. (2005b). Crusting of stored dairy slurry to abate ammonia emissions: Pilot-scale studies. *J. Environ. Qual.* 34:411–419.
- Mondelaers, K., Aertsens, J., and van Huylenbroeck, G. (2009) A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *Br. Food J.*, 111, 1098–1119.
- Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A.N., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P.J., Henderson, B., Makkar, H.P. and Dijkstra J. (2013). Special topics--Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *J Anim Sci.* 91(11):5070-94.
- Oenema, O., Wrage, N., Velthof, G.L., van Groenigen, J.W., Dolfing, J. and Kuikman, P.J., (2005). Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 72, 51–65.
- Petersen, S. O., and Sommer, S.G. (2011). Ammonia and nitrous oxide interactions: Roles of manure organic matter management. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167:503–513

- Phelan, P., Moloney, A. P., McGeough, E. J., Humphreys, J., Bertilsson, J., O'Riordan, E.G. and O'Kiely, P. (2015) Forage Legumes for Grazing and Conserving in Ruminant Production Systems, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 34: 281-326.
- Phillips R, Tanaka D, Archer D, and Hanson J. 2009. Fertilizer application timing influences greenhouse gas fluxes over a growing season. *J Environ Qual* 38: 1569–79.
- Roboredo, M., Fanguero, D., Lage, S., and Coutinho, J.(2011). Phosphorus dynamics in soils amended with acidified pig slurry and derived solid fraction *Geoderma* 189-190, 328-333
- Rochette, P. and Janzen, H. (2005) Towards a revised coefficient for estimating N<sub>2</sub>O emissions from legumes. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 73, 171–179
- Rom, H.B. and Henriksen, K. (2000). Nitrogen loss from cattle housed on deep litter. In *Husdyrgødning og kompost* (ed. SG Sommer and J Eriksen), pp. 5–13. Forskningscenter for Økologisk Jordbrug, Tjele, Denmark
- Schils, R.L.M., van Groenigen, J.W., Velthof, G.L., and Kuikman, P.J. (2008) Nitrous oxide emissions from multiple combined applications of fertilizer and cattle slurry to grassland. *Plant Soil*, 310, 89–101.
- Sigurdarson JJ, Svane S, Karring H (2018) The molecular processes of urea hydrolysis in relation to ammonia emissions from agriculture. *Rev Environ Sci Biotechnol* 17:241–258
- Smith, K.A., Jackson, D.R., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., and Johnson, R.A. (2000). Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *J. Agric. Eng. Res.* 77, 277–287.
- Smith, L.G., Jones, P.J., Kirk, G.J.D., Pearce, B.D. & Williams, A.G. (2018) Modelling the impact of a widespread conversion to organic agriculture in England and Wales. *Land Use Policy* 76, 391–404.
- Smith, K., Dobbie, K., Thorman, R. and Yamulki, S. (2006). The effect on N fertiliser forms on nitrous oxide emissions. DEFRA Report NT26
- Smith, K.A., Dobbie, K.E., Thorman, R., Watson, C.J., Chadwick, D.R., Yamulki, S and Ball, B.C. (2012) The effect of N fertilizer forms on nitrous oxide emissions from UK arable land and grassland, *Nutr Cycl Agroecosyst* 93:127–149
- Smith, L.G., Kirk, G.J.D., and Jones, P.J. (2019). The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nat Commun* 10, 4641.
- Stehfest, E. and Bouwman, L. (2006) N<sub>2</sub>O and NO Emission from Agricultural Fields and Soils under Natural Vegetation: Summarizing Available Measurement Data and Modeling of Global Annual Emissions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 74, 207-228.
- Subbarao, G., Ito, O., Sahrawat, K., Berry, W., Nakahara, K., Ishikawa, T., Watanabe, T., et al., (2006). Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems: challenges and opportunities. *Critical Reviews in Plant Sciences* 25, 303-335.
- Thorman, R. E., Nicholson, F. A., Topp, C. F. E., Bell, M. J., Cardenas, L. M., Chadwick, D. R., Cloy, J. M., Misselbrook, T. H., Rees, R. M., Watson, C. J. and Williams, J. R. (2020). Towards Country-Specific Nitrous Oxide Emission Factors for Manures Applied to Arable and Grassland Soils in the UK. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4, p. 62. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00062>
- Thorman, R.E., Chadwick, D.R., Harrison, R., Boyles, L.O., and Matthews, R. (2007). The effect on N<sub>2</sub>O emissions of storage conditions and rapid incorporation of pig and cattle FYM into arable land. *Biosyst. Eng.* 97, 501–511
- Trenkel, M. (2010) Slow and Controlled Release Fertilizers. International Fertilizer Industry Association.
- Van der Weerden, T.J., Laurenson, S., Vogeler, I., Beukes, P.C., Thomas, S.M., Rees, R.M., Topp, C.F.E., Lanigan, G. and de Klein, C.A.M. (2017) Mitigating nitrous oxide and manure-derived methane emissions by removing cows in response to wet soil conditions. *Agricultural Systems* DOI: 10.1016/j.agsy.2017.06.010



