

Amddiffyn pentref Fairbourne rhag llifogydd



Adroddiad wedi'i gyflwyno i Gyngor Cymuned Arthog

Graham Hall, PhD, FGS

Rhagfyr 2021

CYNNWYS

Crynodeb	3
1. Cyflwyniad	4
2. Rhagweld lefel y môr ac uchder tonnau	5
3. Cynllun presennol amddiffyn rhag llifogydd	7
4. Cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig	9
Daeareg	10
Amddiffynfeydd morol	11
Arglawdd rheilffordd	15
Arglawdd yr aber	17
Arglawdd llifogydd arfaethedig	18
Draeniad mewnol	20
Pwll cadw	25
Rhyng-gipio dŵr môr	27
5. Modelu hydrolegol	30
Llifogydd o'r môr	30
Llifogydd o'r aber	33
Llifogydd o ddŵr llethr bryn	35
Iseldir arfordirol	38
Draeniad mewnol ardal Fairbourne	40
6. Yr ardal amddiffyn rhag llifogydd allanol	44
Cors Arthog	45
Allfa aber	47
7. Crynodeb o'r gwaith ar gyfer y cynllun arfaethedig	48
Dilyniant adeiladu	48
Monitro, cynnal a chadw	52
8. Casgliadau ac argymhellion	53
9. Trafodaeth	55
Cyfeiriadau	61

CRYNODEB

Cymuned arfordirol yng ngheg aber afon Mawddach ym Mae Ceredigion yw Fairbourne . Mae'r pentref wedi'i adeiladu ar dir a adenillwyd yn ystod oes Fictoria o forfa heli a gwelyau cyrs y tu ôl i dafod graean mawr.

O ganlyniad i newid hinsawdd, ystyrir bod Fairbourne mewn perygl cynyddol o lifogydd. Daeth penderfyniad gan Gyngor Sir Gwynedd nad yw'n ymarferol parhau i amddiffyn yr arfordir yn Fairbourne. Bydd y pentref yn cael ei adael a'i ddymchwel rywbryd yn ystod yr 50 mlynedd nesaf, gyda'r holl drigolion yn cael eu hailsefydlu yn rhywle arall.

Yn y papur hwn, asesir cynllun amddiffyn yr arfordir presennol ar gyfer Fairbourne, a chynigir cynllun amgen. Byddai hyn yn ymgorffori'r morglawdd presennol, arglawdd llifogydd yr aber ac arglawdd y rheilffordd, a byddai angen adeiladu tua 700m o arglawdd llifogydd newydd ar draws tir amaethyddol. Mae adfer ac ymestyn rhwydwaith o ffosydd draenio yn ac o amgylch pentref Fairbourne a chreu pwll storio dŵr dros dro yn hanfodol i'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig. Byddai dŵr yn cael ei ollwng o'r system ffosydd i'r aber trwy lif disgyrchiant.

Gwnaethpwyd gwaith modelu i ddarganfod amodau ffiniau ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne yn ystod senario storm waethaf yn seiliedig ar lefel y môr a ragfynegydd ar gyfer 2065. Canfuwyd bod y morglawdd uwchlaw lefel y llanw mawr a ragwelwyd ac ymchwydd storm, ond gallai gael ei oresgyn gan donnau storm eithafol o bryd i'w gilydd. Amcangyfrifwyd uchafswm y dŵr sy'n debygol o lifo dros y morglawdd yn ystod storm. Sefydlogodd lefel y llanw ac ymchwydd storm o dan ben arglawdd llifogydd yr aber. Arhosodd dŵr nentydd o ochr y bryn uwchben Fairbourne, a gludwyd gan Afon Henddol. o fewn cynhwysedd y sianel heb orlifo dros y glannau.

Yna fe wnaeth y modelu efelychu amodau hydrolegol o fewn ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne. Defnyddiwyd glawiad am gyfnod storm estynedig o ddau ddiwrnod. Cyfrifwyd cyfraddau llif ar gyfer trosglwyddo dŵr llifogydd yn fewnol ar hyd ffosydd draenio, gan ddefnyddio'r pwll storio dros dro yn ôl yr angen. Roedd allbwn i'r aber yn dibynnu ar y llanw, ond canfuwyd y gellid cyflawni hyn trwy lif disgyrchiant yn unig heb yr angen am bwmpio.

Daethpwyd i'r casgliad y byddai'r cynllun arfaethedig yn gweithredu'n effeithiol i amddiffyn Fairbourne rhag llifogydd mewn senario storm waethaf yn seiliedig ar lefel y môr a ragwelir ar gyfer 2065. Mae modelu'n awgrymu na fyddai angen cynyddu uchder y morglawdd presennol ac arglawdd llifogydd yr aber hyd at y dyddiad hwn, ond efallai y bydd angen cynnydd bach mewn uchder o 1m wedyn.

Cynhaliwyd ymchwiliadau i wirio na fyddai'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig ar gyfer pentref Fairbourne yn cael effaith andwyol ar yr ardal amddiffyn rhag llifogydd ehangach rhwng Fairbourne ac Arthog. Canfuwyd na fyddai ardal ecolegol bwysig safle o ddiddordeb gwyddonol arbennig Cors Arthog yn cael ei effeithio, tra bod cyfle yn bodoli i wella draeniad tir amaethyddol rhwng Fairbourne a Morfa Mawddach trwy uwchraddio porth llanw presennol.

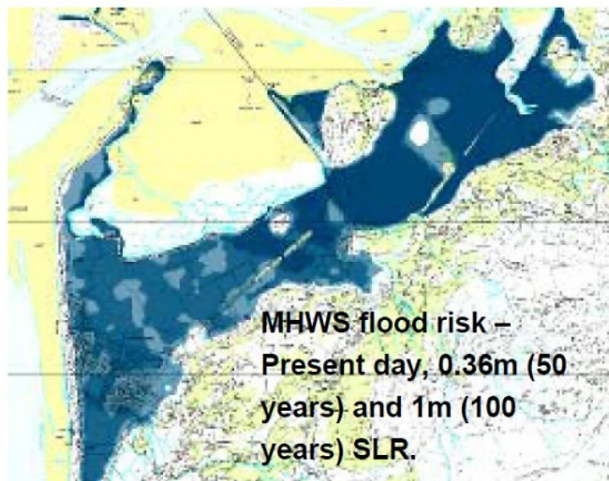
Darperir rhestr waith awgrymedig ar gyfer gweithredu'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd, ynghyd ag amserlen ar gyfer monitro a chynnal a chadw yn y cyfnod hyd at y flwyddyn 2065 a thu hwnt.

1. CYFLWYNIAD

Mae Fairbourne yn gymuned arfordirol weithgar yng ngheg aber afon Mawddach ym Mae Ceredigion. Adeiladwyd y pentref ar dir a adenillwyd yn ystod Oes Fictoria o forfa heli a gwelyau cyrs y tu ôl i dafod graean mawr Ro Wen. Mae'r pentref yn cynnwys terasau a filas Fictoraidd, ynghyd â thai a byngalos mwy diweddar, a pharc cartrefi symudol. Ymhlith y cyfleusterau mae'r traeth a'r twyni tywod, rheilffordd gul gyda chysylltiad fferi i Abermaw, a chwrs golff. Mae siopau a busnesau bwyd yn darparu ar gyfer trigolion lleol ac ymwelwyr. Mae gan y pentref orsaf reilffordd ar lein Arfordir y Cambrian rhwng Machynlleth a Phwllheli.

Penderfyniad cynllunio

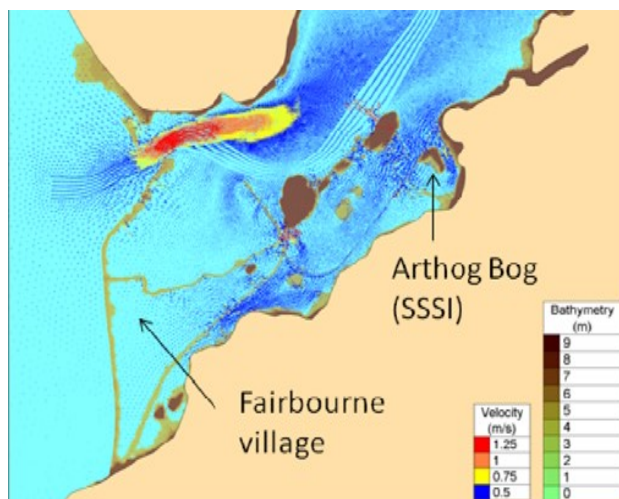
Comisiynwyd Cynllun Rheoli Traethlin Gorllewin Cymru (Haskoning, 2012) gan gonsortiw o Gynghorau Sir ac Asiantaethau Amgylcheddol sy'n gyfrifol am amddiffyn rhag llifogydd ar hyd arfordir Gorllewin Cymru. Cynhyrchwyd yr adroddiad mewn ymateb i bryderon ynglŷn â newid hinsawdd a chynnydd yn lefel y môr. Cyflwynwyd map sy'n nodi y byddai pentref cyfan Fairbourne dan ddŵr gan lanw arferol o fewn y 100 mlynedd nesaf.



Ffigur 1

Map wedi'i gynnwys yn y cynllun rheoli traethlin, yn dangos yr ardal o lifogydd a ragwelir pan fydd penllanw mawr arferol o dan amodau tawel y môr. Mae'r model yn rhagdybio y bydd y llifogydd hyn yn datblygu rywbryd yn y ganrif i ddod.

Mewn astudiaeth arall, rhagwelodd Robins (2011) y gallai Fairbourne fod o dan y dŵr yn llwyr ar hyn o bryd pe bai llifogydd yn ystod llanw mawr ynghyd ag ymchwydd storm o 2 m ychwanegol.



Ffigur 2

Map yn dangos yr ardal o lifogydd posibl ar hyn o bryd pe bai ymchwydd storm 2m yn cyfateb i benllanw mawr. Modelu cyfrifiadurol gan Robins (2011).

O ganlyniad i'r astudiaethau hyn, mae Cyngor Sir Gwynedd wedi penderfynu nad yw'n ymarferol parhau i amddiffyn yr arfordir yn Fairbourne. Bydd y pentref yn cael ei adael a'i ddymchwel rywbryd yn yr 50 mlynedd nesaf, gyda'r holl drigolion yn cael eu hailsefydlu yn rhywle arall:

“Mae Fairbourne yn gymuned sydd mewn perygl o wahanol gyfeiriadau – stormydd arfordirol, lefelau'r môr yn codi, afon sy'n llifo oddi ar y mynyddoedd a lefel trwythiad uchel,” meddai uwch reolwr prosiect Cyngor Gwynedd, rheoli perygl llifogydd ac erydu arfordirol, Lisa Goodier. “Gall y pentref gael ei amddiffyn yn gynaliadwy am y 40 mlynedd nesaf ond o 2045 bydd rhaid ei ddadgomisiynu ac o 2055 ni fydd yn bosib ei amddiffyn.” (New Civil Engineer, 2018).

Diben y papur hwn yw archwilio'n feirniadol yr achos gwyddonol dros gefnu ar bentref Fairbourne, a gwerthuso cynllun diogelu rhag llifogydd diwygiedig.

Modelu llifogydd

Er y dywedir ei fod yn seiliedig ar foddelu cyfrifiadurol soffistigedig, mae'n ymddangos nad yw'r rhagolygon a ddangosir yn ffigurau 1 a 2 yn gwneud llawer mwy na dewis cyfuchlin ar y map a thybio y byddai llifogydd ar bob pwynt o dan yr uchder hwn. Gellir amau dilysrwydd y modelau ar ddau gyfrif:

- Efallai nad yw uchder tonau llanw a storm a fewnbynwyd i'r modelau yn gywir.
- Mae'r modelau'n rhagdybio nad oes unrhyw amddiffynfeydd llifogydd gweithredol yn eu lle i atal stormydd rhag llifo i mewn neu i gael gwared ar ddŵr llifogydd.

Ymddengys mai dadl allweddol dros adael Fairbourne yw y bydd y pentref rywbryd yn y dyfodol yn gorwedd o dan lefel y penllanw. Gellid nodi bod llawer o'r Iseldiroedd, a bron y cyfan o ddinas Rotterdam, eisoes yn gorwedd o dan lefel y môr. Mae systemau wedi'u datblygu i amddiffyn yr Iseldiroedd rhag llifogydd.

2. RHAGWELD LEFEL Y MÔR AC UCHDER TONNAU

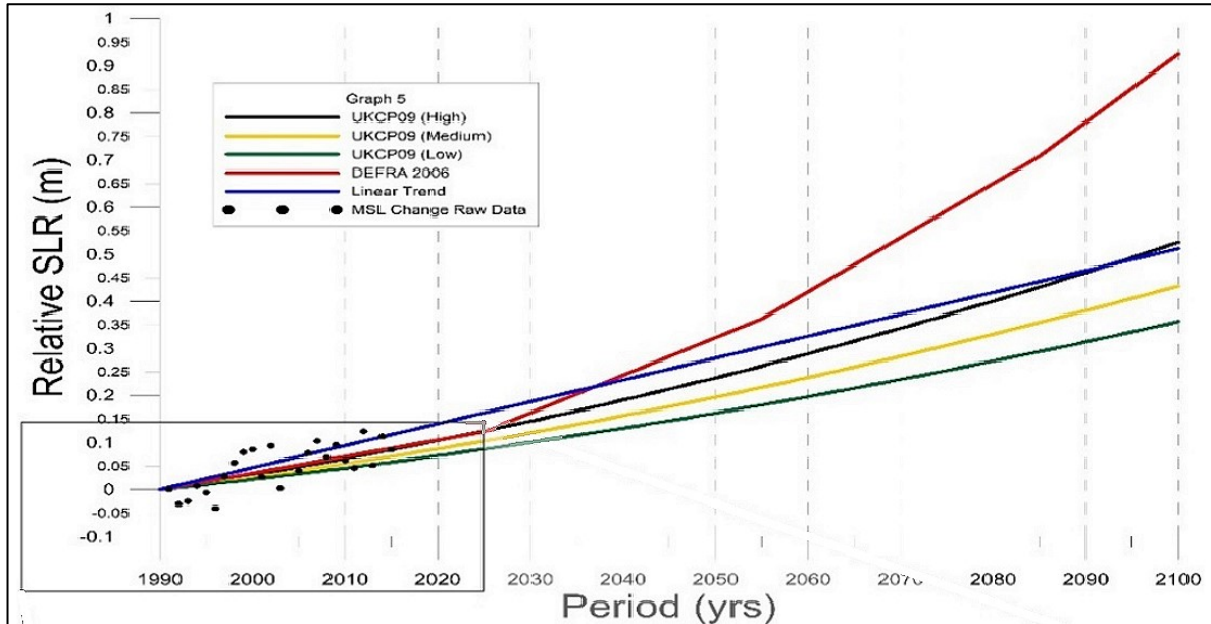
Darparodd y Panel Rhynglywodraethol ar Newid Hinsawdd (2014) grynodedb i lunwyr polisi:

		2046–2065		2081–2100	
	Scenario	Mean	Likely range ^c	Mean	Likely range ^c
Global Mean Surface Temperature Change (°C) ^a	RCP2.6	1.0	0.4 to 1.6	1.0	0.3 to 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 to 2.0	1.8	1.1 to 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 to 1.8	2.2	1.4 to 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 to 2.6	3.7	2.6 to 4.8
	Scenario	Mean	Likely range ^d	Mean	Likely range ^d
Global Mean Sea Level Rise (m) ^b	RCP2.6	0.24	0.17 to 0.32	0.40	0.26 to 0.55
	RCP4.5	0.26	0.19 to 0.33	0.47	0.32 to 0.63
	RCP6.0	0.25	0.18 to 0.32	0.48	0.33 to 0.63
	RCP8.5	0.30	0.22 to 0.38	0.63	0.45 to 0.82

Ffigur 3: Rhagfynegiadau modelu ar gyfer cynnydd mewn tymheredd a lefel y môr cymedrig.

Rhoddir y terfyn uchaf ar gyfer y cynnydd a ragwelir yn lefel y môr erbyn 2065 fel 0.38m, gyda ffigur is yn debygol. Y tu hwnt i'r dyddiad hwn, mae rhagfynegiadau'n dod yn hynod annibynadwy gan fod llawer yn dibynnu ar benderfyniadau gwleidyddol gan wledydd ledled y Byd, ynghyd â datblygiadau mewn technolegau i leihau allyriadau carbon neu hyd yn oed dynnu carbon o'r atmosffer.

Phillips et al. (2017) wedi casglu data am lefel y môr cymedrig a gofnodwyd wrth bont reilffordd Abermaw dros y cyfnod 1990 – 2016. Dangosir pwyntiau data yn ffigur 4, ynghyd â rhagfynegiadau ar gyfer lefel y môr cymedrig yn y dyfodol yn seiliedig ar fodel Newid Hinsawdd y DU a model arall gan yr Adran Amaethyddiaeth a Materion Gwledig. Mae rhagfynegiadau ar gyfer y flwyddyn 2065 yn amrywio o 0.2m i 0.5m:



Ffigur 4: Rhagfynegiadau o lefel y môr cymedrig ar sail data a gofnodwyd yn Abermaw (Phillips et al. 2017)

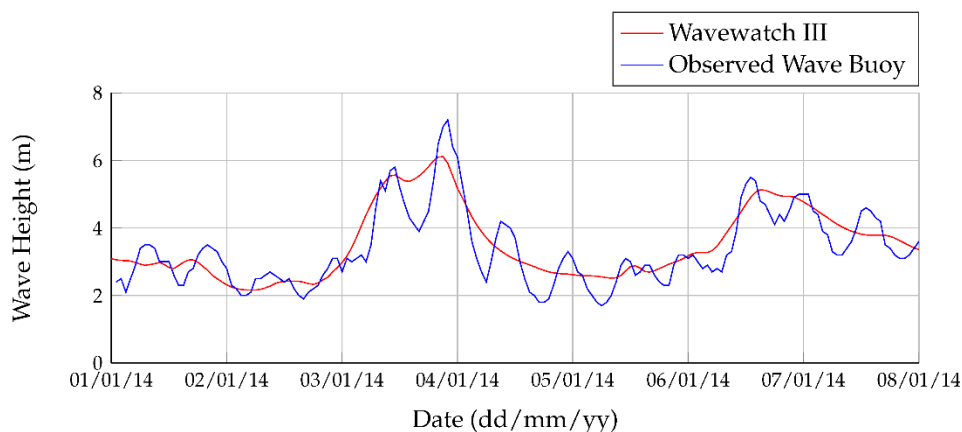
Bydd y gwaith modelu a wnaed ar gyfer yr astudiaeth bresennol yn rhagdybio cynnydd o 0.5m o gymharu â lefel y môr heddiw, sy'n gyson â'r rhagfynegiadau ar gyfer y flwyddyn 2065 o leiaf ac wedi hynny yn ôl pob tebyg.

Uchder tonnau storm

Yn ystod storm ddifrifol, bydd wyneb y môr yn cyrraedd uchder sy'n sylweddol uwch na'r uchder llanw dŵr tawel a ragwelir yn seryddol. Mae hyn oherwydd cyfuniad o:

- ymchwydd morol oherwydd llai o bwysau atmosfferig,
- tonnau a gynhyrchir gan y gwynt ar wyneb y môr.

Cynhaliwyd arsylwadau o donnau ym Mae Ceredigion gan Thompson, Karunarathna, & Reeve (2017). Canfuwyd bod tonnau'n cyrraedd uchder uchaf o 7m uwchlaw uchder penodol y llanw dan amodau stormydd eithafol (ffig.5).



Ffigur 5

Uchder tonnau ym Mae Ceredigion wrth bwynt recordio alltraeth (glas) yn ystod amodau storm. Dangosir model cyfrifiadurol (coch) er mwyn cymharu. (Thompson et al. 2017)

Mae Phillips et al. (2017) wedi casglu arsylwadau a gwneud rhagfynegiadau o uchder tonnau eithafol uchaf ar gyfer Fairbourne ar dybiaeth y bydd stormydd yn cynyddu mewn difrifoldeb yn y dyfodol oherwydd newid hinsawdd. Dangosir y canlyniadau yn Ffig.6.

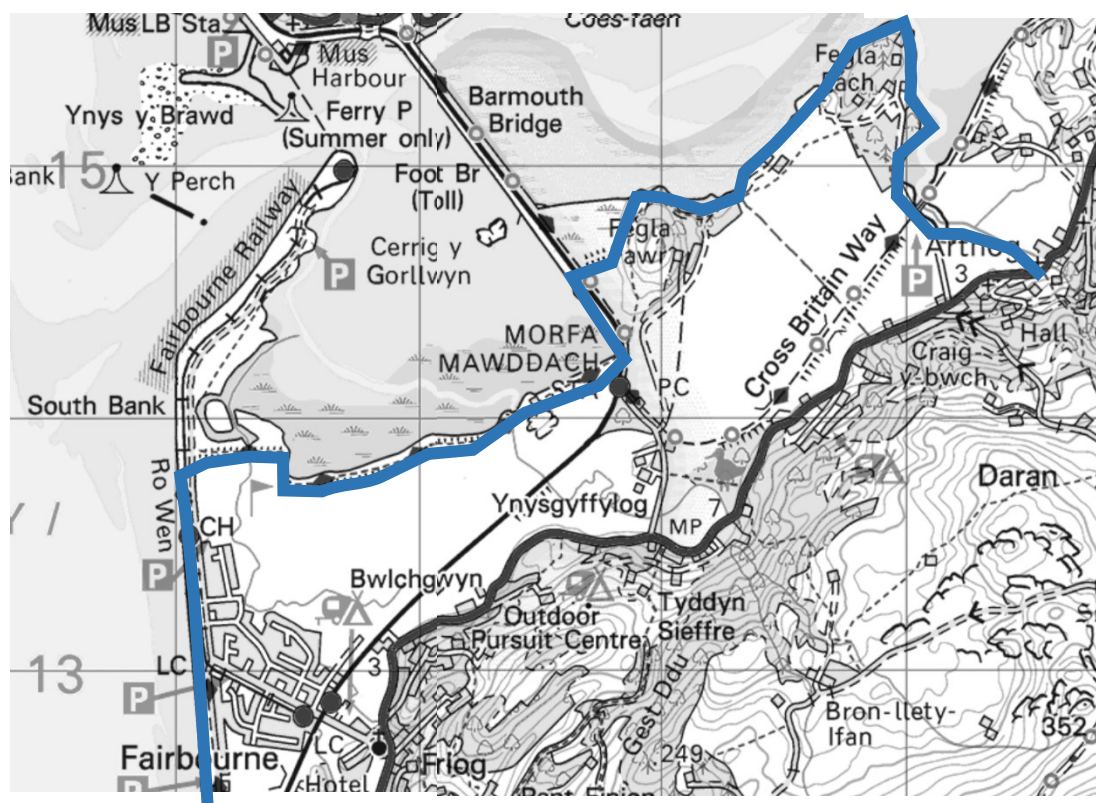
	Description	Trend	Projected			
			2025	2055	2085	2100
Wave Analysis	Maximum Extreme Wave Height (m)	Increase	4.980	5.797	6.615	7.023

Ffigur 6: Rhagfynegiadau o uchder tonnau eithafol uwchlaw uchder llanw penodedig yn Fairbourne (Phillips et al. 2017)

Ar gyfer yr astudiaeth gyfredol, rhagdybir uchder tonnau storm o 6m uwchlaw uchder llanw dŵr tawel, wedi'i wneud o ymchwydd pwysedd o 2.5m ac uchder tonnau a gynhyrchir gan y gwynt o 3.5m.