- Van Groenigen, J.W., Zwart, K.B., Harris, D. and van Kessel, C. (2005). Vertical gradients of  $^{15}\text{N}$  and  $^{18}\text{O}$  in soil atmosphere  $\text{N}_2\text{O}$  – temporal dynamics in a sandy soil. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 19: 1289-1295
- Venterea, R.T., Halvorson, A.D., Kitchen, N. et al. (2012). Challenges and opportunities for mitigating nitrous oxide emissions from fertilized cropping systems *Front Ecol Environ* 10(10): 562–570
- Velthof, G. L. and Mosquera, J. (2011). The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 140, 298–308
- Vestergaard, A.V. (2014) SEGES report. Status, economy and consideration by acidification of slurry. INTERREG Baltic Sea Region. Baltic Slurry Acidification
- Webb, J., Chadwick, D., and Ellis, S., (2004). Emissions of ammonia and nitrous oxide following incorporation into the soil of farmyard manures stored at different densities. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 70, 67–76
- Webb, J., Ryan, M., Anthony, S. G., Brewer, A., Laws, J. A., Aller, M. F. and Misselbrook, T. H. (2006). Cost-effective means of reducing ammonia emissions from UK agriculture using the NARSES model. *Atmospheric Environment.* 40 (37), pp. 7222-7233.
- Webb, J., Pain, B., Bittman, S., and Morgan, J. (2010). The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response - a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 137, 39–46
- Welten, B.G., Ledgard, S.F. Balvert, M.J. et al. (2016). Effects of oral administration of dicyandiamide to lactating dairy cows on residues in milk and the efficacy of delivery via a supplementary feed source. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 217, 111-118
- Woodland Trust (2013). The Pontbren Project A farmer-led approach to sustainable land management in the uplands.
- Zaman, M, Nguyen, M.L., Blennerhassett, J.D. and Quin, B.F. (2008) Reducing  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NO}_3^-$ -N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. *Biol Fertil Soils* 44:693–705.
- Zerulla, W., Barth, T., Dressel, K.E, von Locquenghien, K.H. and Wissemeier, A.H. (2001) 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPPP)—a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. *Biol Fertil Soils* 34:79–84

## Pennod 6

- Abberton, M.T., MacDuff, J.H., Marshall, A.H. and Humphreys, M.W. (2007). The Genetic Improvement of Forage Grasses and Legumes to Reduce Greenhouse Gas Emissions. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Aboagye, I. A. and Beauchemin, K.A. (2019) Potential of Molecular Weight and Structure of Tannins to Reduce Methane Emissions from Ruminants: A Review. 9, 856. doi: 10.3390/ani9110856.
- AHDB (2015) A decade of genetic progress in the English sheep industry
- Alford, A.C., Hegarty, R.S., Parnell, P.F., Cacho, O.J., Herd, R.M., Cacho and Griffith, G.R. (2006). The impact of breeding to reduce residual feed intake on enteric methane emissions from the Australian beef industry. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46(7) 813-820.
- Alstrup L, Søgaard K, and Weisbjerg MR. (2016). Effects of maturity and harvest season of grass-clover silage and of forage-to-concentrate ratio on milk production of dairy cows. *J Dairy Sci.*99(1):328-40.
- Alstrup, L., Frydendahl Hellwing, A.L., Lund, P., Weisbjerg, M.R., (2015). Effect of fat supplementation and stage of lactation on methane production in dairy cows. *Animal Feed Sci. Tech.* 207, 10–19.
- Anderson R C, Huwe J K, Smith D J, Stanton T B, Krueger N A, Callaway T R, Edrington T S, Harvey R B, Nisbet DJ. (2010). Effect of nitroethane, dimethyl-2-nitroglutarate and 2- nitro-methyl-propionate on ruminal methane production and hydrogen balance in vitro. *Biores Technol.* 101: 5345–5349.

Beauchemin, K.A., Mcginn, S.M. and Petit, H.V.,(2007). Methane abatement strategies for cattle: lipid supplementation of diets. *Can. J. Anim. Sci.* 87, 431–440.

Beauchemin, K.A., Janzen, H.H., Little, S.M., McAllister, T.A. and McGinn, S.M. (2010.) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from beef production in western Canada: A case study. *Agricultural Systems*, 103, 371-379.

Bell, J., Beaton, CB., McDowell, MM., Hill, GJ., Stout, DS., Sellars, AS., Thomson, SG., Spencer, M., & Moxey, A. P. (2021). Suckler Beef Climate Change Group - Farm Carbon Case Studies. The Scottish Government.  
<https://www.gov.scot/binaries/content/documents/govscot/publications/independent-report/2021/01/suckler-beefclimate-scheme-final-report-2/documents/low-carbon-beef-case-study/low-carbon-beef-casestudy/govscot%3Adocument/low-carbon-beef-case-study.pdf>

Benchaar, C., Calsamiglia, S., Chaves, A.V., Fraser, G.R., Colombatto, D., McAllister, T.A., Beauchemin, K.A., (2008). A review of plant-derived essential oils in ruminant nutrition and production. *Anim. Feed Sci. Technol.* 145, 209–228.

Beukes, P.C., Gregorini, P., Romera, A.J., Levy, G., and Waghorn, G.C., (2010). Improving production efficiency as a strategy to mitigate greenhouse gas emissions on pastoral dairy farms in New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136, 358–365.

Capper, J. L., R. A. Cady, and D. E. Bauman. (2009). The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* 87:2160–2167

Cooke, J., Duthie, C. A., Troy, S., Hyslop, J., Ross, D., Waterhouse, T. and Roehe, R. (2014) Effects of dietary nitrate and lipid on methane emissions from beef cattle are basal diet dependant. SRUC

Cottle D.J. and Conington J. (2012) Breeding for reduced methane emissions in extensive UK sheep systems. *J Agric Science.* 150, 570-583.

Dijkstra, J A. Bannink, J. France, Kebreab, E. and van Gastelen S. (2018) Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fibre content, and cattle type. *J. Dairy Sci.* 101:9041–9047

Donoghue, KA, Bird-Gardiner, TL, Arthur, PF, Herd, RM and Hegarty, RS (2015). Genetic parameters for methane production and relationships with production traits in Australian beef cattle. *Association for the Advancement of Animal Breeding and Genetics* 21, 114–117.

Duval S and Kindermann M. ()2012. Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing enteric methane emissions in ruminants, and/or to improve ruminant performance. International Patent Application WO 2012/084629 A1, World Intellectual Property Organization, Geneve, Switzerland.