3. CYNLLUN PRESENNOL AMDDIFFYN RHAG LLIFOGYDD

Mae amddiffynfeydd rhag llifogydd wedi cael eu hatgyfnerthu yn ystod y blynyddoedd diwethaf gan Cyfoeth Naturiol Cymru. Mae'r amddiffynfeydd presennol yn cynnwys cyfres o argloddiau sy'n cysylltu arweddion tirwedd presennol, i greu clostir o amgylch ardal Fairbourne ac Arthog. Mae'r ffin wedi'i nodi yn ffig.7 isod.



Ffigur 7: Ffin amddiffyn rhag llifogydd ar gyfer ardal Fairbourne ac Arthog.

Mae'r amddiffynfeydd presennol yn annhebygol o warchod pentref Fairbourne yn ddigonol yn y dyfodol.

Mae'r ardal gaeedig yn ymestyn am bellter hir i'r dwyrain i geg Afon Arthog. O fewn y clostir hwn mae nifer o nentydd arwyddocaol yn draenio o'r bryniau rhwng Friog ac Arthog. Rhaid i'r nentydd hyn (ffig.8) groesi'r ardal amddiffyn rhag llifogydd ac arllwys i'r aber trwy giatiau llanw.



Ffigur 8

Nant droellog yn croesi'r ardal amddiffyn rhag llifogydd yn Arthog. Mae hwn yn cludo dŵr o'r llechwedd uwchben Chwarel Bryngwyn.

Mae unrhyw storm fawr sy'n bygwth Fairbourne yn debygol o gyfuno cyfres o effeithiau meteorolegol: gwasgedd atmosfferig isel yn achosi ymchwydd storm, gwyntoedd cryfion ar y môr yn cynhyrchu tonnau mawr, lefelau dŵr uchel yn yr aber oherwydd llifogydd ar afonydd Mawddach ac Wnion ym mhen yr aber, a llifoedd uchel o'r bryniau uwchben yr ardal amddiffyn rhag llifogydd. Mae llifogydd yn Fairbourne yr un mor debygol o ddeillio o lifogydd aber neu afonydd ag y maent o lifogydd môr.



Ffigur 9

Llifogydd yn Arthog yn dilyn storm law. Mae arllwysiad yr afon o ochr y bryn wedi mynd y tu hwnt i gapasiti cludo sianel y nant, gan achosi llifogydd dros y glannau.

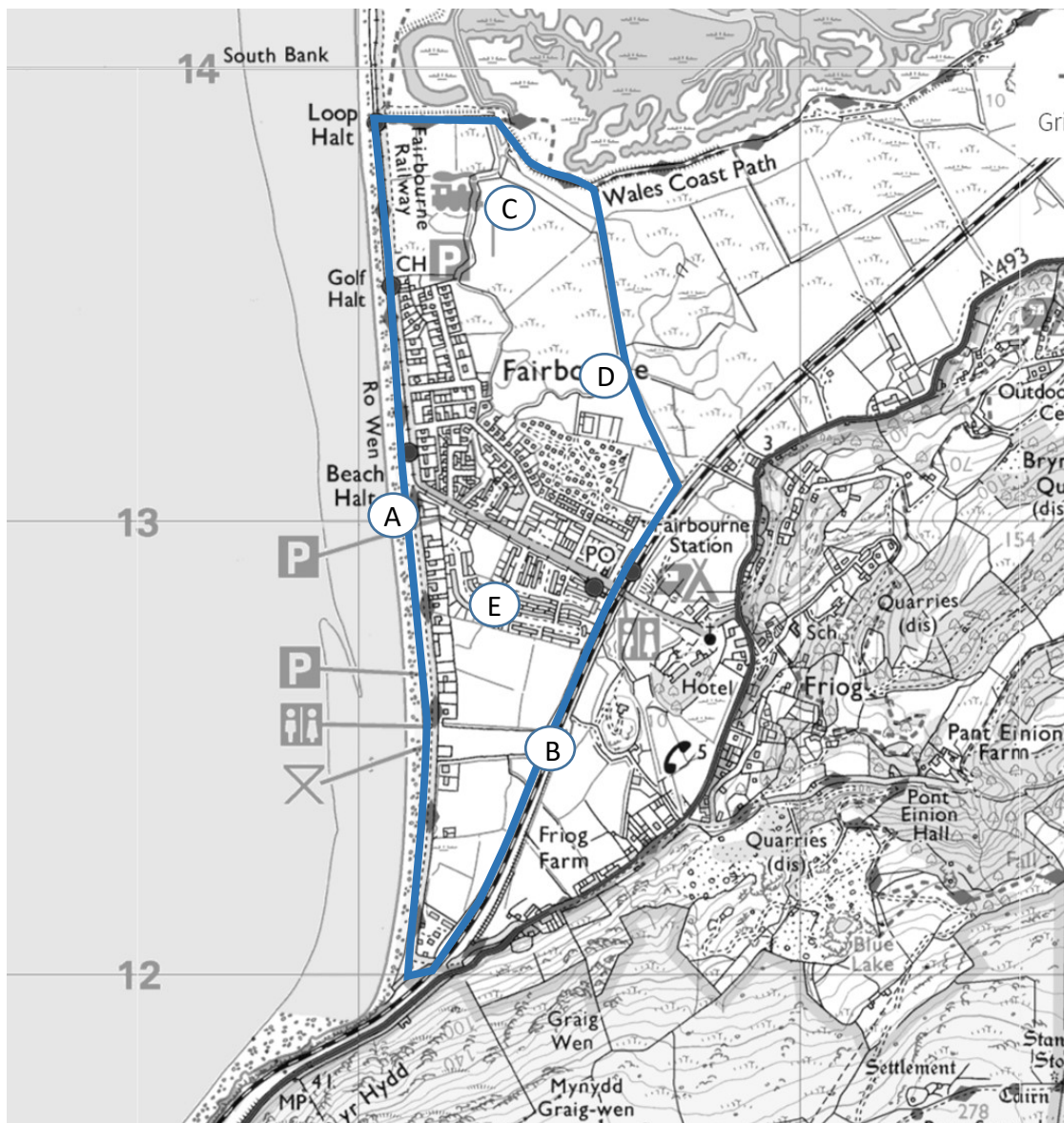
4. CYNLLUN AMDDIFFYN RHAG LLIFOGYDD ARFAETHEDIG

Cynigir cynllun amddiffyn rhag llifogydd amgen ar gyfer pentref Fairbourne, fel y crynhoir yn ffig.10 isod. Byddai ffin amddiffyn rhag llifogydd newydd mwy cyfyngedig yn cael ei chreu.

A: Byddai'r ffin orllewinol yn dilyn y morglawdd presennol o glogwyn Friog i ddiwedd y cwrs golff.

B: Byddai'r ffin de ddwyreiniol yn dilyn arglawdd y rheilffordd o glogwyn Friog i orsaf reilffordd Fairbourne, yna'n parhau am tua 200m y tu hwnt..

C: Byddai'r ffin ogleddol yn dilyn yr arglawdd llifogydd presennol o amgylch ymyl y cwrs golff, i bwynt lle mae trac yn goleddfu i lawr i dir amaethyddol.



Ffigur 10: Cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig ar gyfer pentref Fairbourne

D: Byddai arglawdd llifogydd newydd yn cael ei greu i gysylltu rhannau B ac C. Byddai hwn yn croesi'r tir amaethyddol, gan ddilyn am ran o'i gwrs arglawdd llifogydd isel presennol a adeiladwyd fel rhan o gynllun amddiffyn rhag llifogydd yn 2016.

E: Byddai system o ffosydd o fewn ac o amgylch y pentref yn darparu draeniad o fewn y ffin amddiffyn rhag llifogydd. Byddai rhywfaint o ddŵr llifogydd yn cael ei gyfeirio at bwll ddal, lle gallai wedyn gael ei ollwng ar drai neu ei bwmpio i'r aber.

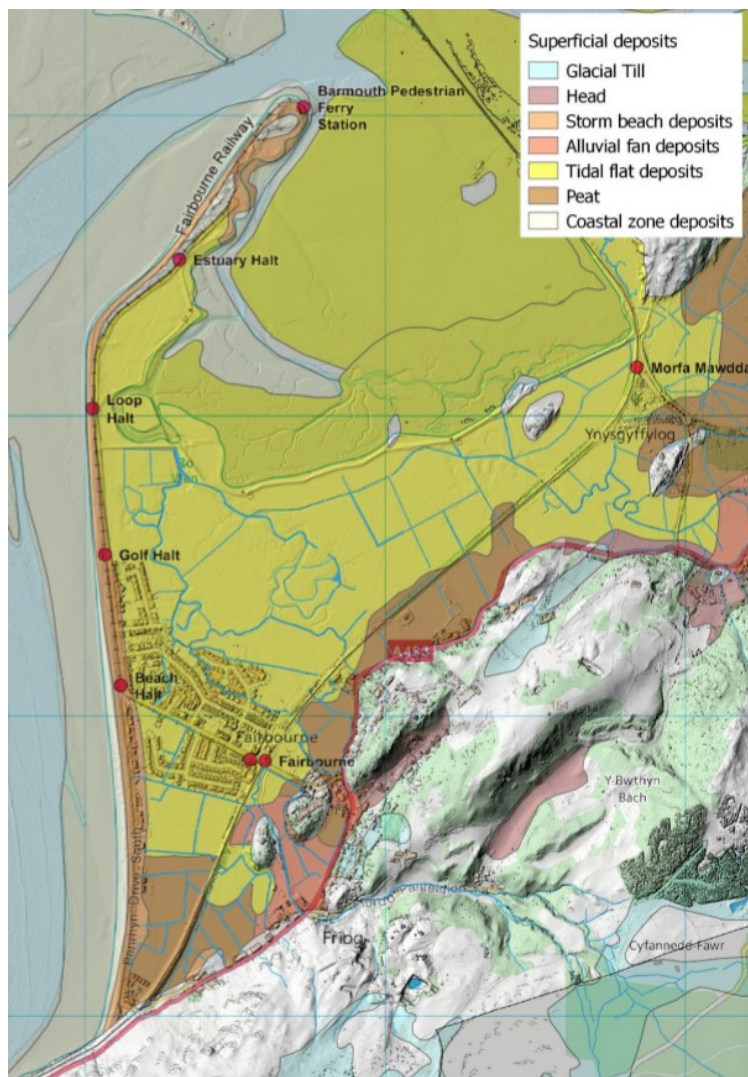
Daeareg

Mae ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig Fairbourne wedi'i seilio ar ddyddodion arwynebol sydd wedi cronni yn y 6,000 o flynyddoedd ers diwedd Oes yr Iâ (ffig.11):

Mae dyddodion traeth storm o gerrig mân yn ffurfio tafod graean Ro Wen, y mae pentref Fairbourne y tu ôl iddo. Mae'r graean bras wedi cronni'n naturiol i uchder o tua 5m uwchben y traeth tywod, sy'n nodi lefel arferol y penllanw o dan amodau tawel y môr.

Mae dyddodion gwastatir llanw o dan bentref Fairbourne, tir amaethyddol i'r gogledd a pheth tir amaethyddol i'r de. Mae'r rhain yn ddyddodion cymysg o dywod a chlai sydd yn gyffredinol yn darparu draeniad da.

Mawn sydd wrth wraidd y caeau mwyaf deheuol ger Friog. Mae'r draeniad trwy fawn yn gyffredinol wael, gan achosi i'r tir aros yn ddirlawn am gyfnod hirach ar ôl tywydd gwlyb.



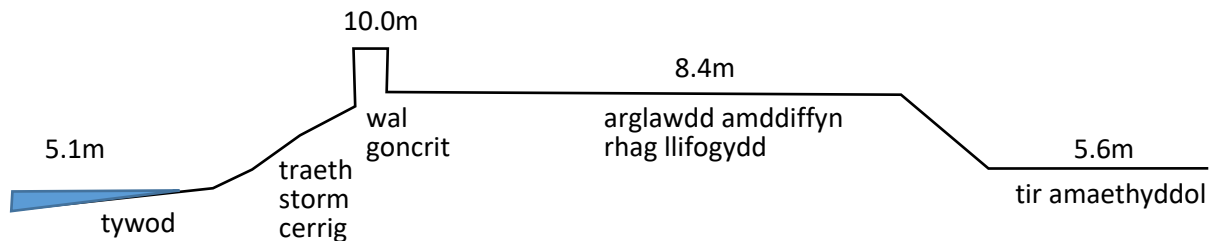
Ffigur 11

Map daearegol yn dangos dyddodion arwynebol o amgylch Fairbourne.

(ar ôl Buss, 2018)

Amdiffynfeydd morol

Cynhaliwyd arolwg ym mhen gogleddol y cwrs golff i ganfod uchder cymharol yr amddiffynfeydd llifogydd presennol. Ymgymerwyd â'r gwaith ar adeg llanw mawr ac amodau tawel ar y môr, pan ddyfynnwyd uchder y llanw 5.1m uwchlaw Datwm Siart. Dangosir yr uchderau yn ffig.12. (Sylwer fod Datwm Siart ar gyfer Abermaw 2.4m islaw Datwm Ordnans)



Ffigur 12: Uchder cydrannau tir uwchlaw Datwm Siart

Ar hyn o bryd, mae'r ardal o dir amaethyddol, yn ogystal â phentref Fairbourne, tua lefel y llanw mawr. Mae'n annhebygol y bydd y sefyllfa hon yn newid yn sylweddol cyn 2065.

Mae'r sefyllfa a achosir gan donnau storm yn peri mwy o bryder. Fodd bynnag, os cedwir y morglawdd concrit mewn cyflwr da ar uchder o tua 10m D.S. ar gyfer y pellter llawn i glogwyn Friog, yna ni ddisgwylir unrhyw donnau'n gorlifo'n uniongyrchol ar gyfer ymchwydd pwysedd storm o 2.5m o uchder.

Mae llifogydd wedi digwydd yn y blynyddoedd diwethaf yn ystod amodau stormydd yn yr ardal i'r de o bentref Fairbourne (ffig.13), er nad yw'r pentref ei hun wedi dioddef llifogydd.



Ffigur 13

Llifogydd lleol i'r de o bentref Fairbourne yn ystod stormydd.

Deallir bod dirywiad yn yr amddiffynfeydd môr yng nghornel Friog wedi caniatáu i ddŵr lifo drwy'r arglawdd. Mae Cyngor Sir Gwynedd a Chyfoeth Naturiol Cymru wedi cryfhau'r arglawdd yn sylweddol yn ddiweddar, gan gynnwys gosod llen dur i atal mewnlifiad dŵr, ac ychwanegu clogfeini mawr i wasgaru ynni'r tonnau (ffig.14). Dylai'r gwaith hwn fod yn effeithiol iawn wrth atal ymdreiddiad dŵr storm yn y dyfodol.



Ffigur 14

Clogwyn Friog, yn dangos creigiau mawr a ychwanegwyd at yr amddiffynfeydd morol yn ddiweddar.

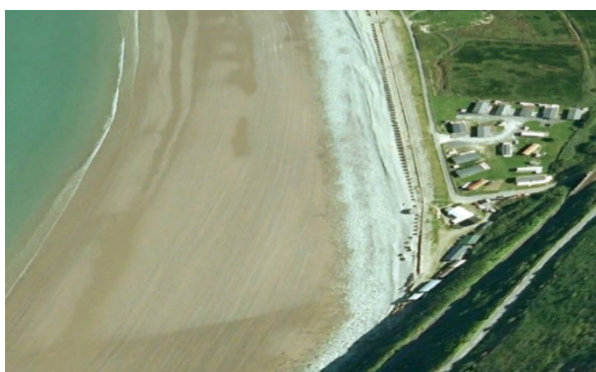
Yn ystod amodau storm, gall tonnau sy'n torri yn gallu cludo dŵr dros y morglawdd presennol. Gellid lleihau cyfaint y dŵr môr sy'n mynd i mewn i gae llifogydd Fairbourne trwy godi uchder y wal efallai gan 1m. Dylai arwyneb gwastad a llydan y morglawdd (ffig.15) wneud hyn yn ymarferol.



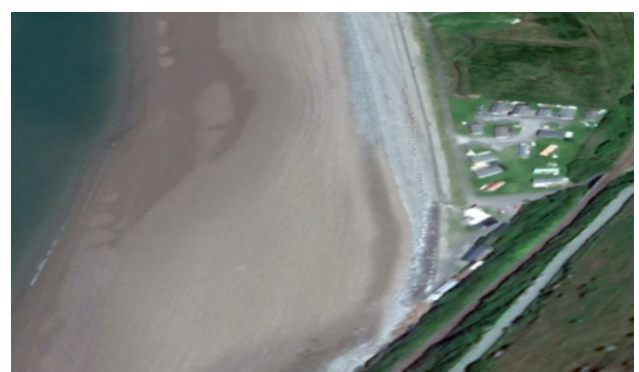
Ffigur 15

Morglawdd a ailadeiladwyd yn ddiweddar yn Friog.

Mae'n destun pryder mai ychydig iawn o draeth storm o gerrig mân sydd yn bresennol yng nghornel Friog. Mae cymhariaeth o ffotograffau o'r awyr yn dangos bod erydiad morol yn digwydd (ffig.16).



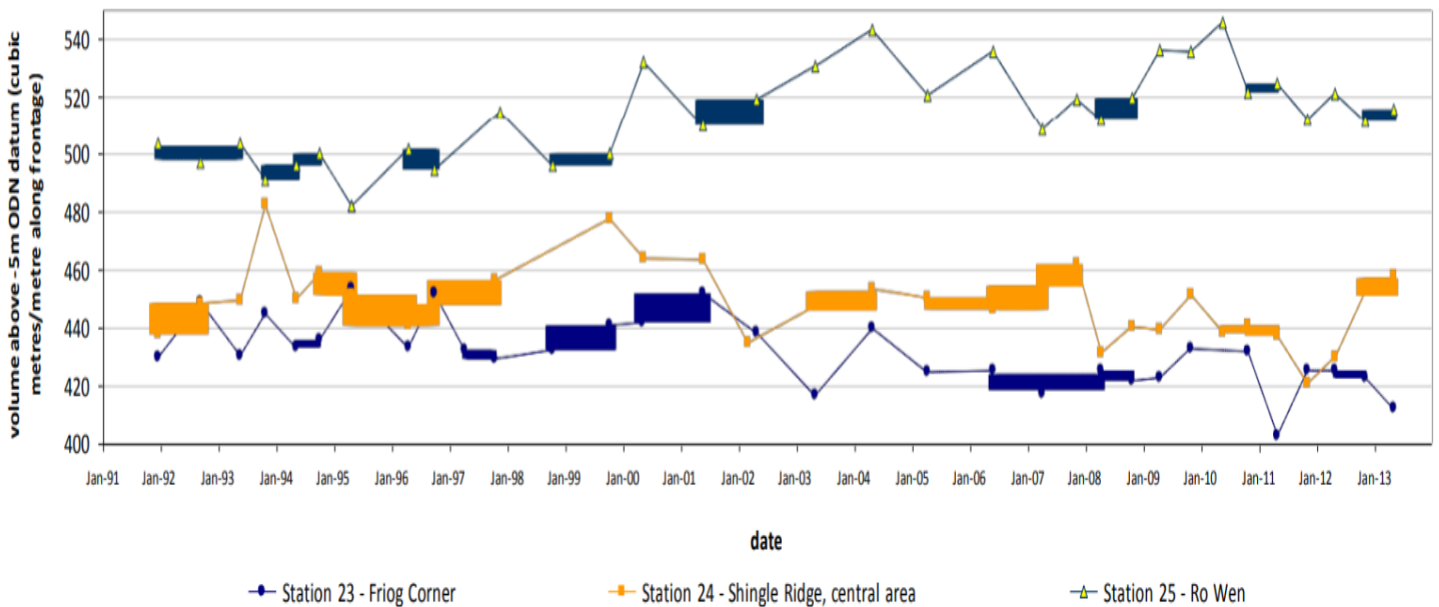
2009



2021

Ffigur 16: Cymharu maint y dyddodion traeth storm yng nghornel Friog (Google Earth).

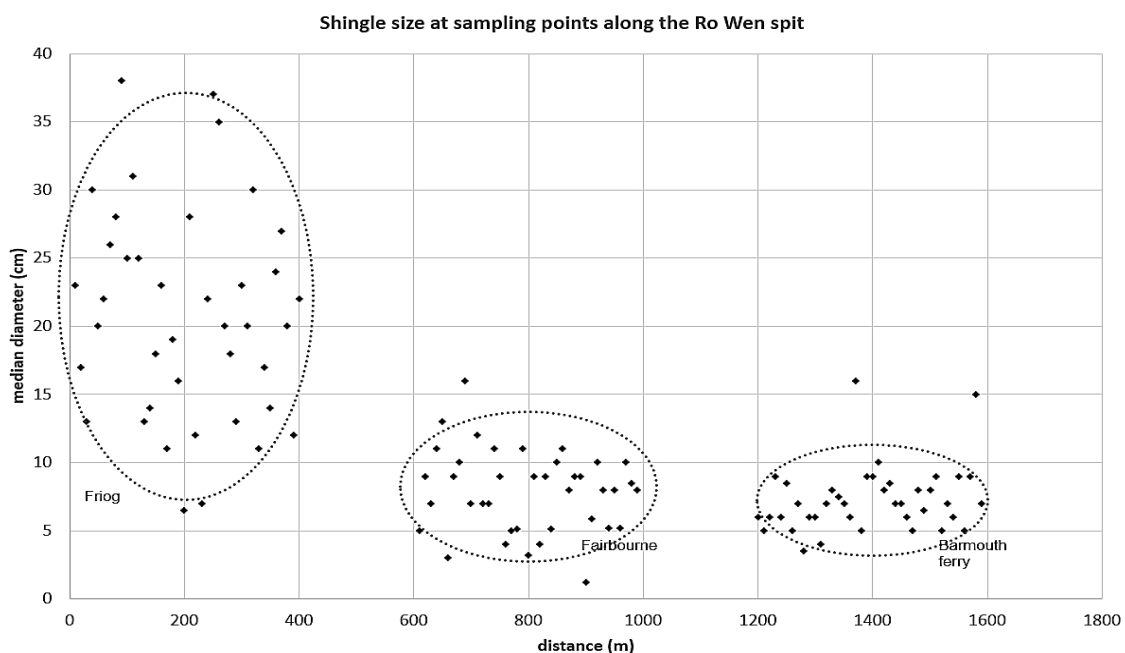
Ymddengys fod problem erydiad y tafod graean wedi'i chyfyngu i Friog. Sylwadau gan Phillips et al. (2017) yn nodi bod y tafod graean ymhellach i'r gogledd yn cynnal cyfaint sefydlog neu'r graean traeth storm yn cynyddu ychydig (ffig.17).



Ffigur 17: Cyfaint o raean traeth storm dros y cyfnod 1991-2013 (Phillips et al., 2017). Gwelir bod y stormdraeth yn colli graean yng nghornel Friog (glas), sefydlog ym mhentref Fairbourne (melyn) ac ychydig yn ennill graean ym mhen gogleddol y tafod (gwyrdd).

Byddai ailgyflenwi'r dyddodion traeth yng nghornel Friog yn gwasgaru grym tonnau storm, ac yn lleihau faint o donnau'n torri drosodd i'r morglawdd.