Ellis, J.L., J. Dijkstra, J., France, J., Parsons, A.J., Edwards, G.R., Rasmussen, S and Kebreab E. (2012) Effect of high-sugar grasses on methane emissions simulated using a dynamic model. *J. Dairy Sci.* 95 :272–285

Fedrizzi F., Cabana H., Ndanga E. and Cobral A. (2018) Biofiltration of methane from cow barns. Effects of climatic conditions and packing media acclimatization. *Waste Management* 78, 669-676.

Garnsworthy, P., (2004). The environmental impact of fertility in dairy cows: a modelling approach to predict methane and ammonia emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 211–223

van Gastelen, S., Dijkstra, J., and Bannink, A., (2019). Are dietary strategies to mitigate enteric methane emission equally effective across dairy cattle, beef cattle, and sheep? *J. Dairy Sci.* 102, 6109–6130.

Gerber, P J., Hristov A.N. B. Henderson B., Makkar H., Oh J., Lee C., Meinen R., Montes F., Ott T., Firkins J., Rotz A., Dell C., Adesogan A T., Yang W. Z., Tricarico J.M., Kebreab E., Waghorn G., Dijkstra J. and Oosting S. (2013) Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7:s2, pp 220–234

Gill, M, Smith, P. and Wilkinson J.M. (2009) Mitigating climate change: the role of domestic livestock *Animal* (2010), 4:3, 323–333

- Girard M, Ramirez AA, Buelna G and Heitz M (2011). Biofiltration of methane at low concentrations representative of the piggery industry – influence of the methane and nitrogen concentrations. *Chemical Engineering Journal* 168, 151–158.
- Grawert T, Hohmann H P, Kindermann M, Duval S, Bacher A, Fischer M. (2014). Inhibition of methyl-CoM reductase from *Methanobrevibacter ruminantium* by 2-bromoethanesulfonate. *J Agric Food Chem.* 62:12487–1249.
- Goopy, J.P. (2019). Creating a low enteric methane emission ruminant: what is the evidence of success to the present and prospects for developing economies? *Anim. Prod. Sci.* 59 (10), 1769–1776.
- Grossi G., Pietro Goglio P., Vitali A. and Williams A. J. (2019). Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies *Animal Frontiers.* 9, 69-76.
- Haskell, M.J., Rennie, L.J., Howell, V.A., M. J. Bell, M.J., and A. B. Lawrence A.B. (2006) Housing System, Milk Production, and Zero-Grazing Effects on Lameness and Leg Injury in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 89, 4259–4266
- Hassanat, F., Gervais, R., Julien, C., Massé, D.I., Lettat, A., Chouinard, P.Y., Petit, H.V. and Benchaar, C. (2013) Replacing Alfalfa Silage with Corn Silage in Dairy Cow Diets: Effects on Enteric Methane Production, Ruminal Fermentation, Digestion, N Balance, and Milk Production. *Journal of Dairy Science*, 96, 4553-4567.
- R.S. Hegarty, J.P. Goopy, R.M. Herd, B. McCorkell (2007) Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J. Anim. Sci.*, 85, 1479-1486
- B.J. Heins, L.B. Hansen, A.J. Seykora. (2006) Production of Pure Holsteins Versus Crossbreds of Holstein with Normande, Montbeliarde, and Scandinavian Red. *Journal of Dairy Science*, 89, 2799-2804,
- Herrero, M., R. Conant, R., Havlik P., Hristov, A N., Smith, P., Gerber, P.J., Gill, M., Butterbach-Bahl, K. and Henderson B, et al. 2016. Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nat. Clim. Change.* 6:452–461.
- Hristov, A. N., Oh, J. Giallongo, F., Frederick, T.W., Harper, M. T., Weeks, H.L., Branco, A.F., Moate, P.J., Deighton, M.H., Williams, S.R., Kindermann, M. and Duva S.I. (2015). An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no negative effect on milk production. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 112:10663–10668
- Hristov, A.N., Ott, T., Tricarico, J., Rotz, C.A., Waghorn, G., Adesogan, A., Dijkstra, J., Montes, F. Oh, J., Kebreab, E., Oosting, S., Gerber, P. J. Henderson, B., Makkar, H. and Firkins, J.. (2013). SPECIAL TOPICS -- Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: III. A review of animal management mitigation options. *Journal of Animal Science.* 91. 5095-5113.
- Hyland J. J., Styles D., Jones D.L. and Williams A.P. (2016) Improving livestock production efficiencies presents a major opportunity to reduce sectoral greenhouse gas emissions *Agricultural Systems* 147, 123-131.
- Jayanegara, A, Ageng Sarwono, K, Kondo, M, Matsui, M, Ridla, M, Laconi, E B, & Nahrowi (2018) Use of 3-nitrooxypropanol as feed additive for mitigating enteric methane emissions from ruminants: a meta-analysis, *Italian Journal of Animal Science*, 17:3, 650-656.
- Jayasundara, S., Ranga Niroshan Appuhamy, J. A. D, Kebreab E. and Wagner-Riddle C. (2016) Methane and nitrous oxide emissions from Canadian dairy farms and mitigation options. An updated review. *Canadian Journal of Animal Science* 96, 306-331.
- Johnson KA and Johnson DE (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73, 2483–2492.
- Jones A. K., Jones D.L. and Cross P. (2014). The carbon footprint of lamb: sources of variation and opportunities for mitigation. *Agricultural Systems* 123: 97-107.

- Jones HE, Warkup CC, Williams A and Audsley E (2008). The effect of genetic improvement on emissions from livestock systems. Conference of the 59th Annual Meeting of the European Association of Animal Production, 24–27 August 2008, Vilnius, Lithuania, Session 05, no. 6, p. 28
- Knapp, J. R., G. L. Laur, P. A. Vadas, W. P. Weiss, and J. M. Tricarico. (2014). Invited review: enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.* 97:3231– 3261.
- Kobayashi, Y., (2010). Abatement of methane production from ruminants: trends in the manipulation of rumen fermentation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 23, 410–416
- Lee MRF, Theobald VJ, Gordon N, Leyland M, Tweed JKS, Fychan R and Scollan ND (2014). The effect of high polyphenol oxidase grass silage on metabolism of polyunsaturated fatty acids and nitrogen across the rumen of beef steers. *Journal of Animal Science* 92, 5076–5087.
- Llonch, P., M. J. Haskell, R. J. Dewhurst, and S. P. Turner. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal.* 11:274–284.
- Lovett, D.K., Shalloo, L., Dillon, P., O'Mara, F.P., (2006). A systems approach to quantify greenhouse gas fluxes from pastoral dairy production as affected by management regime. *Agric. Syst.* 88, 156–179.
- Misselbrook T., del Prado, A. and Chadwick D. (2012). Opportunities for reducing environmental emissions from forage-based dairy farms. *Proceedings of XVI Silage Conference* 113-125
- Moate, P. J., S. R. O. Williams, G. Grainger, M. C. Hannah, E. N. Ponnampalam, and R. J. Eckard. (2011). Influence of cold-pressed canola, brewer's grains and hominy meal as dietary supplements suitable for reducing enteric methane emissions from lactating dairy cows. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 166–167:254–264.
- Montes, F., R. Meinen, C. Dell, A. Rotz, A. N. Hristov, J. Oh, G. Waghorn, P. J. Gerber, B. Henderson, H. P. Makkar, et al. (2013). Special topics—mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91:5070–5094.
- Moran, Dominic & Macleod, Michael & Wall, Eileen & Eory, Vera & Pajot, Guillaume & Mathews, R. & McVittie, Alistair & Barnes, Andrew & Rees, Bob & Moxey, Andrew & Williams, Adrian & Smith, Pete. (2008). UK Marginal Abatement Cost Curves for the Agriculture and Land Use, Land-Use Change and Forestry Sectors out to 2022, with Qualitative Analysis of Options to 2050. -.
- Moorby, J. M., Evans, R.T., Scollan, N.D., MacRae, J.C. and Theodorou.M.K. (2006). Increased concentration of water-soluble carbohydrate in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Evaluation in dairy cows in early lactation. *Grass Forage Sci.* 61:52–59.
- Moxey A and Thomson S. (2021). Estimated dairy emissions and their mitigation in the Smart Inventory. Scottish Government. Greenhouse gas inventory: estimated dairy emissions and their mitigation - gov.scot ([www.gov.scot](http://www.gov.scot))
- Nichols JR, Schingoethe DJ, Maiga HA, Briuk MJ and Piepenbrink MS (1998). Evaluation of corn distillers grains and ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81, 482–491
- O'Brien D. , Herron J., Andurand J., Caré S., Martinez P., Migliorati L., Moro M., Pirlo G. Dollé J.B. (2020) LIFE BEEF CARBON: a common framework for quantifying grass and corn based beef farms' carbon footprints. *Animal* 14:4, 834–845
- Odongo, N.E., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M.M., Hook, S.E., Gray, J.T., Kebreab, E., France, J., McBride, B.W., (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90 (4), 1781–1788.
- O'Mara, F.P., (2011). The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167, 7–15.