Efallai y bydd y traeth yn cael ei ailgyflenwi'n uniongyrchol trwy ychwanegu gwaddod. Darganfyddir bod deunydd craig onglog o chwarel tir yn fwy sefydlog na cherrig crynion o ffynhonnell traeth, ac yn llai tebygol o gael ei symud gan effaith y tonnau. Mae mesuriadau wedi dangos bod deunydd traeth storm raean yn Friog yn gyffredinol yn fwy mewn diamedr na'r cerrig mân a geir ymhellach i'r gogledd ar hyd y tafod (ffig.18):

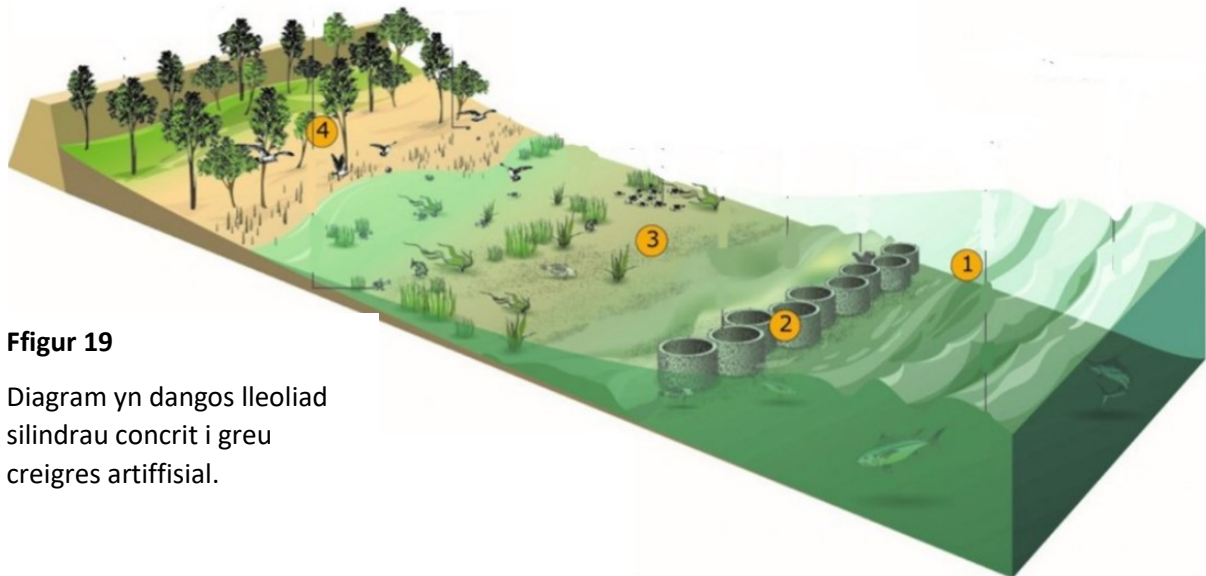


Ffigur 18: Maint samplau ar hap o gerrig mân traeth storm. (Gwaith maes gan fyfyrwyr Coleg Meirion Dwyfor, Dolgellau)

Mae'n ymddangos bod fector cyflymder dŵr ar hyd y lan yn fwy yng nghornel Friog, efallai oherwydd y newid sydyn i gyfeiriad yr arfordir. Mae hyn yn arwain at graean llai yn cael eu cludo tua'r gogledd gan ddrifft y glannau, tra bod deunydd mwy yn cael ei adael yn ei le. Argymhellir felly bod deunydd craig â diamedr cymedrig o 15cm neu fwy yn cael ei ddefnyddio i adnewyddu traeth yn Friog, i atal ei golli'n gyflym.

Strategaeth arall fyddai trapio gwaddod sy'n cael ei gludo'n naturiol ar hyd yr arfordir i gyfeiriad y gogledd gan ddrifft y glannau. Mae'r deunydd hwn yn debygol o fod yn gymysgedd o dywod a cherrig mân mwy bras sy'n deillio o'r clogwyni meddal o ddyddodion rhewlifol rhwng Tywyn a Llwyngwril. Gellid dal gwaddod trwy osod cyfres o grwynau pren ar draws y traeth, yn berpendicwlar i'r lan, rhwng pentref Friog a Fairbourne.

Gellir dal gwaddod hefyd trwy adeiladu creigres alltraeth yn gyfochrog â'r morglawdd, gyda gwaddod wedyn yn cronni ar hyd y traeth yn y dŵr cysgodol y mae hyn yn ei greu. Gallai'r greigres gael ei hadeiladu o greigiau, blociau concrit neu rwystrau eraill a osodir ar wely'r môr.



Ffigur 19

Diagram yn dangos lleoliad silindrau concrit i greu creigres artiffisial.

Yn ogystal â gwasgaru ynni tonnau ac atal tonnau rhag trechu'r morglawdd, mae gan greigres fanteision o ran darparu cynefinoedd cysgodol i bysgod a bywyd morol arall. Mae strwythur creigres yn cael ei adeiladu gerllaw yn y Borth ar hyn o bryd fel rhan o gynllun amddiffyn yr arfordir:

“Yr elfen fwyaf arwyddocaol o'r amddiffynfeydd newydd, pan fyddant wedi'u cwblhau, fydd y traeth graean llydan. Mae'r greigres amlbwrpas yn gysyniad cymharol newydd i'w ddefnyddio i amddiffyn yr arfordir, a chan ei fod wedi'i leoli 400m oddi ar y lan, ni fydd yn amlwg, a dim ond pan fydd y llanw allan y bydd yn weladwy. Bydd tonnau'n torri dros y riff, gan leihau ynni i amddiffyn y traeth rhag erydiad, ac annog datblygiad traeth ehangach wrth y lan.” (Johnson, 2021)

Mae meddalwedd modelu cyfrifiadurol effeithiol bellach ar gael i werthuso canlyniadau tebygol y gwahanol ymyriadau arfordirol posibl.

Arglawdd rheilffordd

Byddai ffin dde-ddwyreiniol yr ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig yn cael ei ffurfio gan arglawdd presennol y rheilffordd. Mae'r trac yn disgyn yn raddol ar ôl mynd o amgylch clogwyni'r Friog (ffig.19). Efallai y bydd angen rhai mesurau i sicrhau nad yw dŵr draenio o'r llechwedd uwchben Friog yn llifo i lawr y ffordd o dan bont y rheilffordd yn ystod stormydd. Gallai hyn olygu cynydd yn lefel y ffordd o dan y bont.



Ffigur 20

Pont reilffordd yn Friog.

Ar ochr y tir i arglawdd y rheilffordd, mae Afon Henddol yn croesi caeau ar ôl disgyn o'r llechwedd uwchben Friog. Yna caiff ei gyfeirio ar hyd arglawdd y rheilffordd am ryw bellter mewn sianel lliniaru llifogydd sydd newydd ei hadeiladu..



Ffigur 21

Sianel lliniaru llifogydd Afon Henddol. Y strwythur yn y blaendir chwith yw'r fynedfa i gwlfwr o dan y brif ffordd ar groesfan reilffordd Fairbourne. Mae grid wedi'i gosod ar y fewnfa hon i ddal malurion llifogydd ac atal rhwystr yn y cwlfwr.

Yn gysylltiedig â'r sianel llifogydd mae ffos ddraenio sydd wedi mynd trwy cwlfwr o dan y rheilffordd (ffig.22). Mae hwn yn cario all-lif o ddŵr o gaeau i'r de o bentref Fairbourne. Yn y cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig, byddai'r cwlfwr hwn yn cael ei rhwystro i atal unrhyw risg o fewnlifiad o ddŵr llifogydd o Afon Henddol. Byddai draeniad mewnol o gaeau i'r de o Fairbourne yn cael ei ailgyfeirio ar hyd system ddraenio ffosydd trwy'r pentref i gyrraedd gât lanw yn yr aber.



Ffigur 22

Cwlfer yn cario ffos ddraenio o dan y rheilffordd, 100m i'r de orllewin o groesfan reilffordd Fairbourne.

Mae'r rheilffordd wedi disgyn erbyn cyrraedd gorsaf Fairbourne, ond mae lefel y lein yn dal tua 2m yn uwch na lefel gyffredinol pentref Fairbourne (ffig.23).



Ffigur 23

Dynesfa at y groesfan reilffordd yng ngorsaf Fairbourne. Mae'r ffordd yn codi tua 2m i groesi'r rheilffordd.

Gan y byddai arglawdd y rheilffordd yn amddiffyn y pentref rhag dŵr ffo o'r llethrau yn unig, mae'r arglawdd isel o 2m yn ymddangos yn ddigonol. Pe bai llifogydd yn effeithio ar y rheilffordd ryw bryd yn y dyfodol, mae'n debygol y byddai Network Rail yn mynd i'r afael â'r broblem a byddai lefel gwely'r trac yn cael ei chodi.

Arglawdd yr aber

Mae ffin ogleddol yr ardal amddiffyn rhag llifogydd wedi'i ffurfio gan yr arglawdd llifogydd presennol (ffig.24). Mae'r strwythur hwn wedi'i ehangu a'i gryfhau yn ystod y blynyddoedd diwethaf gan Cyfoeth Naturiol Cymru, ac mae'n darparu amddiffyniad da rhag lefelau dŵr uchel yn yr aber.

Ni fyddai uchder tonnau eithafol ar yr arglawdd, fel yn achos yr amddiffynfeydd morol, oherwydd byddai tonnau'n cael eu gwasgaru'n raddol trwy fasn isaf mawr aber afon Mawddach. Fodd bynnag, ni fyddai codi lefel yr arglawdd, o bosibl gan 1m, yn broblem beirianyddol fawr pe bai angen gwneud hynny rywbryd yn y dyfodol.



Ffigur 24

Arglawdd llifogydd wedi'i adeiladu o amgylch ymyl y cwrs golff a thir amaethyddol cyfagos.

Yn y man lle mae'r arglawdd yn cyrraedd y morglawdd, mae'r rheilffordd gul yn croesi ffin amddiffyn rhag llifogydd ar ddrychiad ychydig yn is na phen yr arglawdd (ffig.25). Mae strwythur rheoli wedi'i adeiladu, sy'n caniatáu gosod gât lifogydd ar draws y trac pan fo angen i atal mewnlifiad dŵr o'r aber.



Ffigur 25

Strwythur rheoli gyda gât lifogydd y gellir ei chau ar draws rheilffordd Fairbourne.

Arglawdd llifogydd arfaethedig

Byddai'r cynllun arfaethedig yn gofyn am adeiladu arglawdd llifogydd newydd i'r dwyrain o bentref Fairbourne, i gysylltu llinell y rheilffordd â'r arglawdd presennol ar hyd yr aber.

Byddai'r arglawdd newydd yn cychwyn ar bwynt lle mae cwlfer yn cario nant o dan y rheilffordd, tua 200m i'r dwyrain o orsaf Fairbourne. Mae hyn yn nodi dechrau sarn garreg a adeiladwyd yn ystod gwaith lliniaru llifogydd yn 2016.



Ffigur 26

Arglawdd rheilffordd i'r dwyrain o orsaf Fairbourne, gyda'r sarn yn y blaendir.

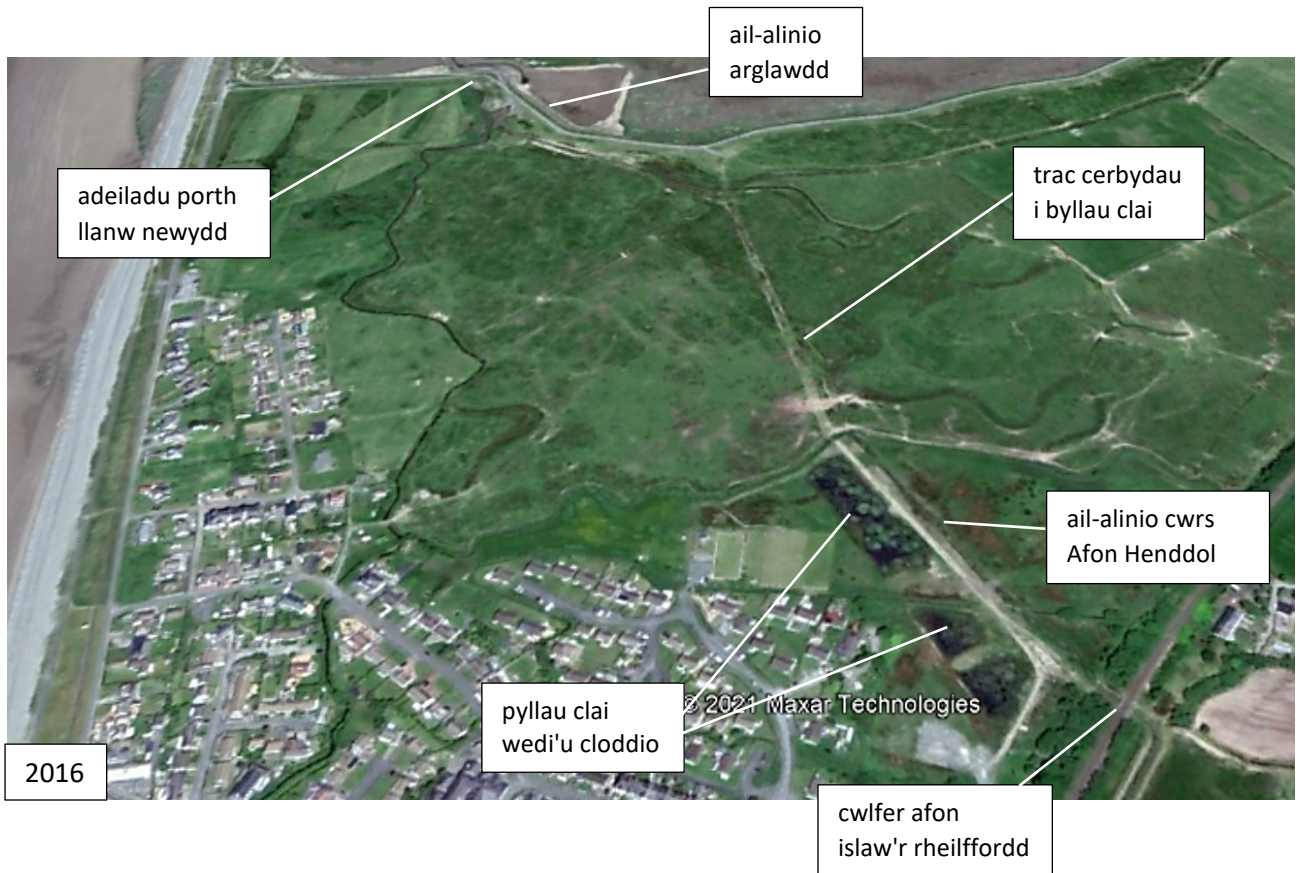
Mae strwythur y sarn yn parhau tua'r gogledd tuag at yr aber (ffig.27), cyn troi i'r gorllewin tuag at bentref Fairbourne. Mae'r sarn wedi'i hadeiladu'n dda o greigiau sylweddol, a byddai'n sylfaen gadarn ar gyfer arglawdd llifogydd newydd.



Ffigur 27

Sarn sy'n ffurfio rhan o gynllun lliniaru llifogydd 2016.

Byddai'r arglawdd llifogydd arfaethedig yn parhau tua'r gogledd ar draws tir amaethyddol, gan ddilyn llinell trac mynediad cerbydau a grëwyd yn ystod gwaith amddiffyn rhag llifogydd 2016 (ffig.28). Defnyddiwyd y trac hwn i gludo clai ar gyfer adeiladu arglawdd yr aber. Mae ramp mynediad wedi'i adeiladu yn y fan lle mae'r trac hwn yn cyrraedd yr arglawdd.



Ffigur 28

(uchod) Ardal o dir amaethyddol i'r gogledd o bentref Fairbourne yn 2009 cyn i'r gwaith adeiladu ddechrau.

(isod) Yr un ardal yn 2016 ar ôl adeiladu'r cynllun lliniaru llifogydd. Mae darn o dir fferm wedi'i gloddio i ddarparu clai ar gyfer y gwaith ar yr arglawdd. Mae hyn bellach wedi creu cyfres o byllau dŵr.

Ffotograffau awyr: Google Earth

Mae'r arglawdd llifogydd arfaethedig yn rhedeg ar hyd y llinell fras a nodir yn ffigur 29, sy'n cysylltu â'r arglawdd presennol ar hyd yr aber. Mae dyluniadau peirianyddol dibynadwy ar gael ar gyfer adeiladu argloddiau llifogydd bychain sy'n lleihau trylifiad drwy'r strwythur neu oddi tano. Sylweddolir y byddai'r arglawdd yn rhwystro gweithgareddau amaethyddol, ond gellid adeiladu rampiau mynediad bob ochr i ganiatáu symud anifeiliaid a pheiriannau..



Ffigur 29: Arglawdd arfaethedig. 1 - ar hyd y sarn graig, 2 - parhau ar draws tir amaethyddol

Draeniad mewnol

Er gwaethaf presenoldeb waliau terfyn ac argloddiau, mae'n anochel y bydd rhywfaint o ddŵr draenio yn mynd i mewn i ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne, er enghraifft: o law uniongyrchol neu tonnau'n torri dros y morglawdd. Bydd hwn yn cael ei ollwng i'r aber drwy'r gât lanw presennol sydd wedi'i lleoli ger y cwrs golff.

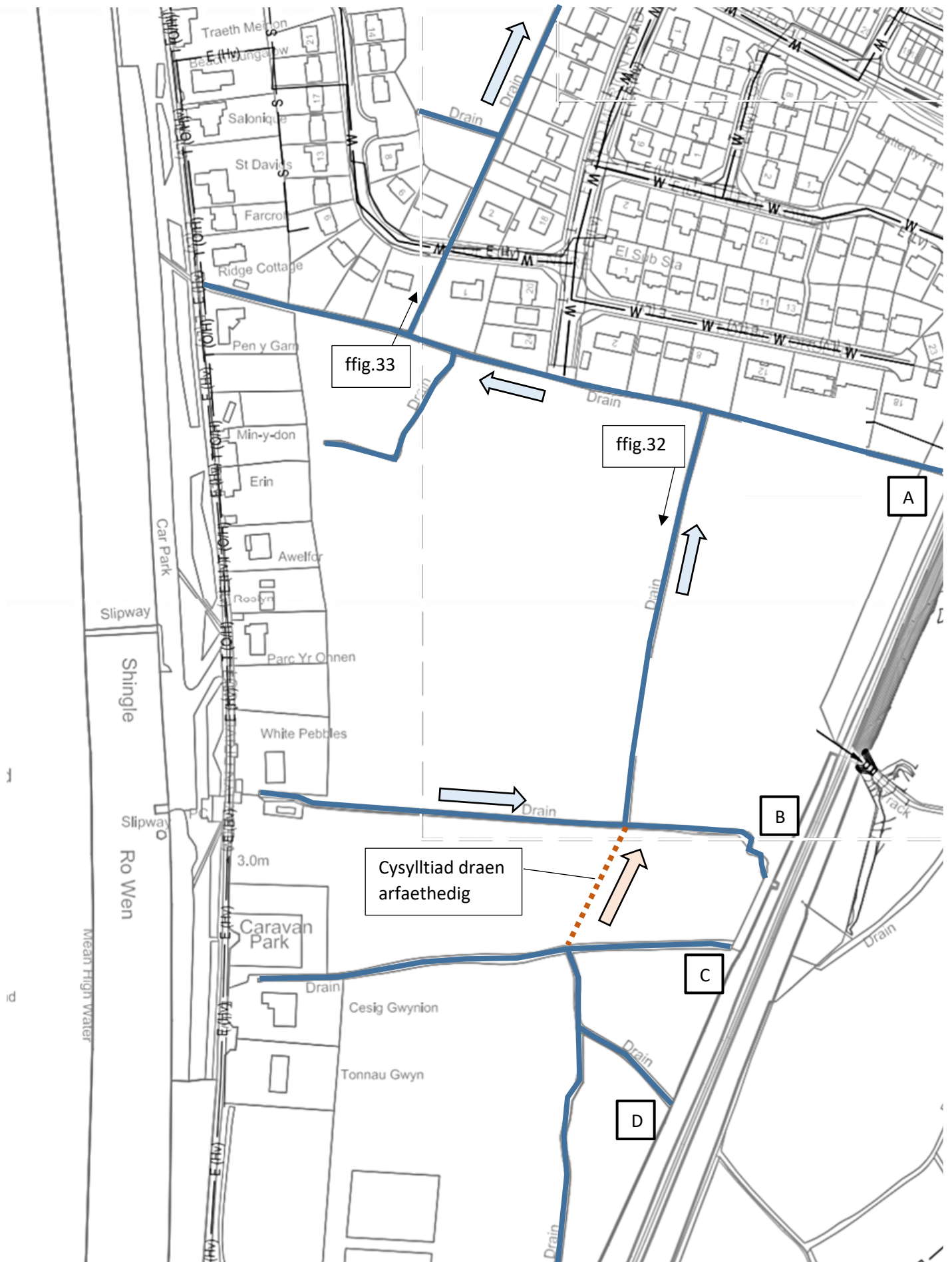
Dangosir map o'r rhwydwaith ffosydd draenio yn rhan ddeheuol Fairbourne yn ffig. 31. Byddai'r gyfres o gwlferei o dan y rheilffordd sydd wedi'u labelu A – D yn cael eu rhwystro er mwyn cynnal cyfanrwydd ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne, gyda'r holl ddraenio'n cael ei gyfeirio tua'r gogledd.

Mae parc cartrefi symudol ym mhen deheuol ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne (ffig.30). Cynigir cysylltiad draen newydd, a fydd yn cysylltu'r parc cartrefi symudol â rhwydwaith ffosydd draenio pentref Fairbourne, fel y dangosir yn ffig.31.



Ffigur 30

Parc cartrefi symudol ym mhen deheuol ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne.



Ffigur 31: Rhwydwaith draenio yn rhan ddeheuol ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne.
Map ar ôl Black and Veatch (2012)

Rhed y brif ffos ddraenio tua'r gogledd ar draws caeau i gyrraedd pentref Fairbourne (ffig.32). Mae llwybr y ffos yn parhau ochr yn ochr â thai yn Ffordd Meirion (ffig.33) i gyrraedd Ffordd Glan y Môr.



Ffigur 32

Prif ffos ddraenio yn croesi tir fferm i'r de o bentref Fairbourne.



Ffigur 33

Llwybr y ffos ddraenio wrth ochr Ffordd Meirion.



Ffigur 34

Ffos ddraenio yn parhau wrth ochr y trac rheilffordd cul ar Ffordd Glan y Môr.

Dangosir map o'r rhwydwaith ffosydd draenio yn rhan ogleddol Fairbourne yn ffig. 35.

O Beach Road, mae llwybr y ffos ddraenio yn parhau tua'r gogledd drwy'r pentref, gan fynd heibio i neuadd bentref Fairbourne (ffig.36). Mae'r dŵr draenio yn llifo i gwlfwr yn Belgrave Road, i ddod allan i dir amaethyddol yng ngogledd y pentref (37).

Mae llwybr y ffos ddraenio o bentref Fairbourne yn ymuno ag Afon Henddol, a gafodd ei hailgyfeirio o amgylch y pentref gan gynllun lliniaru llifogydd 2016. O'r cydlifiad, mae'r afon yn parhau tua'r gogledd i gyrraedd porth llanw lle mae'n arllwys i aber afon Mawddach (ffig.38).



Ffigur 36

Ffos ddraenio wedi'i chyfeirio tua'r gogledd ochr yn ochr â neuadd bentref Fairbourne.



Ffigur 37

Mae'r ffos ddraenio yn cyrraedd tir amaethyddol i'r gogledd o bentref Fairbourne.

Yn y cynllun arfaethedig, byddai Afon Henddol yn cael ei chyfeirio y tu allan i ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne i gyrraedd yr aber wrth gât lanw arall ymhellach i'r dwyrain. Byddai porth llanw presennol Afon Henddol yn cael ei gadw, ond byddai ond yn gollwng dŵr o rwydwaith ffosydd draenio pentref Fairbourne.

Pwll cadw

Dangosir porth llanw presennol Afon Henddol yn ffig.38. Mae gan hwn bâr o ddrysau colfachog sy'n agor ar drai y llanw i ganiatáu all-lif o'r sianel ddraenio, yna'n cau gyda llanw yn codi i atal mewnlifiad dŵr o'r aber.



Ffigur 38: Gât lanw wrth ymyl clwb golff Fairbourne wrth geg y rhwydwaith ffosydd draenio. (chwith) Mewnfa o sianel y nant (dde) Allfa i'r aber.

Yn y cynllun arfaethedig, byddai prif sianel Afon Henddol yn cael ei hailgyfeirio i gât lanw arall ymhellach i'r dwyrain, felly byddai cyfaint yr all-lif yn y fan hon yn lleihau'n sylweddol.

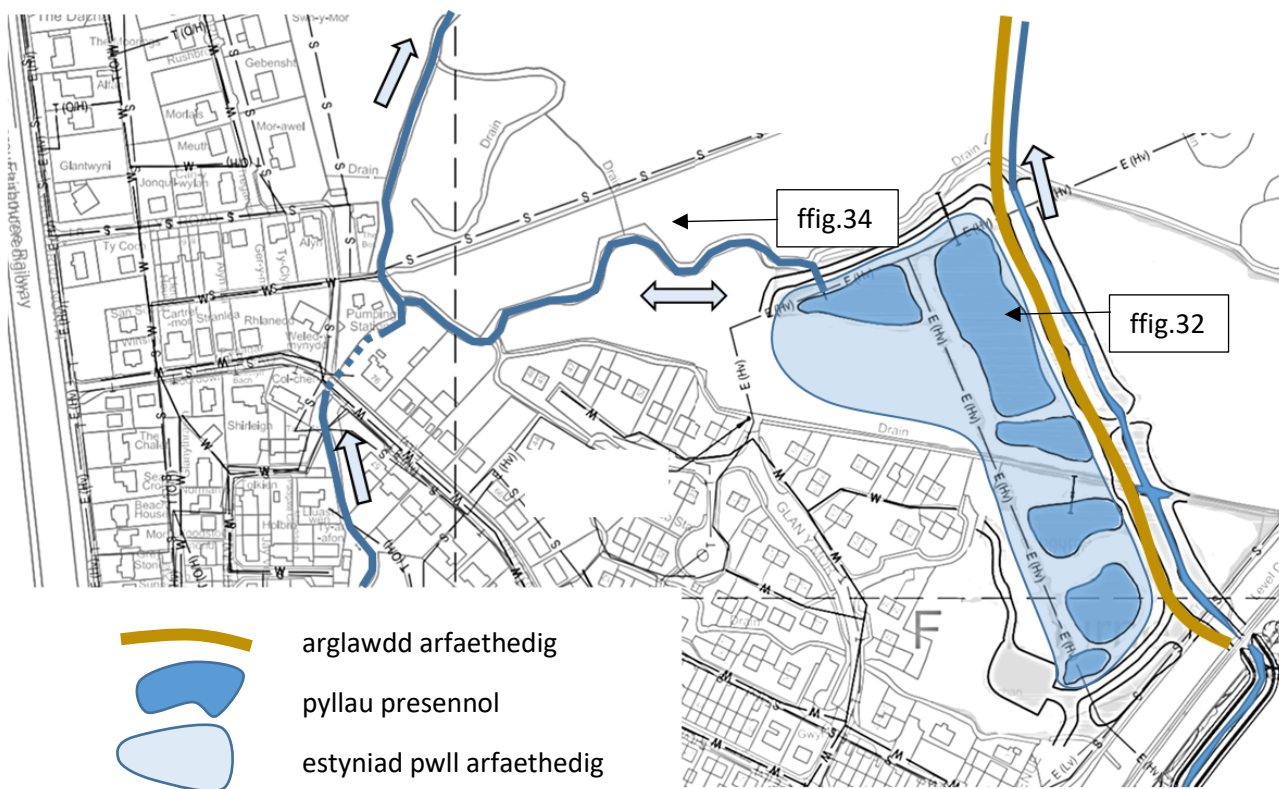
Byddai'n bosibl cyfeirio'r holl ddŵr draenio yn uniongyrchol o rwydwaith ffosydd draenio Fairbourne i'r gât lanw hon. Fodd bynnag, dim ond am ychydig oriau cyn ac ar ôl llanw isel y mae'n bosibl gollwng i'r aber. Yn ystod storm fawr, gall dŵr dreiddio i ffiniau'r ardal amddiffyn rhag llifogydd neu ddisgyn o fewn yr ardal fel glaw trwm. Gallai hyn achosi i'r system ffosydd ddraenio lenwi i gapasiti a gorlifo dros y glannau, gan beryglu eiddo. I osgoi'r perygl hwn, cynigir creu pwll cadw a fyddai'n storio dŵr dros dro yn ystod storm a'i ollwng yn ddiogel i'r aber ar y llanw isel nesaf.

Er bod y rhan fwyaf o Fairbourne yn cael ei ddefnyddio ar gyfer tai neu amaethyddiaeth, crëwyd ardal sylweddol o wlyptir wrth gloddio clai ar gyfer gwaith adeiladu cynllun lliniaru llifogydd 2016. Mae cyfres o byllau agored yn bodoli bellach, gyda gwelyau cyrs ar eu ffinio (ffig.32). Byddai hyn yn lleoliad addas ar gyfer datblygu pwll cadw dŵr llifogydd. Dangosir map o'r ardal yn ffig.33.



Ffigur 32

Ardal o wlypdir a grëwyd gan gloddio clai, ac yn awr wedi'i thyfu gyda gwelyau cyrs.



Ffigur 33: Ardal o welyau cyrs gwlyptir a gynigir fel pwll cadw dŵr llifogydd.

Byddai'r pwll cadw'n cael ei greu trwy gloddio clai pellach, a allai yn ei dro gael ei ddefnyddio i adeiladu'r arglawdd llifogydd newydd. Byddai cwifer yn cysylltu'r pwll â sianel bresennol yr afon sy'n ymdroelli tua'r gorllewin i'w gydlifiad ag allfa ffos ddraenio Fairbourne. Byddai'r rhan o hen sianel yr afon rhwng cwifer y pwll cadw a'r arglawdd llifogydd newydd yn cael ei lenwi â phridd a byddai wyneb y tir yn cael ei adfer.

Yn ystod digwyddiad storm ar lanw uchel, pan fydd dŵr draenio yn cronni yn y rhwydwaith ffosydd ac yn methu â gollwng trwy'r gât lanw, bydd dŵr yn llifo yn lle hynny i'r pwll cadw. Bydd hyn yn osgoi'r perygl o orlifo dros y glannau. Ar y llanw isel nesaf, bydd dŵr yn llifo allan o'r pwll cadw ac yn ail-ymuno â'r sianel allfa i'r gât lanw.



Ffigur 34

Cwrs presennol Afon Henddol sy'n mynd heibio ymyl ogleddol y gwlyptir a llifo tuag at y cydlifiad â rhwydwaith ffosydd draenio Fairbourne.

Rhyng-gipio dŵr môr

Gall pentref y Friog fod mewn perygl o bryd i'w gilydd gan donnau storm yn gorlifo'r traeth storm, ac o bosibl ychydig o ddŵr y môr yn tryddiferu drwy'r morglawdd yn ystod cyfnodau o lefel uchel y môr.

Mae carthffos gladdedig yn rhedeg ar hyd Penrhyn Drive i'r gogledd ac i'r de o gyffordd Beach Road, o flaen y rhesi o eiddo sy'n wynebu arglawdd y môr. Gall dŵr wyneb ddraenio i gridiau ymyl ffordd (ffig.35), ac yna caiff ei gludo drwy'r system garthffosiaeth i waith trin ar gyrron y pentref.



Ffigur 35: (chwith) Map cyfleustodau yn dangos lleoliad carthffos gladdedig ar hyd Penrhyn Drive (ar ôl Black and Veatch, 2012). (dde) Gridiau draenio ymyl ffordd o flaen eiddo yn Penrhyn Drive.

Mae Ffigur 36 yn dangos arfordir y Friog ar anterth Storm Clara ar 9 Chwefror 2020. Achosodd y storm hon helaeth o lifogydd ar draws Gogledd Cymru, er enghraifft ym mhentrefi Llanrwst a Beddgelert. Fodd bynnag, ni chafwyd unrhyw lifogydd yn Fairbourne, ac roedd y gwaith atgyweirio i'r morglawdd yn Friog yn effeithiol.



Ffigur 36: Arfordir y Friog yn ystod Storm Clara, Chwefror 2020.

Ar hyn o bryd, mae'n ymddangos nad oes unrhyw berygl llifogydd i eiddo o ddŵr a gludir dros arglawdd y môr. Pe bai'r sefyllfa hon yn newid oherwydd cynnydd yn lefel y môr neu ddwysedd stormydd, ateb fyddai adeiladu draen Ffrengig dŵr wyneb ar hyd gwaelod arglawdd y morglawdd (ffig.37) o flaen eiddo yn Penrhyn Drive.



Ffigur 37

Llinell arfaethedig o ddraen Ffrengig i gasglu dŵr o donnau sy'n torri drosodd o bryd i'w gilydd.

Gall y draen gynnwys ffos wedi'i llenwi â graean sy'n cynnwys pibell ddraenio blastig dyllog y gall dŵr lifo iddi (ffig.38). Mae lle ar gyfer y draen hwn rhwng y trac rheilffordd cul a'r ffordd (ffig.39).



Ffigur 38

Draen Ffrengig, gyda phibell ddraenio blastig slotiedig wedi'i chladdu mewn ffos llawn graean.



Ffigur 39

Safle posibl ar gyfer draen Ffrengig ar hyd glaswellt rhwng y rheilffordd gul a'r ffordd, Penrhyn Drive.

Mae'n bosibl bod y draen wedi'i gysylltu â rhwydwaith ffosydd draenio pentref Fairbourne trwy gwlfwr o dan Penrhyn Drive ac ar hyd Beach Road (ffig.40).



Ffigur 40

Cysylltiad draen yr arglawdd môr (brown) trwy gwlfwr i'r rhwydwaith ffosydd draenio, Beach Road.

5. MODELU HYDROLEGOL

Cafodd gwaith modelu cyfrifiadurol ei wneud i werthuso effeithiolrwydd y cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig ar gyfer pentref Fairbourne. Cafodd amodau eu dewis ar hyd pob ffin i gynrychioli senario storm waethaf ar gyfer lefel y môr fel y rhagwelwyd ar gyfer y flwyddyn 2065.

Roedd y modelu'n ystyried y posibiladau o ddŵr yn mynd i mewn i ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne o nifer o ffynonellau:

- Tonnau'n torri dros y morglawdd, a dŵr yn tryddiferu drwy'r morglawdd.
- Dŵr yn torri dros arglawdd llifogydd yr aber, a dŵr yn tryddiferu drwy'r arglawdd.
- Dŵr o lethrau brynau yn trechu arglawdd y rheilffordd ac arglawdd llifogydd arfaethedig, a dŵr yn tryddiferu drwy'r argloddiau.
- ychwanegiad o law yn uniongyrchol dros yr ardal amddiffyn rhag llifogydd.

Roedd modelu yn efelychu symudiad dŵr trwy'r ardal amddiffyn rhag llifogydd, storio dros dro, ac yna ei ollwng i'r aber trwy lif disgrychiant neu bwmpio.

Llifogydd o'r môr

Mae tîrfesur wedi dangos bod y morglawdd rhwng clogwyn Friog a chlwb golff Fairbourne yn darparu gwahaniaeth uchder clir o 1.5 m uwchlaw lefel uchaf llanw mawr a'r ymchwydd stormydd eithaf a ragwelir ar gyfer y flwyddyn 2065. Fodd bynnag, mae stormydd gaeafol mawr wedi digwydd ym Mae Ceredigion ym mlynnyddoedd diweddar, gyda difrod sylweddol yn digwydd ar bromenâd Aberystwyth oherwydd tonnau'n torri yn erbyn y morglawdd.

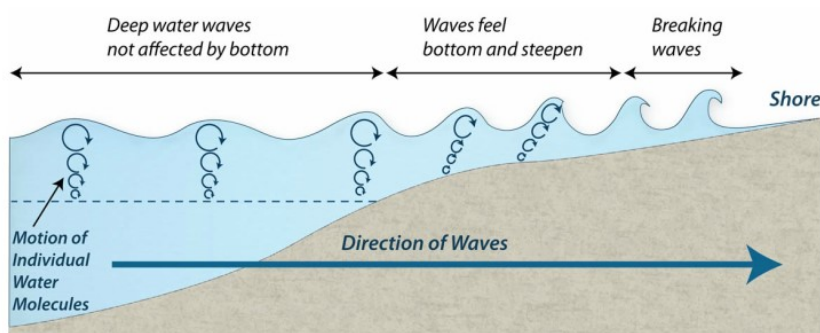


Ffigur 41

storm Aberystwyth
Ionawr 2014

Mae uchder y tonnau a brofir ym Mae Ceredigion yn ganlyniad i nifer o ffactorau: cyfeiriad dynesiad y tonnau, sy'n penderfynu'r pellter teithio ar draws y môr agored; cyflymder y gwynt a hyd y storm; a phatrwm lleol gwely'r môr a'r arfordir. Gallai tonnau mawr iawn sy'n agosáu at Fairbourne yn ystod storm fod fel arfer ag amledd o 10 eiliad ac osgled o 6m.

Mae dŵr yn cylchredeg mewn celloedd o dan donnau'r môr (ffig.42).

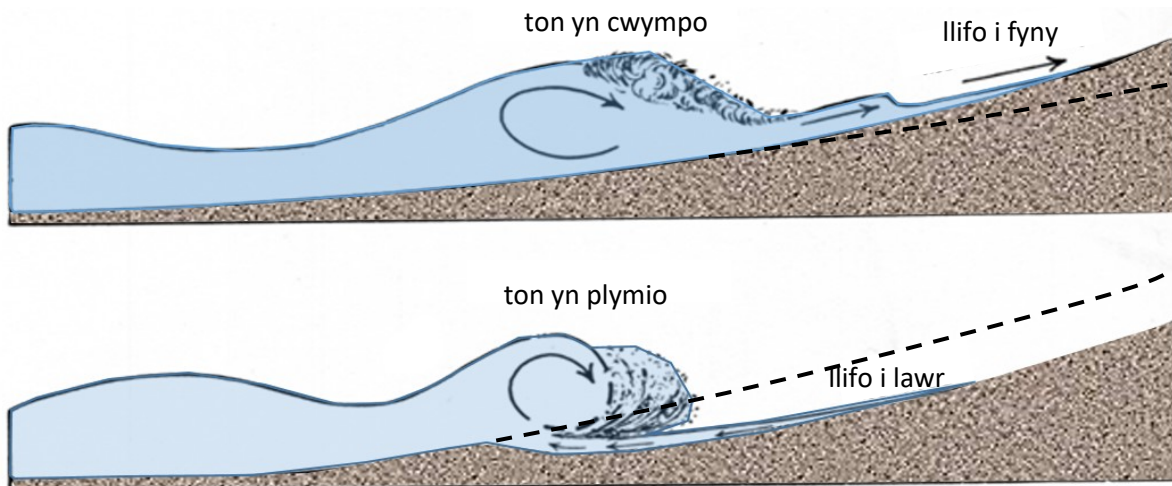


Ffigur 42

Diagram yn dangos newidiadau i fudiant dŵr o dan donnau'r môr wrth iddynt agosáu at draethlin.

Wrth i'r parth o ddŵr sy'n cylchdroi ddod ar draws traeth, mae crib y tonnau yn cynnal ei gyflymder ymlaen tra bod y celloedd dŵr islaw yn cael eu harafu gan lusgo ar wyneb y gwaddod. Mae hyn yn achosi i'r don ddymchwel neu 'dorri'.

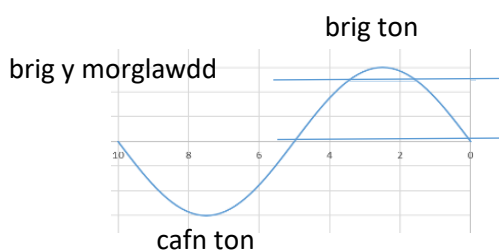
Pan fydd ton yn dod ar draws traeth sy'n goleddu'n raddol, mae'r mudiant cylchdro yn cael ei wasgaru'n raddol ac mae'r don yn cwmpo (ffig.43a). Mae gan y dŵr ddigon o fomentwm ymlaen i barhau i fyny'r traeth, gan gludo gwaddod traeth sy'n cael ei ddyddodi ar y llethr uchaf. Fodd bynnag, pan fydd ton yn dod ar draws traeth serth, nid oes cyfle i wasgaru'r mudiant dŵr cylchdro. Mae'r don yn plymio (ffig.43b) ac mae dŵr yn parhau i gylchdroi. Mae hyn yn creu adlif erydol sy'n cludo deunydd traeth yn ôl tuag at y môr.



Ffigur 43a: (uchod) Ton torri yn adeiladol. **b:** (isod) Ton torri yn erydol.

Gall y mecanwaith hwn esbonio erydiad ar y traeth cul, serth yn Friog, tra bod dyddodiad yn digwydd ar draethell Ro Wen ymhellach i'r gogledd lle mae'r traeth yn lletach ac yn goleddfu'n fwy graddol.

Mae traeth y storm cerrig mân yn Friog yn codi ar ongl o tua 35° o'r blaendraeth tywodlyd. Mae egni tonnau'n cael ei wasgaru'n effeithiol, gyda dim ond ambell brig tonnau yn trechu'r morglawdd. Dim ond am ryw awr y naill ochr i'r llanw uchel y byddai'r morglawdd mewn perygl o orlifo..



Ffigur 44: Uchder tonnau storm uchaf a ragfyneigr yn cymharu â'r traeth storm graean ger Friog.

O fodolau tonnau'n torri ar forglawdd sy'n goleddu'n raddol, amcangyfrifir y gallai 1m^3 o ddŵr groesi 1m o'r morglawdd wrth i don eithafol dorri. Gallai ton dorri mor fawr ddigwydd unwaith mewn deg ton, sy'n cynrychioli digwyddiad unwaith bob 100 eiliad. Mae hyn yn cyfateb i gyfradd llif gyfartalog o 10 litr/eiliad/m dros hyd y morglawdd yr effeithir arno.

Gan ystyried yr holl ffactorau, amcangyfrif uchaf ar gyfer cyfanswm cyfaint y dŵr môr a allai groesi'r morglawdd a mynd i mewn i'r ardal amddiffyn rhag llifogydd yn Fairbourne mewn storm eithafol yw $8\,000\text{m}^3$.

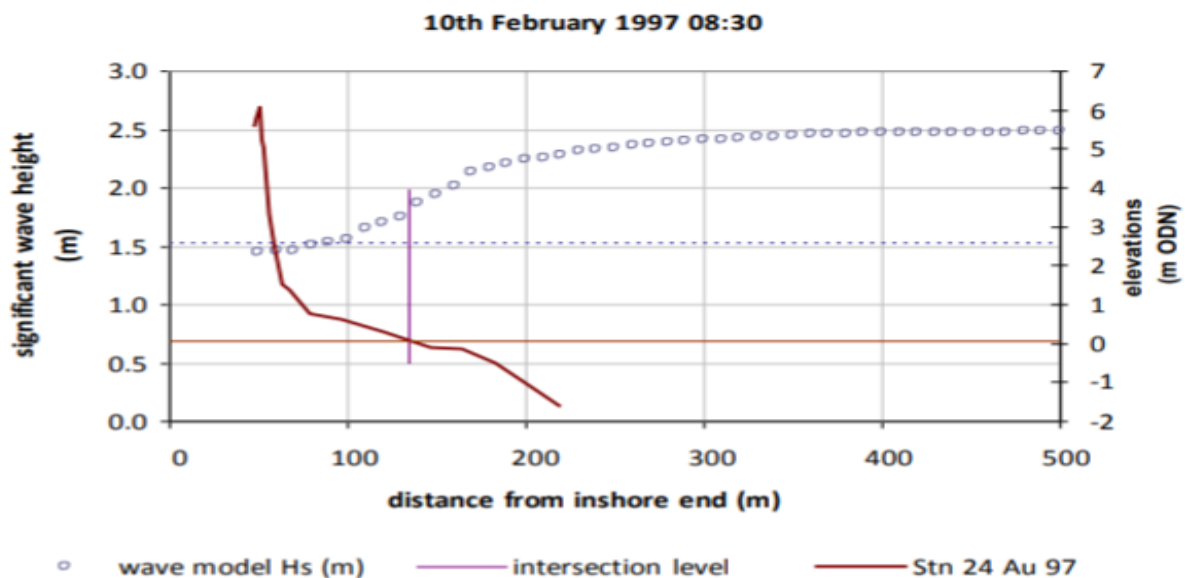
Ymhellach i'r gogledd ar hyd tafod, mae'r traeth yn codi'n fwy graddol, fel y gwelir yn y pellter canol yn ffig.45.



Ffigur 45

Traeth storm raean Ro Wen, yn edrych tua'r gogledd tua at bentref Fairbourne.

Ceir tonnau sy'n cwmpo, nid plymio, ar hyd y rhan hon o'r draethlin, gyda'r storm draeth yn sefydlog neu ychydig o raean yn cael ei ychwanegu yn ystod stormydd. Modelu gan Phillips et al. (2017) yn nodi, ar ôl i don yn torri, bod y dŵr yn disgyn i uchder arferol y llanw ynghyd ag unrhyw ymchwydd storm ychwanegol oherwydd gwasgedd atmosfferig isel. Dyma uchder y dŵr a fyddai'n cael ei weld ar y traeth storm raean. Profodd yr awduron eu modelu trwy ffotograffiaeth yn ystod stormydd gwirioneddol, a chanfod bod y model yn gywir (ffig.46).



Ffigur 46: Model ar gyfer newid yn nyfnder dŵr wrth ddynesu at draethell raean Ro Wen (ar ôl Phillips et al., 2017)

Daethpwyd i'r casgliad y daw amddiffyniad gan y traeth storm cerrig mân yn fwy effeithiol tua'r gogledd ar hyd tafod Ro Wen. Ni ddisgwylir unrhyw donnau'n gorlifo'n sylweddol ym mhentref Fairbourne yn ystod stormydd hyd at a thu hwnt i'r flwyddyn 2065, gan ganiatáu ar gyfer y cynnydd a ragwelir yn lefel y môr ac uchder ymchwydd storm.