Ouatahar, L., Bannink, G., Lanigan, G., and Amon, B. (2021) Modelling the effect of feed management on greenhouse and nitrogen emissions in cattle farming systems. *Science of the Total Environment*, 776.

Parsons A.J, Rasmussen S and Rowarth J. (2011). High Sugar Grasses CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources

Pelletier, N., Pirog, R. and Rasmussen, R. (2010) Comparative life cycle environmental impacts of three beef production strategies in the Upper Midwestern United States. *Agricultural Systems*, 103, 380-389.

Pickering et al. (2013) "Consensus methods for breeding low methane emitting animals" a White Paper prepared by the Animal Selection, Genetics and Genomics Network of the Livestock Research Group of Global Research Alliance for reducing greenhouse gases from agriculture. <http://www.asggn.org/publications,listing,95,mpwg-white-paper.htm>

C. S. Pinares-Patino, S. M. Hickey, E. A. Young, K. G. Dodds, S. MacLean, G. Molano, E. Sandoval, H. Kjestrup, R. Harland, C. Hunt, N. K. Pickering and J. C. McEwan. (2013) Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal*, 7:316–321.

Samsonstuen, S., Åby, B.A., Crosson, P., Beauchemin, K.A., Bonesmo, H. and Aass, L. (2019) Farm scale modelling of greenhouse gas emissions from semi-intensive suckler cow beef production. *Agricultural Systems*, 176, 1-9.

Simm G, Bu" nger L, Villanueva B and Hill WG 2004. Limits to yield of farm species: genetic improvement of livestock. In *Yields of farmed species. Constraints and opportunities in the 21st century* (ed. R Sylvester-Bradley and J Wiseman), pp. 123–141. Nottingham University Press, Nottingham, UK

Smith, P., Martino, D., Cai, Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., et al., (2007). Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 6–28

Sun K, Liu H, Fan H, Liu T, Zheng C. (2021). Research progress on the application of feed additives in ruminal methane emission reduction: a review. *PeerJ* 9:e11151

Van der Heyden, C., Demeyer, P., & Volcke, E. I. P. (2015). Mitigating emissions from pig and poultry housing facilities through air scrubbers and biofilters: State-of-the-art and perspectives. *Biosystems Engineering*, 134, 74–93

Wall, E., Simm, G., and Moran, D. (2010). Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions. *Animal* 4:366– 376.