Llifogydd o'r aber

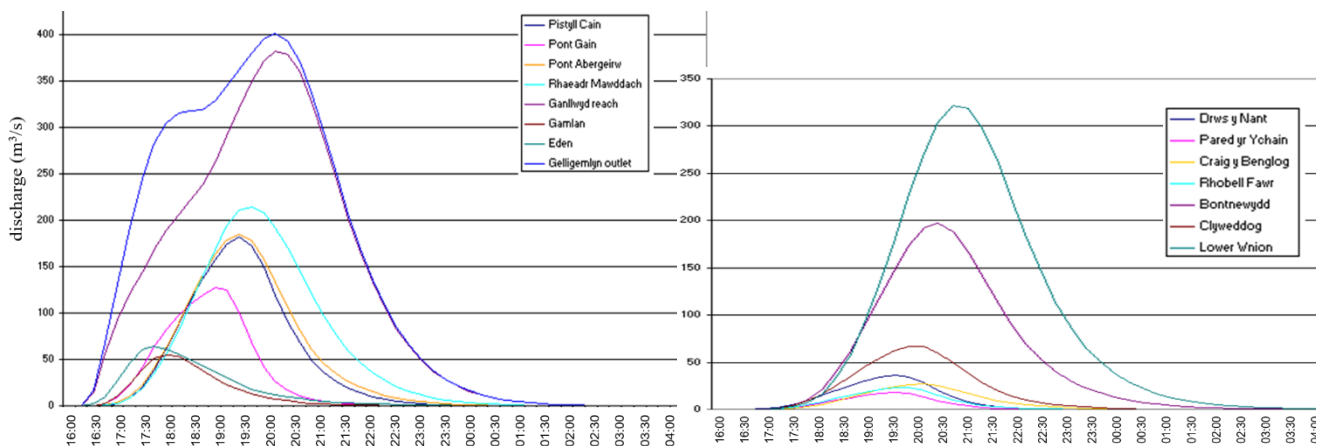
Gall uchder dŵr ar hyd glannau aberoedd gael ei ddylanwadu gan uchder y llanw, tonnau, neu fewnlif afon. Roedd Chen et al. (2018) wedi gwneud astudiaeth o uchder tonnau yn aber y Delaware yn UDA, sy'n debyg yn hydrolegol i aber afon Mawddach. Canfuwyd bod tonnau'r môr yn ymledu yn bennaf ar hyd y sianel ddŵr ddyfnach ac yn gostwng yn gyflym mewn dŵr bas ar hyd ymylon yr aber, yn enwedig lle mae llystyfiant morfa heli yn bresennol. Mae'n ddiogel tybio na fydd uchder y dŵr ar hyd arglawdd Fairbourne yn cael ei gynyddu gan effaith tonnau yn fwy nag ychydig gentimetrau.



Ffigur 47

Morfa heli rhwng arglawdd llifogydd yr aber a cheg aber afon Mawddach.

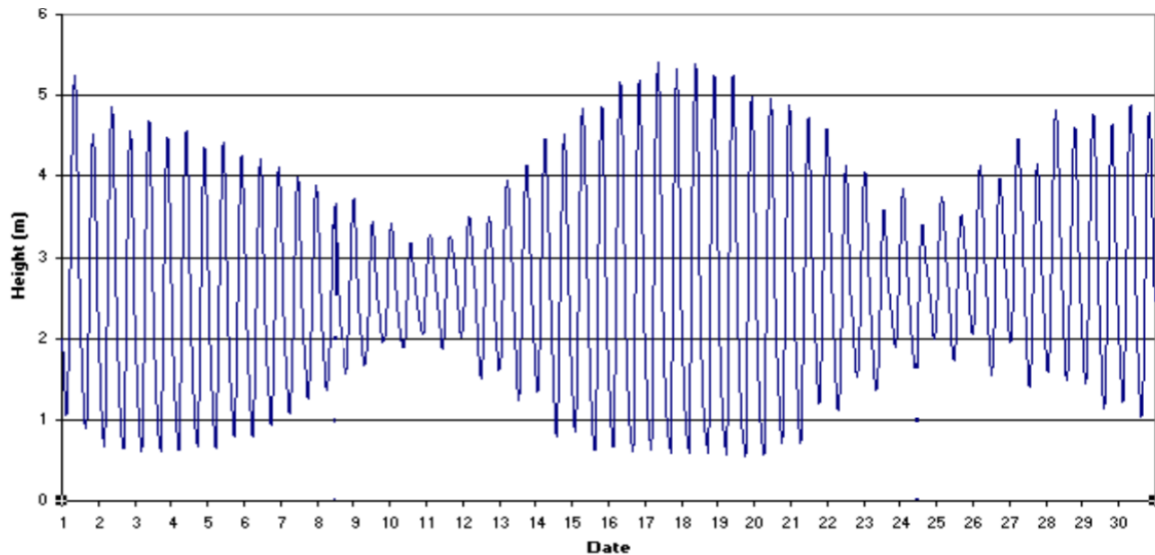
Rhaid ystyried y posibilrwydd o lifogydd afon ym mhen yr aber yn effeithio ar lefel y dŵr ar arglawdd Fairbourne. Y digwyddiad llifogydd mwyaf a gofnodwyd erioed ar afonydd Mawddach ac Wnion oedd ym mis Gorffennaf 2001, gan achosi difrod sylweddol i bontydd afonydd yn ardal Coed y Brenin. Mae hydrograffau (ffig.48) yn dangos cyfradd llif uchaf o 400m³/eiliad ar Afon Mawddach a 320m³/eiliad ar yr Afon Wnion.



Ffigur 48: Hydrograffau ar gyfer pwyntiau ar afonydd Mawddach (chwith) ac Wnion (dde) yn ystod llifogydd eithafol, 3 Gorffennaf 2001.

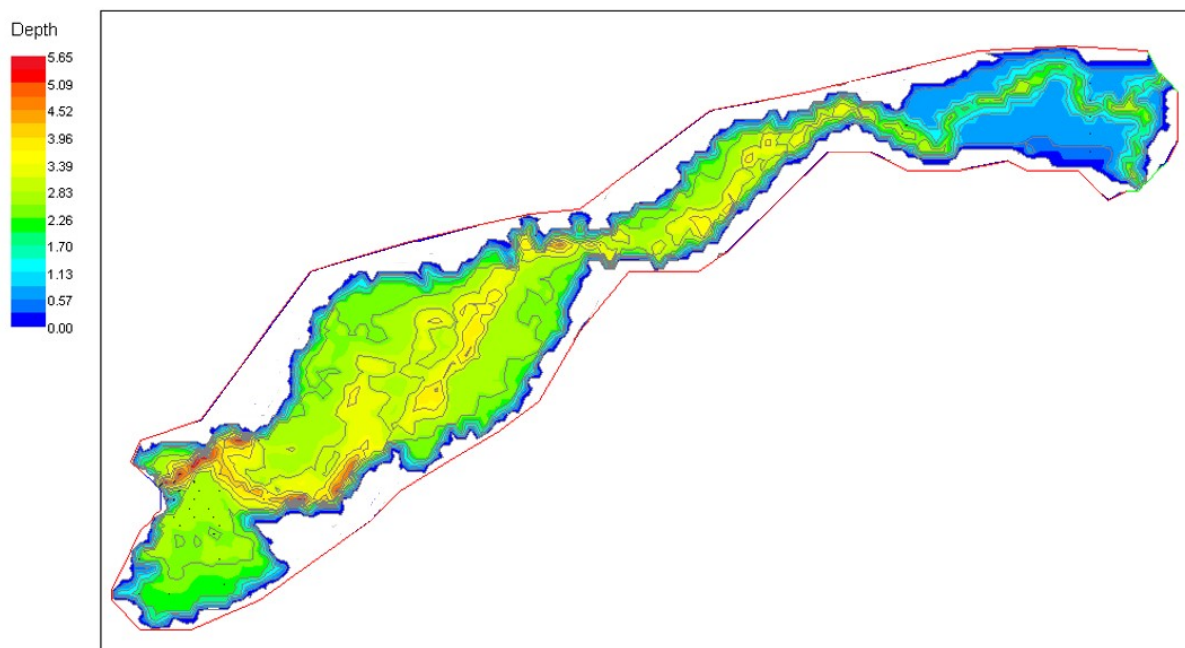
Achoswyd y llif sydyn ym mis Gorffennaf 2001 gan stormydd haf darfudol eithriadol dros y mynyddoedd, ac nid oedd ymchwydd llanw a thonau uchel y môr yn cyd-fynd ag ef fel a fyddai'n digwydd mewn timestl gaeafol. Mae'r llifogydd mwyaf a gofnodwyd ar afonydd Mawddach ac Wnion mewn ymateb i stormydd ffrynt y gaeaf wedi bod yn sylweddol is.

Dangosir data llanw mis nodweddiadol ar gyfer Abermaw yn ffig.49. Mae amrywiad yn digwydd rhwng llanw mawr a llanw isel, gyda'r uchder llanw uchaf tua 5.5m.



Ffigur 49: Data llanw mis arferol a gofnodwyd gan fesurydd llanw pont reilffordd Abermaw. Mae Datwm Siart ar gyfer Abermaw 2.4m islaw Datwm Ordnans.

Cyflawnwyd modelu llifogydd ar gyfer aber afon Mawddach gan ddefnyddio meddalwedd River2D (Steffler & Blackburn, 2002). Mae'r rhaglen yn darparu swyddogaethau effeithiol ar gyfer gwlychu a sychu morfeydd heli yn ystod cylchoedd llanw, gan ganiatáu i ddefnyddio gwahanol werthoedd ar gyfer ymwrthedd i lif dŵr mewn ardaloedd o dywod a llystyfiant morfa heli.



Ffigur 50: Model ar gyfer aber afon Mawddach ar uchder uchaf llanw ac ymchwydd storm, ynghyd â mewnlifoedd llifogydd ar afonydd Mawddach ac Wnion.

I fodelu senario storm waethaf yn y dyfodol, ychwanegwyd ymchwydd llanw o 2.5m yng ngheg yr aber at benllanw o 5.5m. Byddai storm o'r fath hefyd yn debygol o achosi llifogydd ar afonydd Mawddach ac Wnion sy'n arllwys i flaen yr aber. Llif o 300m³/eiliad a 250m³/eiliad eu cymhwyso ar gyfer afonydd Mawddach ac Wnion.

Roedd y model yn rhagweld llifogydd bas ar draws helaeth o gaeau isel rhwng Dolgellau a Llyn Penmaen ym masn uchaf yr aber. Fodd bynnag, gwasgarodd mewnlif yr afon trwy'r basnau canol ac isaf mawr ac ni welwyd unrhyw gynnydd mesuradwy yn nyfnder y dŵr uwchlaw uchder llanw ac ymchwydd stormydd o amgylch Fairbourne o ganlyniad i'r llifogydd yn yr afon.

Cyrhaeddodd mewnlif dŵr, ar y llanw godi, uchafswm o 8 000 m³/eiliad, gydag uchafswm cyflymder llif trwy geg yr aber o 5m/eiliad.

Sefydlogodd uchafswm lefel y dŵr yn erbyn arglawdd llifogydd Fairbourne tua phum munud ar ôl lefel uchaf y dŵr yng ngheg yr aber, ar lefel 0.4m yn is na brig yr arglawdd llifogydd, a 2.4m yn uwch na lefel y tir amaethyddol cyfagos. Arhosodd y dŵr ar y lefel hon yn erbyn yr arglawdd am gyfnod byr yn unig cyn cilio wrth i'r llanw ddisgyn.

Llifogydd o'r llethrau bryn

Mae gan y gefnwlod fynyddig uwchben Fairbourne briddoedd podsolig tenau yn bennaf yn gorchuddio cerrig llaid, llechi a chreigiau igneaidd athreiddedd isel. Mae hyn yn arwain at dirlawnder cyflym a llif dŵr cyflym yn ystod stormydd glaw.



Ffigur 51

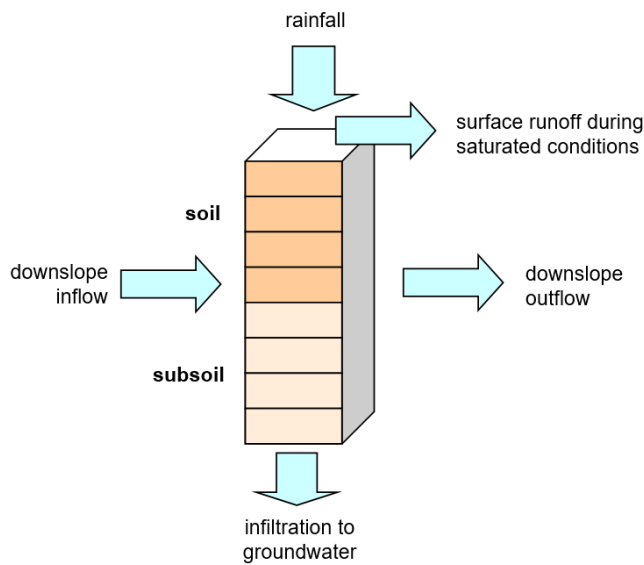
Tir mynydd uwchben Arthog.

Gwnaethpwyd gwaith modelu i ganfod effeithiau cyfnod estynedig o law stormydd trwm dros y mynyddoedd uwchben Fairbourne. Roedd hwn yn defnyddio meddalwedd hydroleg llethr bryn a ddatblygwyd yn flaenorol i ymchwilio i lifogydd yn nalgylch Mawddach (Hall & Cratchley, 2015).

Mae'r model yn rhannu wyneb y tir yn sgwariau 50m. Yna amcangyfrifir dyfnder y pridd a'r isbridd a dargludedd dŵr ym mhob sgwâr, yn seiliedig ar y ddaear waelodol a dyddodion arwynebol, ongl y llethr, a'r math o ddefnydd tir. Mae trwchiau dethol y pridd a'r isbridd i gyd yn cael eu hisrannu'n haenau (ffig.52).

Mae storm sy'n ymestyn dros sawl diwrnod yn cael ei efelychu fel cyfres o gyfnodau amser o 15 munud. Yn ystod pob ysbaid amser, mae glawiad yn cael ei ychwanegu at y sgwâr grid. Mae dŵr yn symud rhwng haenau o'r pridd a'r isbridd yn ôl y dargludedd a lefel y dirlawnder. Gall dŵr gael ei

drosglwyddo i lawr y llethr i sgwariau grid cyfagos mewn ymateb i'r pen hydrologig, a gellir ei golli i'r creigwely gwaelodol yn ôl ei athreiddedd. Pan fydd haen uchaf y pridd yn mynd yn ddirlawn, mae'r dŵr dros ben yn cael ei ryddhau ar yr wyneb fel llif dros y tir, a gall fynd i mewn i sianel nant.



Ffigur 52

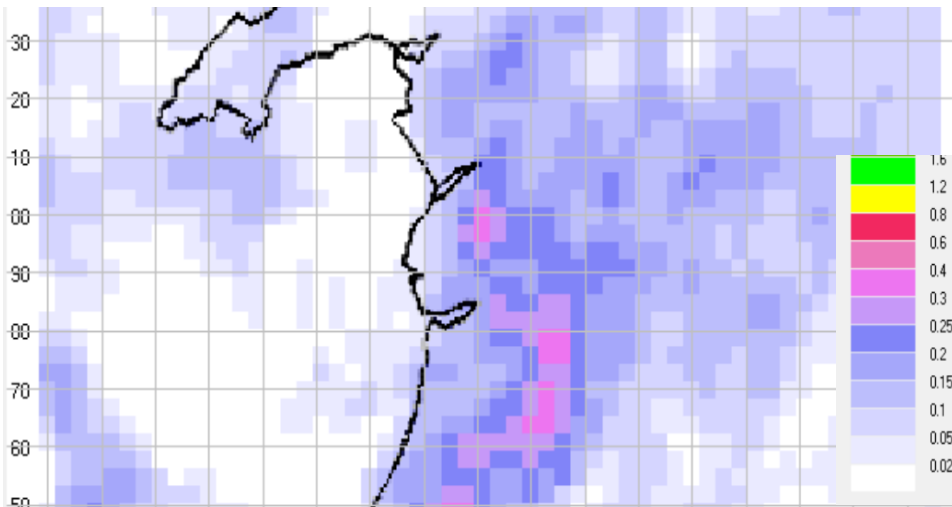
Strwythur mathemategol y model hydrolegol llethr bryn.

Mae llif dŵr mewn nentydd a sianeli agored yn cael ei fodelu gan ddefnyddio hafaliadau hydrologig yn seiliedig ar raddiant, garwedd a pherimedr gwlyb y sianel. Mae'r model yn ystyried gwaith a wnaed yn ystod cynllun lliniaru llifogydd Fairbourne 2016. Roedd hyn yn cynnwys codi uchder rhannau o lannau afon Henddol lle mae'n croesi caeau ar ôl disgyn o'r brynau i'r de o Fairbourne (ffig.53).



Ffigur 53: Darluniau yn dangos rhannau o lannau afon Henddol sydd wedi'u codi i atal llifogydd dros y lan (Black and Veatch, 2012).

Cafodd y model ei redeg gan ddefnyddio data ar gyfer digwyddiad storm eithriadol a ymestynnodd dros dri diwrnod ym mis Chwefror 2004. Roedd cofnodion glawiad bob awr ar gael trwy gydol y storm (ffig.53).



Ffigur 54

Patrwm glawiad dros ardal arfordirol Meirionnydd yn ystod un awr o'r storm ddifrifol ym mis Chwefror 2004.

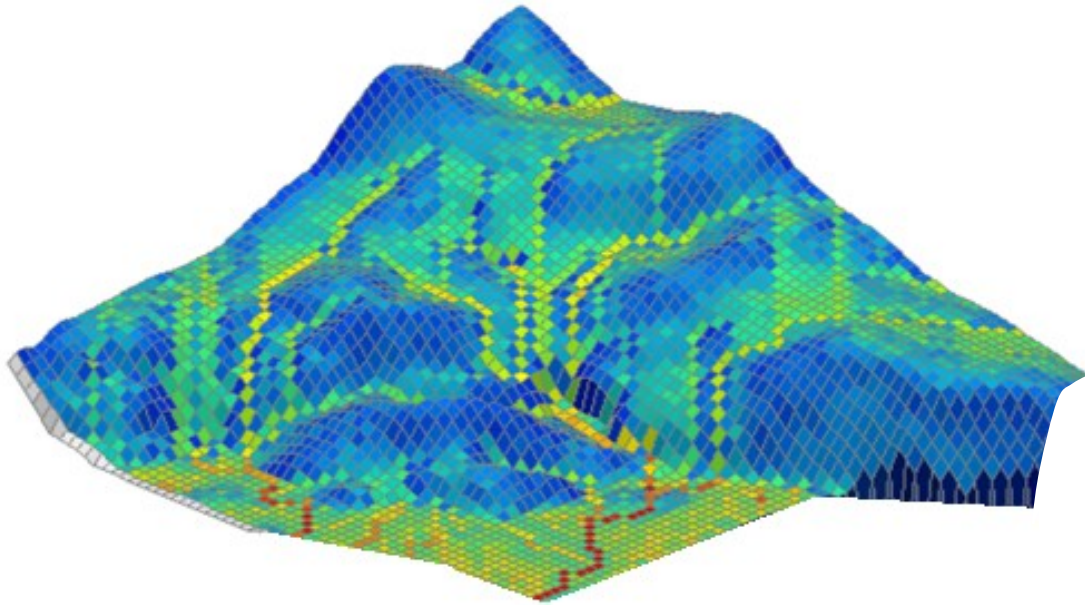
Arweiniodd y storm hon at lifogydd difrifol ar Afon Wnion yn Nolgellau (ffig. 55).



Ffigur 55: Llifogydd ar Afon Wnion yn Nolgellau ym mis Chwefror 2004, yn dilyn sawl diwrnod o law trwm parhaus ar ffrynt.

Amcan modelu llif dŵr ar lethrau bryn oedd amcangyfrif faint o ddŵr oedd yn cyrraedd ffin ddeheuol ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig Fairbourne wrth arglawdd y rheilffordd. Dangosir y canlyniadau yn ffig.56 isod.

Canfuwyd bod y dŵr ffo wedi achosi cynnydd yn y lefel trwythiad i o fewn 5cm i wyneb y ddaear yn y caeau i'r de o'r rheilffordd. Fodd bynnag, arhosodd llif y nentydd o fewn y sianeli ac ni chafwyd unrhyw lifogydd dros y glannau. Mae hyn yn ganlyniad rhesymol, gan fod dalgylch y nant sy'n draenio o'r llechwedd uwchben Fairbourne yn gymharol fach. Daethpwyd i'r casgliad bod arglawdd presennol y rheilffordd yn darparu amddiffyniad digonol i bentref Fairbourne rhag dŵr ffo stormydd o'r bryniau cyfagos.



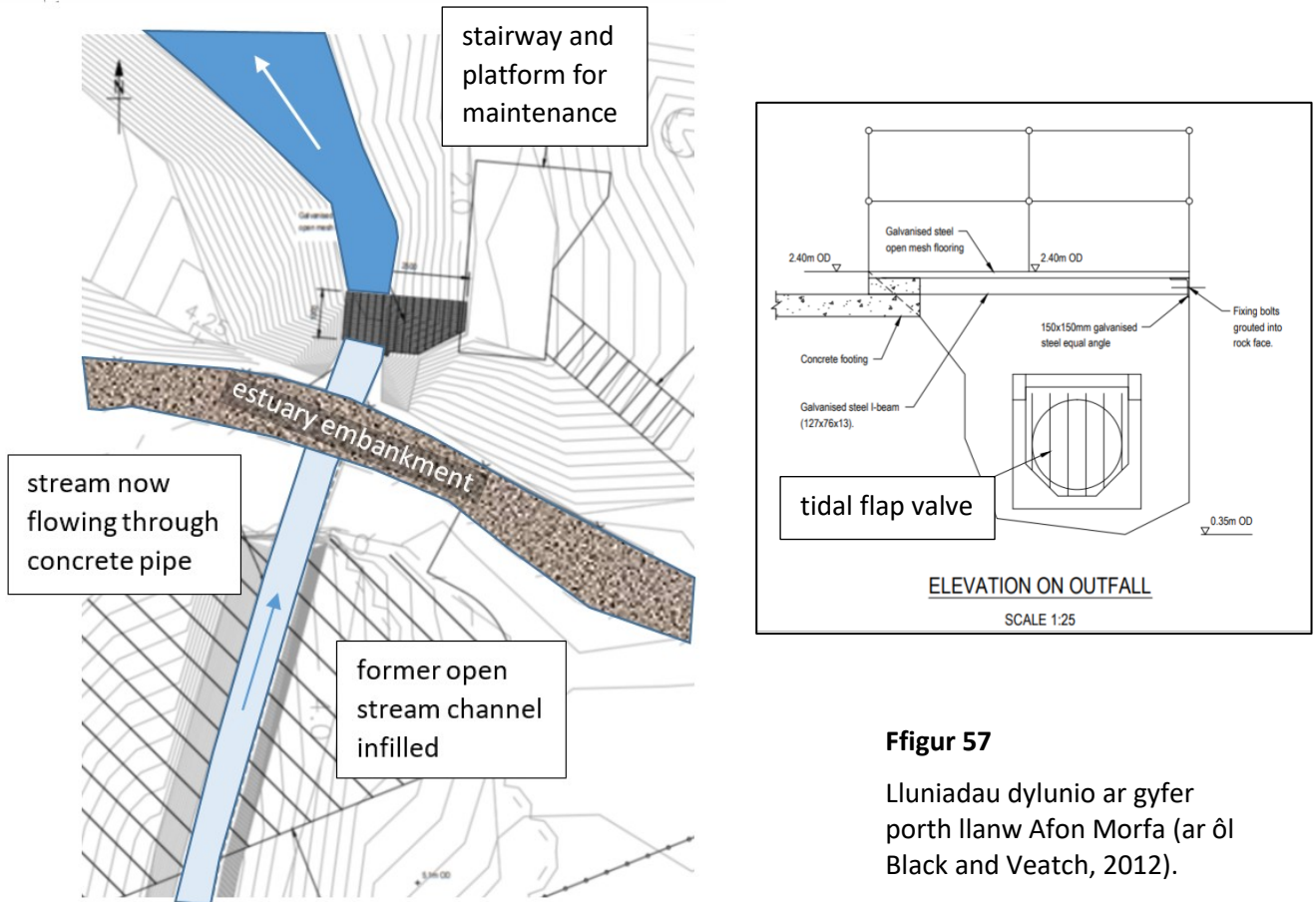
Ffigur 56: (uchod) Model llifogydd ar gyfer y llethrau uwchlaw Fairbourne ar ôl efelychu dau ddiwrnod o law trwm parhaus. Mae lliwiau melyn a gwyrdd yn dynodi lefel trwythiad yn agos at yr wyneb, tra bod coch yn dynodi llif dŵr agored mewn sianel nant neu lifogydd ar wyneb y ddaear. (isod) Awyrlun o'r ardal a gwmpesir gan y model cyfrifiadurol.