Wallace, R.J, G. Sasson, P. C. Garnsworthy, I. Tapio, E. Gregson, P. Bani, P. Huhtanen, A. R. Bayat, F. Strozzi, F. Biscarini, T. J. Snelling, N. Saunders, S. L. Potterton, J. Craigon, A. Minuti, E. Trevisi, M. L. Callegari, F. P. Cappelli, E. H. Cabezas-Garcia, J. Vilkki, C. Pinares-Patino, K.O. Fliegerová, J. Mrázek, H. Sechovcová, J. Kopečný, A. Bonin, F. Boyer, P. Taberlet, F. Kokou, E. Halperin, J. L. Williams, K. J. Shingfield, I. Mizrahi. (2019) A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions. *Sci. Adv.* 5, eaav8391.

Wilkinson J.M. and Lee M.R.F. (2017) Review: Use of human edible animal feed by ruminant livestock. *Animal* (2018), 12, 1735–1743

Williams, A., Chatterton J., G. Hateley G., Curwen A. Elliott J. (2015). A systems-life cycle assessment approach to modelling the impact of improvements in cattle health on greenhouse gas emissions. *Adv. Anim. Biosci.* 6:29–31.

Zehetmeier, M., J. Baudracco, H. Hoffmann and A. Heissenhuber, (2012). Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6: 154-166.

## Pennod 7

AHDB (2015) <https://ahdb.org.uk/beef-lamb>

AHDB (2020) RB209 Section 1 Principles of nutrient management and fertiliser use

Balmford, A. et al. (2018) The environmental costs and benefits of high yield farming. *Nature Sustainability* 1, 477-485

Barnes A., Eory V., Buys G., Stockdale E., Macleod M., Sykes, A., Norton L and Carter N. (2021) Delivering clean growth through sustainable Intensification. SRUC-NIAB-UKCEH

Capper, J.L., Pullman, W.A., Cady, R.A. and Dales, D.E. (2009) *The Relationship Between Cow Production and Environmental Impact*. Department of Animal Science, Cornell University, Ithaca, NY

DEFRA 2020 Greenhouse gas emissions from agriculture indicators - GOV.UK ([www.gov.uk](http://www.gov.uk))

Eory, V., Maire, J., Macleod, M., Sykes, A., Barnes, A., Rees, R., Topp, C. and Wall, E. (2020) Non-CO2 abatement in the UK agriculture sector by 2050. Report to UKCCC.

Eory, V., Topp, K., Rees, B., Leinonen, I., Maire, J., Macleod, M., Sykes, A. and Wall, E. (2020). Marginal abatement cost curve for Scottish agriculture. [www.climateexchange.org.uk](http://www.climateexchange.org.uk)

MacLeod, M., Moran, D., McVittie, A., Rees, B., Jones, G., Harris, D., Antony S., Wall, E., Eory V., Barnes A., Topp, K., Ball, B., Hoad, S. and Eory, L. (2010) Review and update of UK marginal abatement cost curves for agriculture. Report to UKCCC

Moran, D., Eory, V., McVittie, A., Wall, E., Topp, K., McCracken, D. and Haskell, M. Wider implications of greenhouse gas mitigation measures in English agriculture - Defra AC0226

## **Pennod 8**

Carlile, R., and Garnett, T. (2021). What is agroecology? TABLE Explainer Series. TABLE, University of Oxford, Swedish University of Agricultural Sciences and Wageningen University & Research

Danish Agriculture and Food Council (2020) Climate-neutral 2050 Climate neutral 2050 ([agricultureandfood.dk](http://agricultureandfood.dk))

Food, Farming and Countryside Commission <https://ffcc.co.uk/home>

Martineau, A.H., et al. (2019). Annex 7: Systems approach to GHG emissions reduction. ERAMMP Report to Welsh Government (Contract C210/2016/2017) (CEH NEC06297)

Y dudalen hon yn wag yn fwriadol

Swyddfa Rhaglen ERAMMP  
UKCEH Bangor  
Canolfan Amgylchedd Cymru  
Ffordd Deiniol  
Bangor, Gwynedd  
LL57 - 2UW  
+ 44 (0)1248 374500  
erammp@ceh.ac.uk

[www.erammp.wales](http://www.erammp.wales)  
[www.erammp.cymru](http://www.erammp.cymru)