Iseldir arfordirol

Byddai'r bwriad i adeiladu arglawdd amddiffyn rhag llifogydd i'r dwyrain o bentref Fairbourne yn gofyn am ailgyfeirio Afon Henddol sy'n disgyn o ochr y bryn, ac yna'n mynd i'r gogledd o'r pentref i fynd i mewn i'r aber trwy gât lanw ar hyd y cwrs golff. (ffig.38). Byddai'r gât lanw hon yn parhau i gael ei defnyddio ar gyfer arllwys dŵr o fewn ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne yn unig.

Byddai Afon Henddol bellach yn llifo ar draws caeau i'r dwyrain o'r arglawdd llifogydd newydd, a byddai'n arllwys i'r aber trwy gât lanw arall yng ngheg nant Afon Morfa.

Ar hyn o bryd mae gât lanw ar y pwynt hwn, o ddyluniad hunanweithredol syml gyda falf fflap sy'n agor gyda llif y dŵr ar drai. Mae'r gât wedi'i chau gan bwysau llanw'n codi (ffig.57).



Ffigur 57

Lluniadau dylunio ar gyfer porth llanw Afon Morfa (ar ôl Black and Veatch, 2012).



Ffigur 58: Lleoliad porth llanw Afon Morfa (ffotograff o'r awyr: Google Earth).

Mae'r iseldir arfordirol rhwng arglawdd llifogydd newydd arfaethedig Fairbourne ac Afon Arthog yn cael ei groesi gan nifer o nentydd sy'n draenio'r brynau i'r de. Mae angen darparu cwlferi o dan arglawdd presennol y rheilffordd ac arglawdd hen reilffordd i Ddolgellau er mwyn arllwys dŵr i'r aber trwy giatiau llanw. Mae'r ardal isel hon o gaeau wedi'i hamddiffyn yn ddigonol rhag llifogydd aberol gan y gyfres bresennol o argloddiau llifogydd o amgylch y cyn ynysoedd o Fegla Fawr a Fegla Fach, yna ar hyd glannau Afon Arthog. Fodd bynnag, mae'r tir yn profi orlifo dros y glannau o'r nentydd a'r ffosydd draenio yn ystod stormydd (ffig.59).



Ffigur 59
Llifogydd mân ar dir amaethyddol yn Arthog yn dilyn storm ddifrifol ym mis Rhagfyr 2018.

I bwrpas y modelu, cymerir yn ganiataol fod caeau'r iseldir arfordirol yn gwbl ddirlawn o ganlyniad i sawl diwrnod o lawiad hirfaith, gyda 5cm o ddŵr wyneb yn bresennol. Mae hyn yn cynrychioli sefyllfa waethaf bosibl, gan fod llifogydd arwyneb o'r fath yn digwydd yn anaml, os o gwbl.

Draenio mewnol ardal Fairbourne

Gwnaethpwyd gwaith modelu i werthuso'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig. Roedd priodweddau hydrolegol pridd a ddefnyddiwyd yn y model yn seiliedig ar broffil pridd yn agos at linell yr arglawdd llifogydd newydd arfaethedig, fel y cofnodwyd gan Owen (2010).



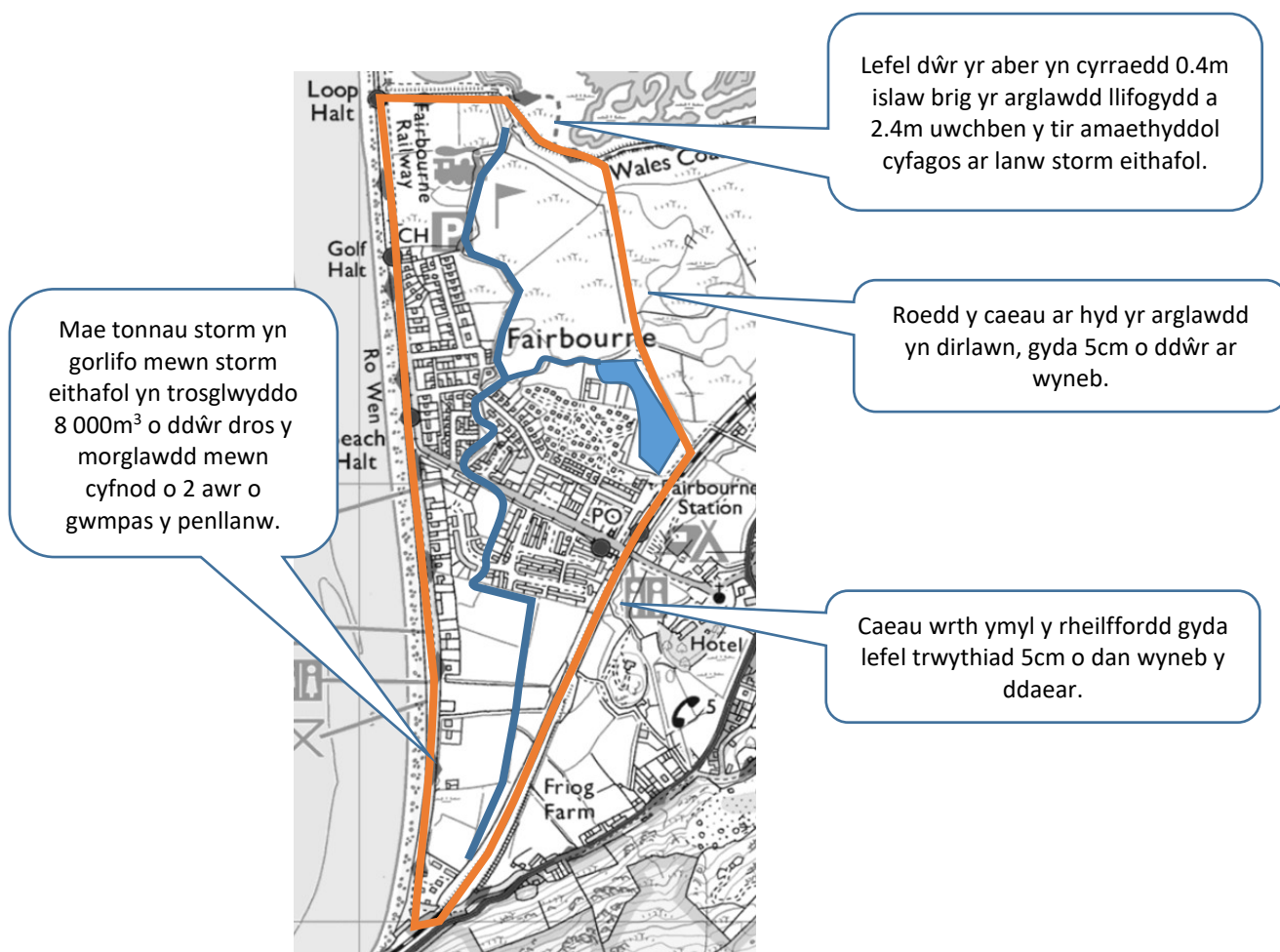
Ffigur 60
Cloddiwyd pwll samplu pridd yn agos at linell yr arglawdd llifogydd newydd arfaethedig (Owen, 2010).



Disgrifir proffil y pridd fel a ganlyn: “Tywod siltiog llwyd orenaidd canol gyda rhywfaint o glai, dyfnder o 0.25m. Tywod clai siltiog llwyd orenaidd, gwedd meddal gyda dyfnder o 1.25m. Roedd yr haen isaf yn glai siltiog llwyd oren, er yn llai o glai ac yn fwy tywodlyd wrth i’r ffos fynd i lawr.”

Mae hyn yn nodweddiadol o waddodion a osodwyd ar gyrion aber, lle gall amodau dyddodi llaid tywod a morfa heli ddigwydd dros gyfnod o amser am yn ail. At ddibenion y modelu presennol, amcangyfrif o werth dargludedd hydrologig yw 10-8 m/eiliad a thybir bod mandylledd uwchlaw'r lefel trwythiad o 0.5.

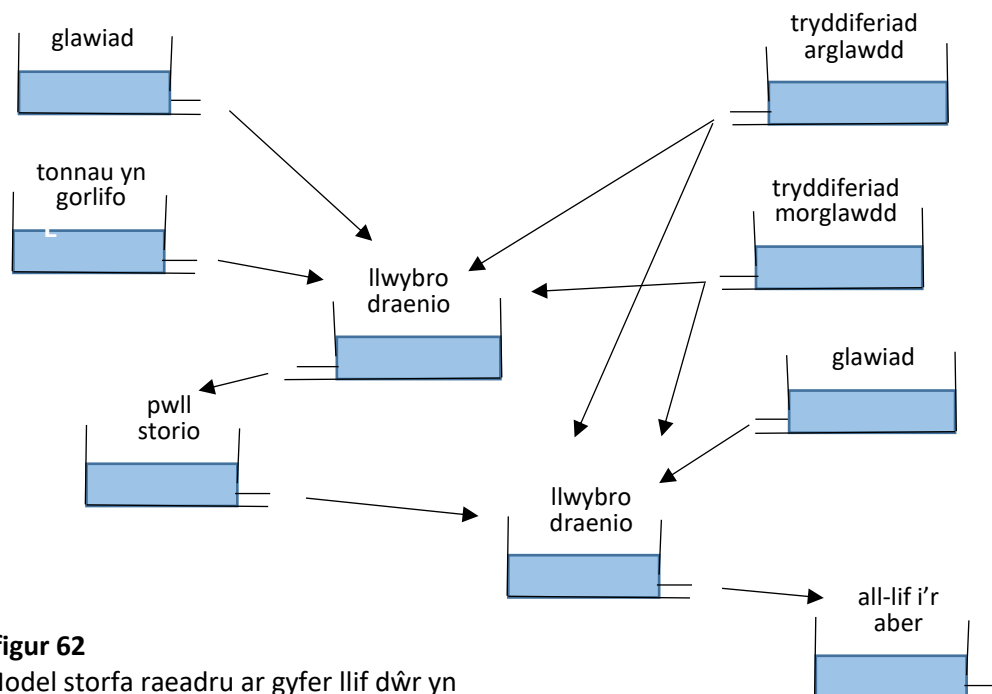
Cynhaliwyd model ar gyfer ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne, gan dybio y byddai stormydd estynedig o ddau ddiwrnod o hyd a chan ddefnyddio'r amodau ffin gwaethaf a gafwyd o'r modelu blaenorol, fel y crynhoir yn ffigur 61. Mae'r model yn caniatáu ar gyfer tonnau'n gorlifo'r morglawdd o ganlyniad i gynnydd o 0.5m yn lefel y môr o'i gymharu â'r presennol, ynghyd ag ymchwydd storm o 2.5m ar drai mawr.



Ffigur 61: Rhagdybir amodau terfyn ar gyfer y digwyddiad gwaethaf o lifogydd, gan ddefnyddio'r rhagfynegiad o lefel y môr ar gyfer y flwyddyn 2065

Defnyddiwyd model storfa raeadru, fel y dangosir yn ffig.62. Diweddarwyd cyfrifiadau am gyfnodau amser o 15 munud. Ychwanegwyd glawiad ar gyfer holl ardal Fairbourne, ynghyd â dŵr o donnau'n torri drosodd yn y rhan o'r morglawdd i'r de o Beach Road yn unig. Canfuwyd bod dŵr yn gollwng o'r pridd i ffosydd draenio gan ddefnyddio'r dargludedd hydrologig penodedig yn y pridd.

Cyfrifwyd llif y dŵr draenio drwy'r rhwydwaith ffosydd draenio, ynghyd ag all-lif drwy'r gât lanw pan oedd hynny'n bosibl. Cyfeiriwyd dŵr at y pwll storio pan ataliwyd all-lif yr aber. Ar drai, gallai'r pwll storio ryddhau dŵr yn ôl i'r rhwydwaith draenio. Gwnaed cyfrifiadau o drylifiad trwy neu o dan yr argloddiau a morglawdd, yn dibynnu ar y gwahaniaeth yn y pen hydrolog ar draws y strwythurau.



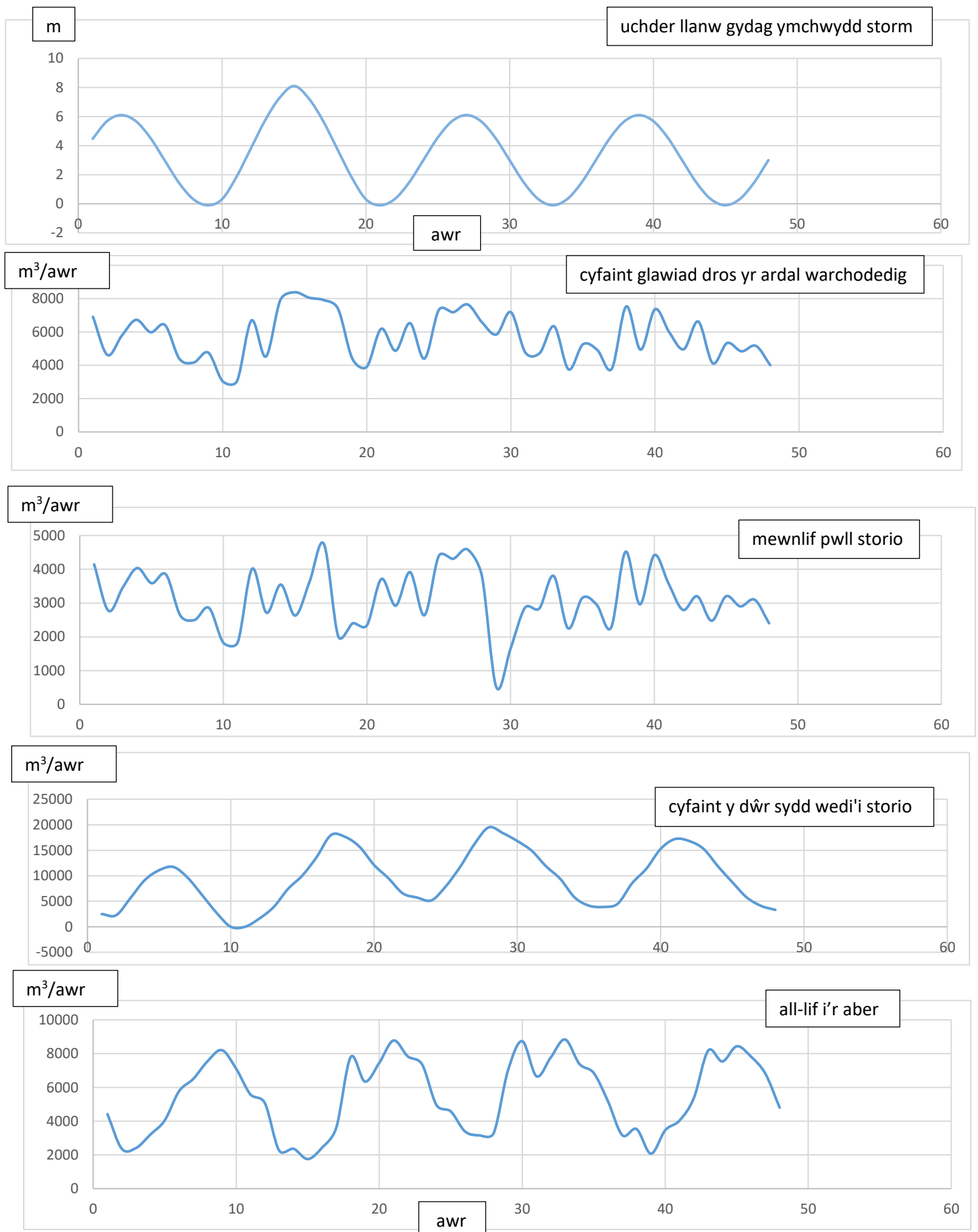
Ffigur 62

Model storfa raeadru ar gyfer llif dŵr yn ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne.

Dangosir canlyniadau'r modelu yn ffig.63 isod:

- Cafodd y llanw mawr ei efelychu, gan ychwanegu ymchwydd storm ar un penllanw.
- Mae cyfnod hir o law storm yn cynrychioli taith araf system ffrynt.
- Darganfuwyd bod trylifiad trwy ac o dan y morglawdd ac argloddiau llifogydd yn gyfyngedig iawn, oherwydd dargludedd hydrolog isel y pridd clai a'r gwahaniaeth isel mewn pen hydrolog ar draws y strwythurau.
- Glawiad oedd y prif fewnbwn dŵr i'r system. Roedd tonnau'n torri dros y morglawdd yn fyr o bwys adeg llanw uchel eithafol. Trosglwyddwyd dŵr i bob pwrpas i sianeli draenio heb unrhyw lifogydd dŵr wyneb sylweddol..
- Roedd llwybro dŵr o'r ardal i'r de o'r pentref yn achlysurol i'r pwll storio i'r dwyrain o orsaf reilffordd Fairbourne. Roedd y pwll hwn yn darparu byffer ddigonol ar gyfer storio dros dro yn ystod yr ychydig oriau ar y naill ochr a'r llall i'r penllanw pan ataliwyd yr all-lif uniongyrchol i'r aber.
- Roedd allbwn i'r aber yn dibynnu ar y llanw, ond roedd yn ymddangos ei fod yn cael ei gyflawni gan lif disgrychiant heb bwmpio. Cyrhaeddodd y llif uchaf ar drai tua 2m³/eiliad. Mae'r brigau all-lif graff dwbl a welwyd o amgylch llanw isel yn cynrychioli amseroedd teithio gwahanol ar gyfer llif dŵr o rwydwaith ffosydd draenio'r pentref ac arllwysiad o'r pwll storio.

Daethpwyd i'r casgliad y byddai'r ffin amddiffyn rhag llifogydd yn darparu amddiffyniad digonol yn erbyn mewnlif o ddŵr y môr, yr aber a dŵr wyneb i bentref Fairbourne yn ystod y senario storm waethaf a ragwelir ar gyfer y flwyddyn 2065. Gall llif dŵr mewnlol gael ei drin yn ddigonol gan y rhwydwaith ffosydd draenio a'i bwll cadw, heb ddŵr wyneb yn gorlifo.

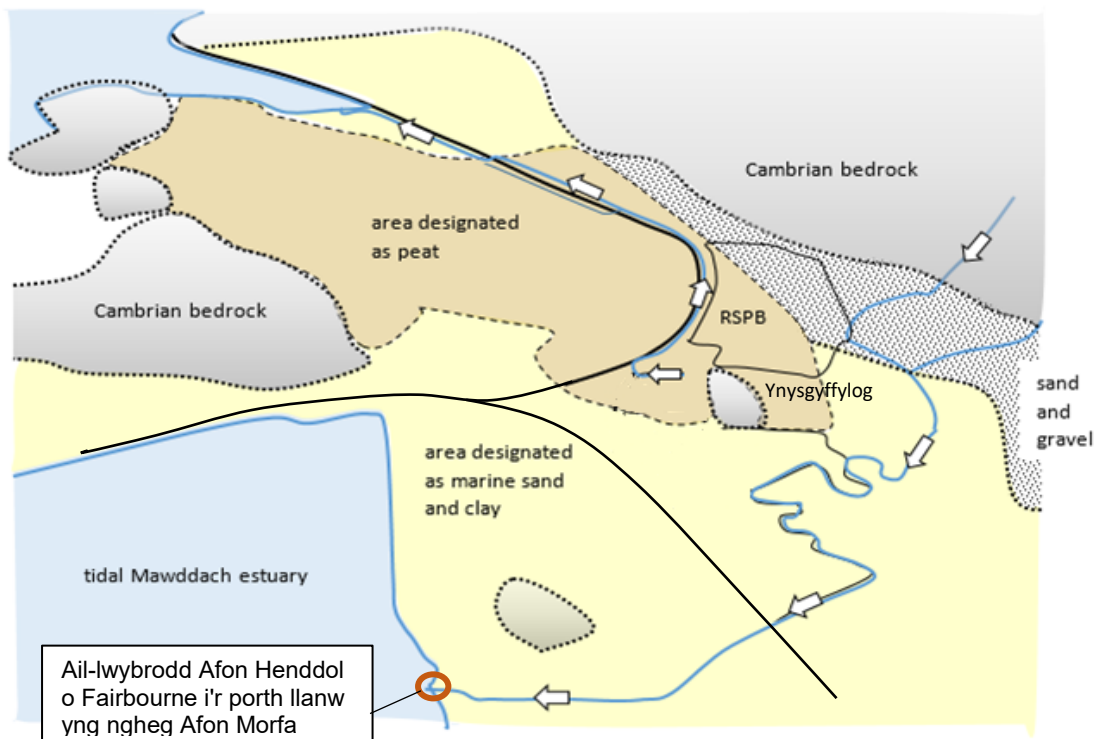


Ffigur 63: Canlyniadau modelu digwyddiad storm achos gwaethaf ar gyfer Fairbourne ar gyfer y flwyddyn 2065.

6. YR ARDAL AMDDIFFYN LLIFOGYDD ALLANOL

Byddai'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd ar gyfer pentref Fairbourne yn cael ei weithredu trwy amgáu rhan o ardal amddiffyn rhag llifogydd allanol Fairbourne-Arthog. Mae'n bwysig gwirio na fyddai'r cynllun newydd yn cael effaith andwyol ar hydroleg yr ardal allanol hon.

Dangosir rhan ganolog ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne-Arthog yn ffig.64.



Ffigur 64: Ardal ganolog amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne-Arthog.

Mae hen ynys greigiog Ynysgyfflog yn nodi cefndeuddwr bras rhwng nentydd a ffosydd draenio sy'n llifo tua'r dwyrain a tua'r gorllewin:

- I'r dwyrain o Ynysgyfflog, mae nentydd yn dilyn arglawdd yr hen reilffordd i ymuno â'r Afon Arthog trwy gât lanw.
- I'r gorllewin, mae nentydd yn llifo ar hyn o bryd i gât lanw Afon Morfa yn y lleoliad a nodir yn ffig.64.

Cors Arthog

O fewn yr ardal ganolog hon mae safle ecolegol pwysig Cors Arthog, a leolir rhwng cyn ynnysoedd creigiog Fegla Fawr, Fegla Fach ac Ynysgyfflog.



Ffigur 65

Gwelyau cyrs yng Nghors Arthog.

Mae gan y gors batrwm draenio anarferol. I ddeall hyn, gallwn ystyried model petrus ar gyfer fferfio'r gors, fel y dangosir yn ffig.66:

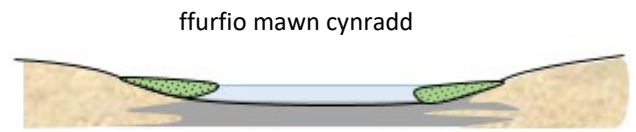
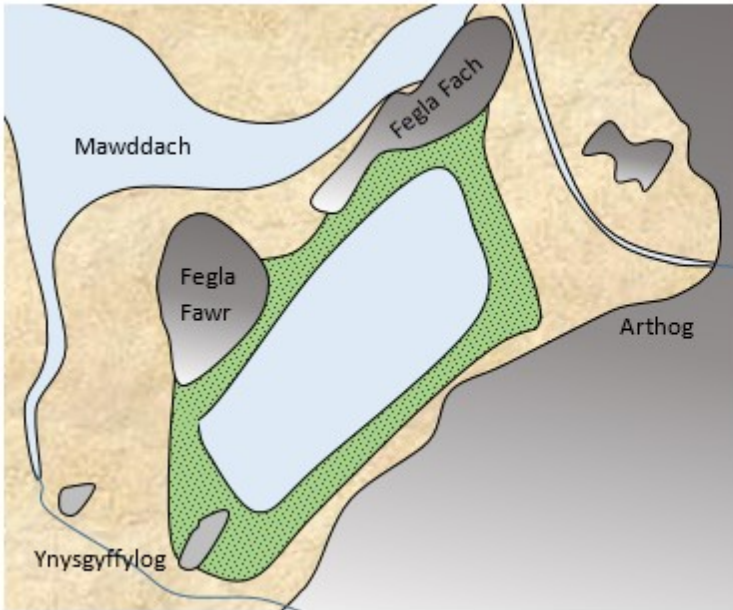
(a) Tua 6,000 o flynyddoedd cyn y presennol, dyddodwyd tywod a gludwyd i aber yr afon Mawddach gan lif y llanw yn y baeau i'r gorllewin a'r dwyrain o ynnysoedd Fegla Fawr a Fegla Fach. Crëwyd lagŵn, gyda thwf coed a phlanhigion dyfrol yn dechrau o gwmpas ei ymylon. Dros gyfnod o filoedd o flynyddoedd, ymestynnodd llystyfiant i mewn i'r lagŵn a chronnodd haen drwchus o fawn cynradd..

(b) Wrth i dyfiant llystyfiant barhau, daeth planhigion i wreiddio yn y dyddodion mawn cynradd ac nid oedd ganddynt bellach fynediad at fwynau yn y gwaddodion clai gwaelodol. Arweiniodd hyn at gynnydd yn asidedd y cyfrwng twf. Ar y cyd â'r amodau dwrlawn, gweiriau, hesg a brwyn oedd yn drechaf erbyn hyn ac fe gronnodd haen o fawn eilaidd.

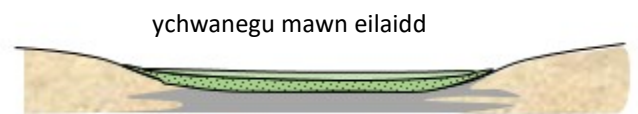
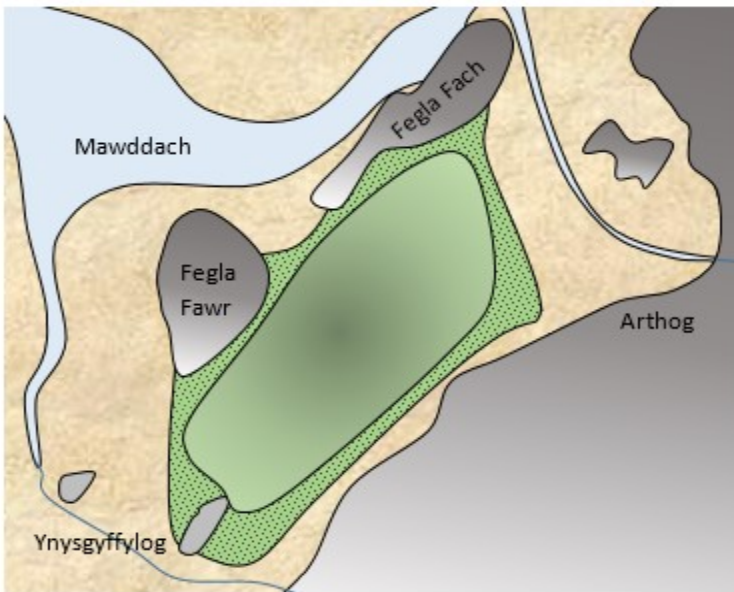
(c) Dros amser, roedd tyfiant mawn a casglu o fewn canol y gors yn achosi i'w harwyneb godi uwchlaw lefel ymylon y basn. Roedd hyn yn atal llif ddŵr allanol rhag cyrraedd yr adran ganolog, gan arwain at asideiddio pellach. Gallai gwelyau cyrs *Phragmites australis* a mwsoglau ddominyddu bellach, gan greu mawn trydyddol. Mae athreiddedd isel iawn y mawn trwchus yn cynnal amodau gwlyb yng nghanol y gors.

Digwyddodd camau (a) i (c) a amlinellwyd uchod mewn ymateb i asideiddio cynyddol deunydd twf y mawn. Ar hyn o bryd, mae natur uchel y gors ganolog yn cynhyrchu patrwm draenio rheiddiol tuag allan. Mae llif y dŵr yn isel, oherwydd dargludedd hydrolog isel y mawn.

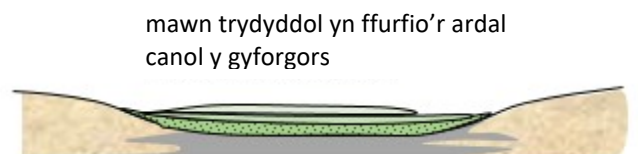
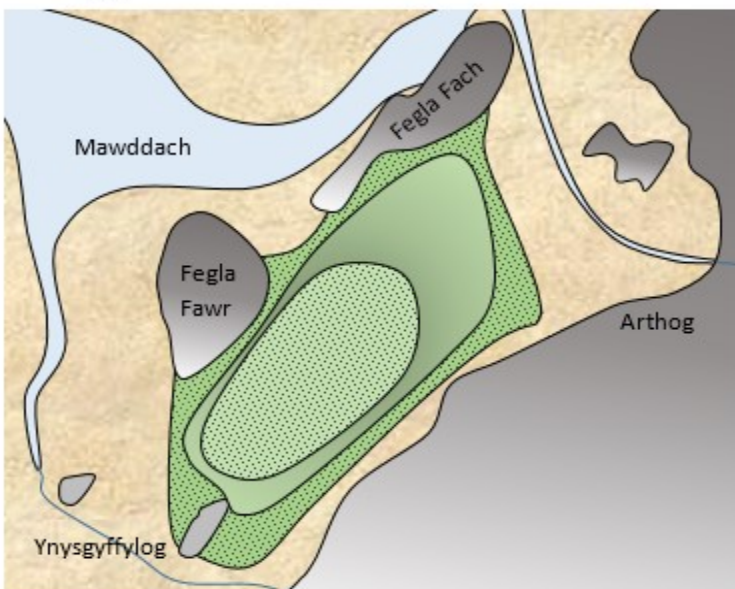
(a)



(b)



(c)



Ffigur 66: Datblygiad Cors Arthog.

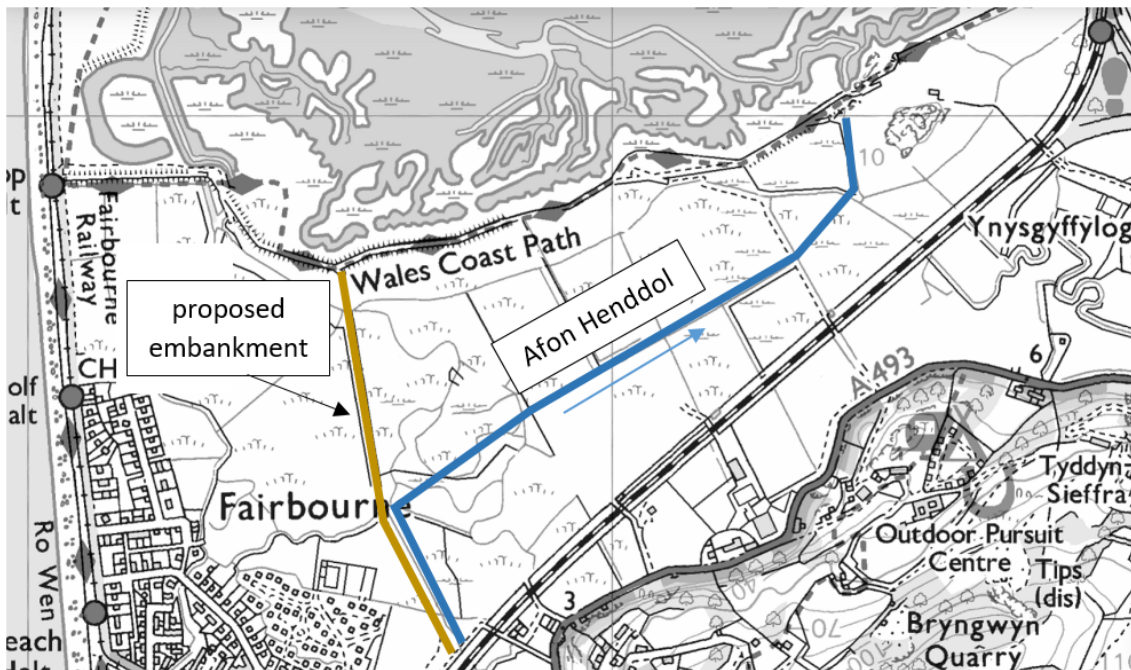
Mae craidd canolog y gors i bob pwrpas wedi'i ynysu oddi wrth y system draenio o'i hamgylch ac ni fyddai newidiadau i gwrs y nentydd i'r gorllewin o Ynysgyfflog yn effeithio arno.

Mae datblygiad naturiol cors Arthog wedi cael ei aflonyddu mewn amrywiol ffyrdd gan weithgaredd dynol dros nifer o ganrifoedd. Mae adeiladu arglawdd rheilffordd Dolgellau i Forfa Mawddach wedi gwahanu'r ardaloedd ymylol deheuol a gorllewinol oddi wrth graidd canolog y gors ac wedi hwyluso eu draenio a'u gwella ar gyfer amaethyddiaeth.

Mae nentydd sy'n llifo o ardal ganolog y gors a'i hestyniadau blaenorol y tu hwnt i arglawdd y rheilffordd yn gyffredinol yn llifo tua'r dwyrain i'r porth llanw wrth yr Afon Arthog. Yn eithriad yw nentydd sy'n llifo tua'r gogledd tuag at y bwlch rhwng Fegla Fawr a Fegla Fach, yna'n arllwys i'r aber trwy gât lanw yn y fan hon.

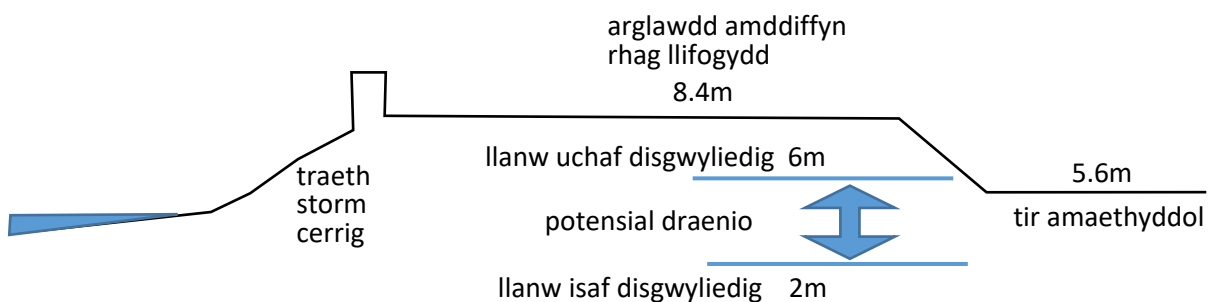
Allfa'r aber

Cynigir y bydd Afon Henddol, sy'n cael ei dargyfeirio o amgylch arglawdd amddiffyn rhag llifogydd newydd Fairbourne, yn cyrraedd porth llanw Afon Morfa trwy sianel newydd wedi'i thorri ar draws y tir amaethyddol.



Ffigur 67: Dargyfeirio arfaethedig i Afon Henddol

Mae ystyriaeth o uchderau cymharol y tir amaeth a'r amrediad llanw disgwylidig ar gyfer y flwyddyn 2065 yn awgrymu bod potensial draenio o 2m o leiaf yn bodoli wrth y porth llanw (ffig.68).



Ffigur 68: Uchder cydrannau tir uwchlaw Datwm y Siart

Gellid cynyddu dyfnder presennol y sianeli draenio (e.e. ffigur 69) a byddai dŵr draenio yn parhau i lifo tuag at y gât lanw ar drai. Byddai dyfnhau sianeli yn arwain at leihau'r lefel trwythiad er mwyn gwneud y tir yn llai tueddol i lifogydd, a byddai'n darparu mwy o gapasiti storio dŵr dros dro yn ystod stormydd.



Ffigur 69: Sianel ddraenio mewn tir amaethyddol i'r de o arglawdd llifogydd yr aber.
Ffotograff: K. Owen

Efallai y byddwn yn dod i'r casgliad na fyddai'r cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig ar gyfer pentref Fairbourne yn cael effaith andwyol ar yr ardal amddiffyn rhag llifogydd ehangach rhwng Fairbourne ac Arthog. Ni fyddai unrhyw effaith ar ardal ecolegol bwysig, safle o ddiddordeb gwyddonol arbennig Cors Arthog, tra bod cyfle yn bodoli i wella draeniad tir amaethyddol rhwng Fairbourne a Morfa Mawddach trwy gysylltu draeniad â phorth llanw Afon Morfa.

7. CRYNODEB O'R GWAITH AR GYFER Y CYNLLUN ARFAETHEDIG

Dilyniant adeiladu

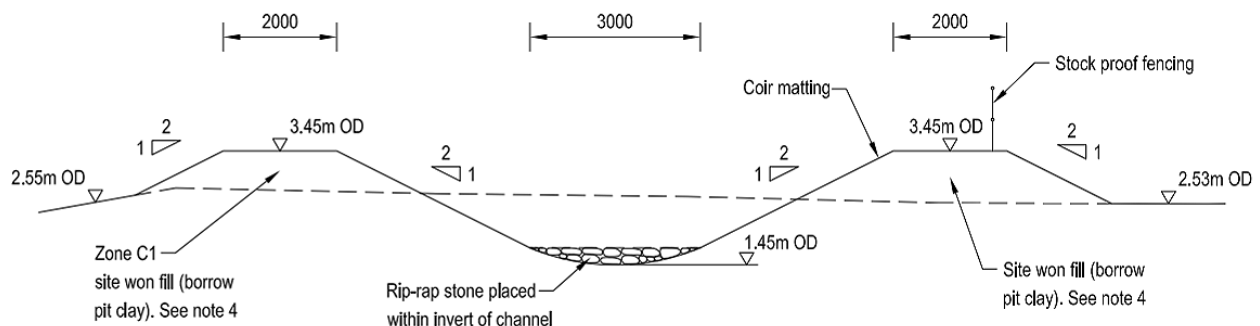
1	Uwchraddio gât lanw Afon Morfa i ymdopi â chyfaint mwy o ddŵr a ddarperir gan Afon Henddol.
2	Dargyfeirio Afon Henddol trwy adeiladu sianel ddraenio newydd ar draws tir amaethyddol i gysylltu â phorth llanw Afon Morfa.
3	Adeiladu arglawdd amddiffyn rhag llifogydd newydd sy'n cysylltu arglawdd y rheilffordd i'r dwyrain o orsaf Fairbourne ag arglawdd yr aber i'r dwyrain o gwrs golff Fairbourne.
4	Clirio a dyfnhau'r ardal o welyau cyrs gwlyptir i'r dwyrain o orsaf Fairbourne i ddarparu pwll cadw dŵr llifogydd. Bydd yr arllwysfa o'r pwll yn cael ei gysylltu â'r sianel ddraenio bresennol sy'n arwain at y gât lanw ar hyd y cwrs golff.
5	Cau ceuffosydd trwy arglawdd y rheilffordd i'r de-orllewin o orsaf Fairbourne. Cysylltiad ffosydd draenio deheuol yn Friog â rhwydwaith ffosydd draenio Fairbourne.



Ffigur 71: Adeiladu gât lanw Afon Henddol, yn dangos y sianel casglu dŵr.

2. Dargyfeirio Afon Henddol trwy adeiladu sianel ddraenio newydd ar draws tir amaethyddol i gysylltu â phorth llanw Afon Morfa.

Dylai'r sianel a gloddir fod yn debyg o ran cynllun i'r sianel newydd a grëwyd ar gyfer yr afon ar hyd arglawdd y rheilffordd ger gorsaf Fairbourne (ffig.72).

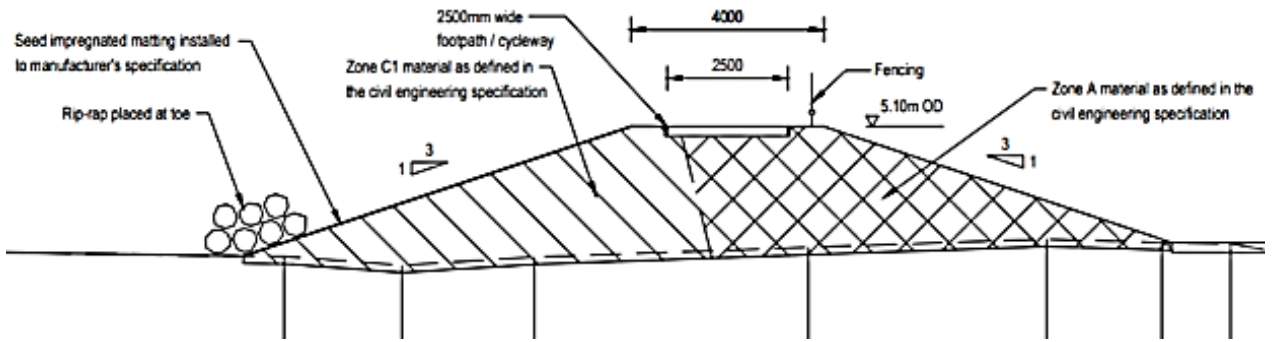


Ffigur 72: Diagram dylunio ar gyfer sianel Afon Henddol i'r de o Fairbourne (Black and Veatch, 2012).

3. Adeiladu arglawdd amddiffyn rhag llifogydd newydd yn cysylltu arglawdd y rheilffordd i'r dwyrain o orsaf Fairbourne ag arglawdd yr aber i'r dwyrain o gwrs golff Fairbourne.

Bydd hyd y strwythur newydd hwn tua 700m ac yn cael uchder o 2.5m. Byddai hwn yn debyg o ran cynllun i arglawdd yr aber (ffig.73), ond gallai fod yn 2000mm o led ar y brig yn hytrach na 4000mm.

Adeiladwyd arglawdd yr aber o glai ar ochr y môr a thywod yr aber a phridd clai ar ochr y tir. Byddai deunyddiau tebyg ar gael i'w defnyddio yn yr arglawdd newydd: clai o gloddiaid ar gyfer y pwll cadw, a phridd tywod a chlai o ddargyfeiriad sianel yr Afon Henddol.



Ffigur 73: Diagram dylunio ar gyfer arglawdd yr aber (Black and Veatch, 2012).

4. Clirio a dyfnhau'r ardal o welyau cyrs gwlyptir i'r dwyrain o orsaf Fairbourne i ddarparu pwll cadw dŵr llifogydd. Bydd yr arllwysfa o'r pwll yn cael ei gysylltu â'r sianel ddraenio bresennol sy'n arwain at y gât lanw ar hyd y cwrs golff.

Mae'r ardal sydd ar gael ar gyfer cloddio clai wedi'i nodi mewn glas golau yn ffig.74. Dylai dyfnder y pwll fod o leiaf 3m. Dylid ei gysylltu â sianel bresennol yr afon allfa gan bibell goncrit o 1000mm o ddiamedr.



Ffigur 74: Ardal sydd ar gael ar gyfer cloddio clai a chreu pwll cadw dŵr llifogydd (ar ôl Black a Veatch, 2012).

Monitro a chynnal a chadw yn y cyfnod hyd at y flwyddyn 2065 a thu hwnt

Gweithgaredd	Canlyniad disgwylidig	Angen ymyrraeth bosibl
Archwilio'r morglawdd rhwng cwrs golff Friog a Fairbourne yn rheolaidd ac ar ôl stormydd mawr.	Mae'r morglawdd a'r arglawdd mewn cyflwr da ar hyn o bryd ac o uchder digonol, felly ni ddylai fod angen ymyrryd.	Pe bai difrod storm i'r morglawdd, byddai'r ardal a ddifrodwyd yn cael ei hailadeiladu'n lleol. Byddai hyn yn dilyn patrwm y gwaith atgyweirio diweddar yn Friog. Byddai llen fetel yn cael eu gosod i atal ymdreiddiad dŵr y môr, byddai'r morglawdd concrit yn cael ei ailadeiladu, a'i amddiffyn gan arfogaeth graig.
Monitro tonnau'n torri drosodd yn ystod stormydd.	Mae rhagfynegiadau o gynnydd yn lefel y môr ac uchder ymchwydd storm yn awgrymu y bydd angen codi uchder rhannau o'r morglawdd a'r arglawdd gan 1m rywbryd o gwmpas y flwyddyn 2050. Mae amddiffyniad naturiol gan y traeth storm cerrig yn cynyddu tua'r gogledd ar hyd tafod graen Ro Wen, felly fydd angen codi uchder yr amddiffynfeydd morol dim ond yn y rhan ddeheuol rhwng Friog a Beach Road, Fairbourne.	Mewn achos o erydu'r arglawdd gan ddŵr o donnau'n torri drosodd, efallai y bydd angen gwaith ailadeiladu lleol ar ochr y tir i'r arglawdd. Dylid ystyried codi uchder y morglawdd yn lleol ar unrhyw adeg pan fydd tonnau torri drosodd yn broblem.
Monitro erydiad traeth.	Mae'n ymddangos bod erydiad morol yn digwydd yng nghornel Friog lle mae'r tafod graean yn cysylltu â'r clogwyni. Fodd bynnag, nid oes unrhyw fygythiad i'r amddiffynfeydd morol ar hyn o bryd.	Os bydd erydiad morol yn parhau, gall tonnau'n torri drosodd ddod yn broblem ddifrifol a gallai strwythur y morglawdd gael ei niweidio. Cyn i hyn ddigwydd, argymhellir rhywfaint o ymyrraeth. Strategaethau posibl i adfer y traeth yw: ychwanegu deunydd craig yn uniongyrchol, adeiladu grwynau, neu greigres alltraeth amddiffynnol.
Archwilio arglawdd llifogydd yr aber yn rheolaidd ac ar ôl stormydd mawr.	Mae'r arglawdd mewn cyflwr da ar hyn o bryd ac o uchder digonol, felly ni ddylai fod angen ymyrryd. Mae rhagfynegiadau o gynnydd yn lefel y môr ac uchder ymchwydd storm yn awgrymu y bydd angen codi uchder yr arglawdd gan 1m rywbryd o gwmpas y flwyddyn 2050.	Mewn achos annhebygol o orlifo neu bron i orlifo dros yr arglawdd ar adeg llanw mawr yn ystod storm eithafol, dylid codi uchder yr arglawdd fel mater o frys.
Archwilio arglawdd y rheilffordd yn rheolaidd ac ar ôl stormydd mawr.	Network Rail sy'n gyfrifol am gynnal a chadw'r seilwaith rheilffyrdd. Mae'r arglawdd mewn cyflwr da ac o uchder digonol, felly ni ddylai fod angen unrhyw ymyrraeth i reoli llifogydd.	Mewn achos annhebygol o ddŵr ffo llethr bryn yn peryglu'r rheilffordd dan amodau stormydd mwy eithafol yn y dyfodol, disgwylir y byddai Network Rail yn cymryd camau adfer i godi lefel yr arglawdd trwy ychwanegu balast.

Archwilio'r arglawdd llifogydd newydd yn rheolaidd ac ar ôl stormydd mawr.	Disgwylir y bydd yr arglawdd newydd o adeiladwaith sylweddol ac uchder digonol, felly ni ddisgwylir unrhyw ymyrraeth.	Byddai gwaith atgyweirio'n cael ei wneud pe bai wynebau'r arglawdd yn cael eu herydu gan ddŵr wyneb neu ddŵr yn tryddiferu drwy'r strwythur, sy'n annhebygol.
Monitro gweithrediad gataiau llanw'r aber.	Disgwylir y bydd fflapiau llanw hunanweithredol yn effeithiol wrth atal mewnlifiad dŵr yr aber ar lanw uchel, tra'n caniatáu all-lif ar drai. Gall gwaddod afon ac aber gronni o amgylch strwythurau'r porth llanw. Dylid clirio'r gwaddod hwn pan fo angen, er mwyn sicrhau gweithrediad dirwystr y gataiau.	Mae'n bosibl y bydd dŵr yr aber yn gollwng drwy'r gât lanw, gan greu perygl o lifogydd yn ardal amddiffyn Fairbourne. Pe bai hyn yn digwydd, gellid disodli'r fflap llanw gan falf gât a weithredir yn drydanol a fyddai'n cau'n awtomatig mewn ymateb i gynnydd yn y llanw, ac ond yn agor pan fo'n ddiogel i wneud hynny ar drai.
Monitro'r rhwydwaith draenio mewnol.	Bydd angen clirio llystyfiant a gwaddod o bryd i'w gilydd ar gyfer y ffosydd draenio, y cwlferi a'r pwll cadw dŵr llifogydd. Disgwylir y bydd all-lif i'r aber yn digwydd gan lif disgyrchiant trwy'r rhwydwaith sianeli.	Os gwelir llifogydd dŵr wyneb mewn unrhyw ran o'r pentref, dylid ehangu neu ddyfnhau'r system ddraenio i atal hyn rhag digwydd eto. Os canfyddir na all all-lif i'r aber gael ei gyflawni trwy lif disgyrchiant yn unig o dan amodau stormydd mwy eithafol yn y dyfodol, yna dylid cyflwyno pwmpio. Mae opsiynau'n bodoli i gynhyrchu'r ynni trydanol angenrheidiol yn lleol drwy ynni gwynt neu ynni'r llanw adnewyddadwy.

8. CASGLIADAU AC ARGYMHELLION

Byddai'n ymarferol yn dechnegol i amddiffyn y pentref rhag llifogydd pellach tan y flwyddyn 2065 ac ymhell wedi hynny. Dylai'r gost fod yn rhesymol, gan fod y rhan fwyaf o'r seilwaith gofynnol eisoes yn ei le ac mewn cyflwr da.

Dylai modelu llifogydd ar gyfer y cyfnod hyd at y flwyddyn 2065 ganiatáu ar gyfer codiad yn lefel y môr o 0.5m o'i gymharu â'r presennol, ac uchder ymchwydd storm posibl o 2.5m i ganiatáu ar gyfer stormydd dwysach oherwydd newid yn yr hinsawdd.

Ystyrir bod y modelau llifogydd ar gyfer Fairbourne a gyhoeddwyd gan Royal Haskoning (2012) a Robbins (2011) bellach yn annilys. Nid yw'r modelau'n ystyried y cynllun lliniaru llifogydd a gynhaliwyd gan Cyfoeth Naturiol Cymru yn 2016 sydd wedi lleihau'n sylweddol iawn y perygl llifogydd o Aber Afon Mawddach ac o Afon Henddol.

Mae pentref Fairbourne yn parhau i fod mewn rhywfaint o berygl o lifogydd o afonydd a nentydd sy'n disgyn o'r bryniau ac yn croesi'r iseldir arfordirol i gyrraedd yr aber. Cynigir ffin amddiffyn rhag llifogydd newydd ar gyfer Fairbourne a fyddai'n cau allan Afon Henddol a nentydd eraill, gan ddileu'r perygl o lifogydd afonydd. Byddai'r ffin amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig yn cynnwys yr amddiffynfeydd môr presennol ac arglawdd yr aber, arglawdd y rheilffordd, a darn newydd o arglawdd a fyddai'n cael ei adeiladu ar draws tir amaethyddol rhwng y rheilffordd a'r aber.

Mae'r rhan fwyaf o'r ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig ym mhentref Fairbourne a'r cyffiniau wedi'i seilio ar ddyddodion aber o dywod a chlai cymysg. Mae'r deunydd hwn yn draenio'n weddol dda ar ôl storm law, felly nid yw llifogydd dŵr wyneb yn broblem. Mae modelu gan Buss (2018) yn rhagweld bod maint llifogydd dŵr wyneb yn annhebygol o gynyddu yn y cyfnod hyd at 2065 a thu hwnt. Mae mawn o dan ardal fechan yn ne'r ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig yn Friog. Mae gan y deunydd hwn briodweddau draenio gwael ac mae'n debygol o fynd yn ddwrlawn ar ôl

glaw trwm. Ar hyn o bryd mae parc cartrefi symudol yn yr ardal. Os oes cyfle i adleoli'r cartrefi symudol i gae ymhellach i'r gogledd gyda thywod a chlai'r aber oddi tano, argymhellir gwneud hynny.

Mae drychiad daear pentref Fairbourne a'r tir amaethyddol o'i amgylch tua lefel uchaf y llanw mawr. Nid yw hyn yn bryder uniongyrchol, gan fod y traeth storm a morglawdd yn ymestyn am 4.5m uwchlaw'r lefel hon, ac mae arglawdd yr aber yn ymestyn am 2.8m uwchlaw'r lefel hon. Mae'r strwythurau hyn ar hyn o bryd yn darparu amddiffyniad digonol i'r pentref rhag llifogydd o'r môr a'r aber.

Mae tafod graean Ro Wen o flaen pentref Fairbourne yn sefydlog ar hyn o bryd. Mae arsylwadau a modelu gan Phillips et al.(2017) yn rhagweld na fydd unrhyw newidiadau sylweddol i broffiliau traethau storm hyd at a thu hwnt i'r flwyddyn 2065.

I'r de o bentref Fairbourne yng nghornel Friog, mae erydiad arfordirol wedi erydu'r traeth storm. Arweiniodd hyn at fethiant y morglawdd a mewnlif dŵr y môr. Mae'r morglawdd bellach wedi'i atgyweirio a'i gryfhau'n sylweddol gan Cyfoeth Naturiol Cymru, ac mae'n darparu amddiffyniad effeithiol rhag llifogydd. Fodd bynnag, mae problem barhaus o erydu arfordirol yn y lleoliad hwn. Argymhellir cymryd camau i leihau neu atal erydiad trwy ychwanegu deunydd craig yn rheolaidd o flaen y morglawdd, neu drwy adeiladu grwynau traeth neu greigres alltraeth i annog dyddodiad naturiol o waddod traeth.

Nid yw tonnau storm yn gorlifo'r morglawdd yn broblem sylweddol, a dim ond i'r de o bentref Fairbourne y mae i'w weld. Ymhellach i'r gogledd, mae'r traeth storm wedi'i ddatblygu'n well ac yn darparu amddiffyniad naturiol effeithiol rhag tonnau storm. Mae modelu'n dangos bod y sefyllfa hon yn annhebygol o newid yn y cyfnod hyd at a thu hwnt i 2065. Mewn digwyddiad annhebygol y bydd newid hinsawdd yn arwain at donnau storm yn trechu o flaen pentref Fairbourne, ni fyddai'n dasg beirianyiddol fawr i godi uchder y morglawdd yn lleol gan swm cymedrol fel 1m.

Mae arglawdd yr aber i'r gogledd o bentref Fairbourne wedi'i ailadeiladu'n ddiweddar gan Cyfoeth Naturiol Cymru, ac mae'n darparu amddiffyniad da rhag llifogydd yn yr aber. Mae gwaith modelu'n dangos y bydd uchder yr arglawdd yn ddigonol hyd at y flwyddyn 2065, ond efallai y bydd cynnydd yn lefel y môr wedyn yn golygu bod angen codi'r uchder gan 1m i sicrhau na fydd unrhyw orlifo.

Byddai ffin de ddwyreiniol ardal amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig Fairbourne yn cael ei ffurfio gan arglawdd y rheilffordd. Er ei fod yn disgyn i ddim ond 2m uwchben drychiad pentref Fairbourne, mae modelu yn dangos y byddai hyn yn ddigonol i atal unrhyw ddŵr yn llifo o'r caeau cyfagos. Mae Afon Henddol yn rhedeg ochr yn ochr ag arglawdd y rheilffordd am ran o'i chwrs mewn sianel fawr a adeiladwyd yn ystod gwaith lliniaru llifogydd 2016, ac mewn manau eraill mae glannau'r afon wedi'u codi a'u cryfhau. Nid oes disgwyl i'r afon achosi unrhyw berygl llifogydd i bentref Fairbourne.

Rhwng Friog a Fairbourne, mae pedwar cwlfer bach yn cario nentydd o dan arglawdd y rheilffordd. Yn y cynllun arfaethedig, dylid cau'r cwlferei hyn er mwyn atal unrhyw berygl o fewnlifiad dŵr llifogydd i bentref Fairbourne yn ystod storm.

Byddai gwaith yn cael ei wneud i adeiladu arglawdd newydd i'r dwyrain o bentref Fairbourne, gan gysylltu'r rheilffordd ag arglawdd yr aber. Am ran o'i gwrs, byddai hyn yn rhedeg ochr yn ochr â chyfres o byllau dŵr, a gloddiwyd yn ystod cynllun lliniaru llifogydd 2016 i ddarparu clai ar gyfer y gwaith adeiladu. Byddai uchder a phroffil yr arglawdd newydd yn debyg i arglawdd yr aber.

Byddai Afon Henddol yn cael ei hailgyfeirio ar draws tir amaethyddol i'r dwyrain o Fairbourne i gyrraedd gât lanw presennol Afon Morfa. Mae'r gât hon yn caniatáu i ddŵr yr afon ollwng ar drai, ond mae'n cau i atal mewnlifiad o ddŵr yr aber pan fydd y llanw'n codi. Bydd angen cynyddu cynhwysedd y gât lanw er mwyn caniatáu ar gyfer llif uwch yr Afon Henddol. Gellir gwneud hyn drwy ailadeiladu arllwysfa bresennol yr aber, neu drwy adeiladu gât lanw ychwanegol drwy arglawdd yr aber gerllaw.

Yn gyffredinol, bydd ardal amddiffyn rhag llifogydd Fairbourne yn cael ei hynysu oddi wrth gyrff dŵr amgylchynol, ond gall dŵr ddod i mewn oherwydd glaw uniongyrchol neu weithiau tonnau môr yn torri drosodd yn ystod storm. Bydd y dŵr hwn yn cael ei gludo trwy'r rhwydwaith presennol o ffosydd draenio yn y pentref ac o'i gwmpas, i gyrraedd y gât lanw wrth ymyl y cwrs golff lle bydd yn arllwys ar drai i'r aber. Bydd gan y gât lanw gapasiti mwy na digonol hyd at 2065 a thu hwnt, oherwydd iddo gael ei gynllunio i ymdrin â llifau llawer mwy o Afon Henddol.

Cynigir bod yr ardal o byllau clai ar hyd yr arglawdd newydd yn cael ei ddatblygu fel pwll cadw dŵr. Byddai hyn yn gweithredu fel byffer ar gyfer storio dŵr llifogydd dros dro yn ystod cyfnodau o lanw uchel pan nad yw'n bosibl arllwys i'r aber. Byddai'r pwll cadw yn cael ei gysylltu'n uniongyrchol â'r rhwydwaith ffosydd draenio presennol.

Mae modelu'n dangos y byddai'r rhwydwaith presennol o ffosydd draenio, sy'n gysylltiedig â'r pwll cadw dŵr, yn caniatáu i ddŵr gael ei ollwng yn effeithiol i'r aber drwy'r gât llifogydd o dan yr amodau storm gwaethaf a ragwelir ar gyfer 2065. Ni ddisgwylir llifogydd dŵr wyneb yn y pentref neu gaeau o amgylch.

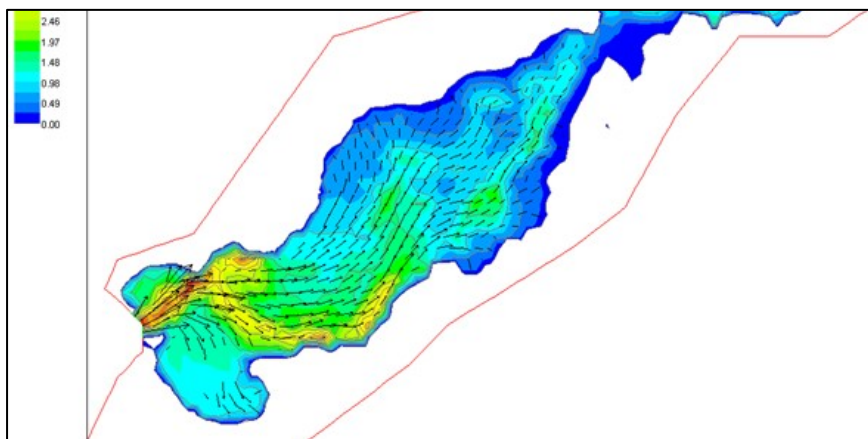
Bydd cloddio'r pwll cadw dŵr yn darparu clai, tra bydd cloddio'r sianel newydd ar gyfer Afon Henddol i'r gât lanw yn darparu dyddodion aber o dywod a chlai. Dylai'r deunyddiau hyn fod yn addas i'w defnyddio wrth adeiladu'r arglawdd llifogydd newydd..

9. TRAFODAETH

Mae modelu yn dangos y bydd y cynllun amddiffyn rhag llifogydd arfaethedig yn gweithio'n effeithiol hyd at a thu hwnt i'r flwyddyn 2065. Fodd bynnag, argymhellir monitro pob agwedd o'r system hydrolegol yn rheolaidd, fel y gellir cymryd unrhyw gamau adferol angenrheidiol yn gyflym.

Mae cyfrifiadau'n dangos y gallai dŵr o stormydd achos gwaethaf gael ei ollwng i'r aber trwy lif disgrychiant yn unig. Fodd bynnag, mae'r opsiwn yn bodoli i gynyddu'r gyfradd trosglwyddo dŵr trwy bwmpio os bydd angen gwneud hynny.

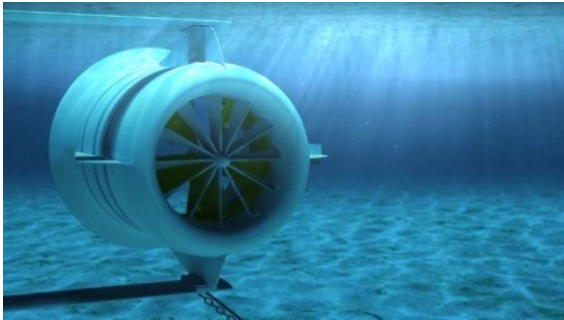
Os oes angen pwmpio, byddai'n fantais pe bai modd gwneud hyn drwy gyfrwng trydan a gynhyrchir yn lleol o ffynonellau adnewyddadwy. Byddai tyrbin gwynt ar y tir yn opsiwn cymharol rad a dibynadwy, er efallai y byddai amharodrwydd i ganiatáu tyrbin gwynt ym Mharc Cenedlaethol Eryri oherwydd ymwithiad ar y dirwedd. Gall tyrbin gwynt ar y môr fod yn ddewis arall derbyniol; mae gwely'r môr yn weddol fas alltraeth o Fairbourne ac Abermaw felly ni ddylai adeiladu fod yn broblem. Mae cyfle hefyd i leoli generadur trydan ar wely'r môr o amgylch ceg aber afon Mawddach. Mae modelu cyfrifiadurol wedi dangos bod llifau dŵr yn cyrraedd cyflymder uchel ar y cyfnod o fewnlif uchaf y llanw (Hall, 2008).



Ffigur 75

Fectorau llif dŵr ar gyfer aber Afon Mawddach rhwng Abermaw a Penmaenpool: uchafswm mewnlif ar lanw sy'n codi.

Mae nifer o ddyluniadau generadur ar gael neu'n cael eu datblygu (ffig.76) y gellid eu gosod yn sownd wrth wely'r môr ar ddyfnder lle na fyddent yn achosi perygl i gychod sy'n defnyddio'r aber.



Ffigur 76(a)

Tyrbin tanddwr sefydlog ar gyfer cynhyrchu trydan.



Ffigur 76(b)

Tyrbin tanddwr wedi'i glymu i wely'r môr gan gebl ac yn rhydd i symud yn y cerrynt dŵr.

Ar ôl cynnal yr astudiaeth bresennol, mae wedi dod i'r amlwg bod y penderfyniad i ddadgomisiynu pentref Fairbourne wedi'i seilio ar wybodaeth gamarweiniol o fodelu llifogydd blaenorol:

Bu nifer o achosion o lifogydd neu ddifrod difrifol yng Nghymru gan stormydd arfordirol yn y blynyddoedd diwethaf, er enghraifft: yn Towyn ger Abergele (ffig.77) ac yn Aberystwyth. Roedd angen atgyweirio'r rheilffordd arfordirol i'r gogledd o Abermaw oherwydd difrod stormydd difrifol. Fodd bynnag, yn ystod y cyfnod hwn dim ond mân orlifo a fu ar dir o amgylch Fairbourne a gellir priodoli hyn i drylfiad drwy'r morglawdd a ddifrodwyd sydd bellach wedi'i atgyweirio. Mae Fairbourne mewn safle gweddol gysgodol islaw pentir Friog, ac mae ganddi lefel uchel o amddiffyniad naturiol gan draeth storm Ro Wen.



Ffigur 77

Llifogydd yn Towyn ger Abergele.

Dylid nodi bod cynllun mawr i amddiffyn yr arfordir yn cael ei weithredu gerllaw ym mhentref Borth, sy'n meddiannu safle tebyg ar dir wedi'i adennill y tu ôl i dafod graean wrth geg aber (ffig.78). Nid oes cynllun i ddadgomisiynu Borth.



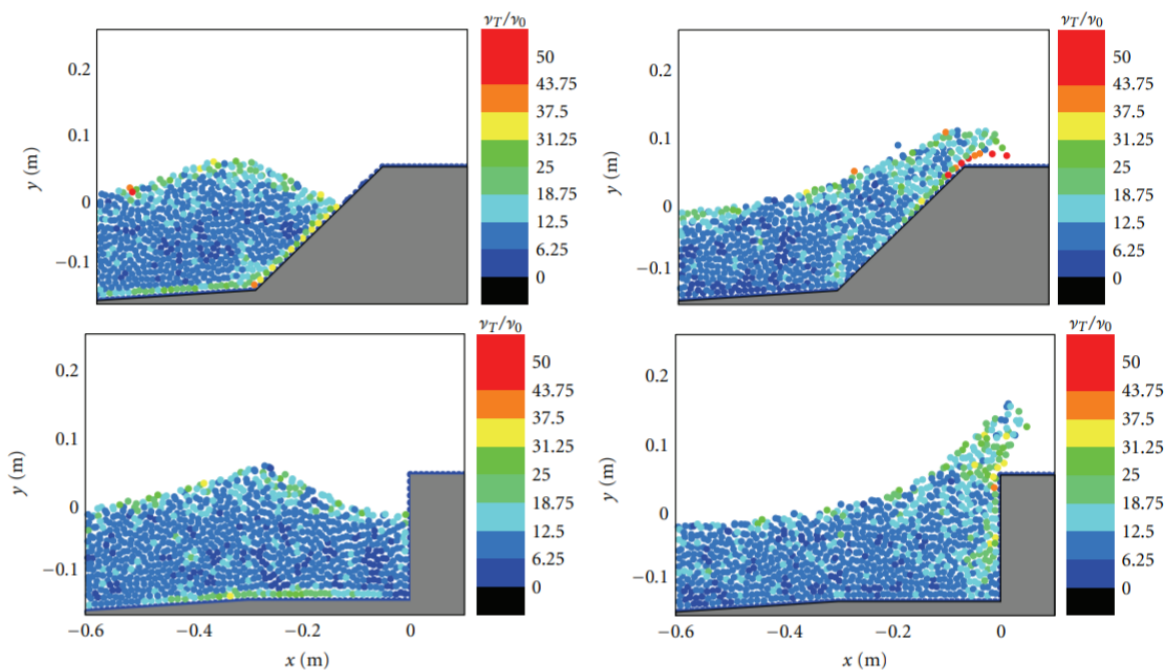
Ffigur 78: Borth

Cyhoeddwyd llyfryn o'r enw 'Fairbourne: A Framework for the Future' yn 2019 gan Bartneriaeth Fairbourne yn Symud Ymlaen. Mae'n destun pryder bod y ddogfen hon yn cynnwys nifer o ddatganiadau camarweiniol fel cyfiawnhad dros gefnu ar Fairbourne.

“Mae Fairbourne wedi'i adeiladu ar dir isel iawn, hyd yn oed o'i gymharu â chymunedau arfordirol eraill. Mae lefel tir y pentref yn gyffredinol rhwng 2 a 2.5m uwch lefel y môr; mae hyn yn cymharu â 3.5 i 4.5m uwchben lefel y môr ar gyfer y rhan fwyaf bregus o Abermaw tra bod promenâd Aberystwyth yn gyffredinol uwch na 6m uwch lefel y môr.”

Mae'n ymddangos bod y datganiad hwn yn dadlennu camddealltwriaeth sylfaenol o effaith tonnau ar forgloddiau:

Mae'r dull y mae tonnau storm yn gorlifo morgloddiau wedi'i fodelu gan Pu & Shao (2012). Mae cyfaint y dŵr môr a gludir dros y morglawdd yn dibynnu ar uchder y llanw a thonau, a natur y morglawdd. Mae'r modelu yn rhagfynegi tonnau'n rhedeg i fyny ac yn gorlifo'n llyfn lle mae llethr y wal yn ysgafn, ond yn trosi'n ffrwd fertigol lle deuir ar draws wal fertigol.



Ffigur 79: Modelau ar gyfer tonnau storm yn gorlifo morgloddiau.

Mae gorlifiad syml i'r morglawdd yn digwydd o amgylch harbwr Abermaw ac yn y strydoedd cyfagos o dan amodau llanw uchel iawn ac ymchwydd storm (ffig.80).



Ffigur 80

Llifogydd o amgylch harbwr Abermaw a strydoedd cyfagos.



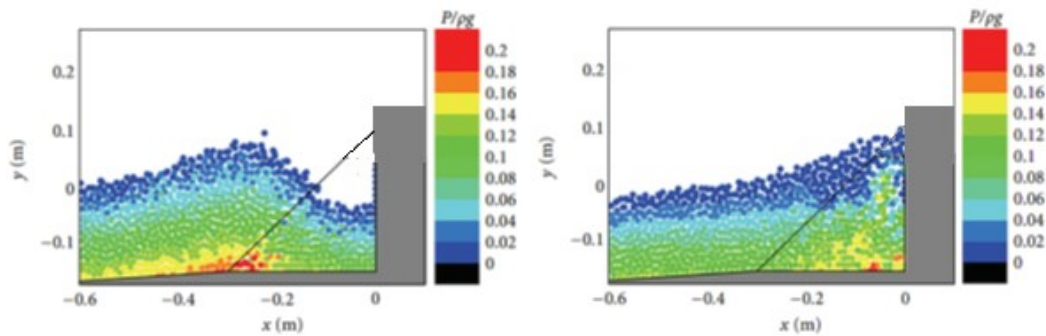
Yn Aberystwyth, mae effaith tonnau storm uniongyrchol ar y morglawdd fertigol yn creu colofnau fertigol o ddŵr. Gall y morglawdd a'r promenâd gael eu difrodi gan effaith fecanyddol y tonnau.



Ffigur 81

Tonnau storm yn taro'r morglawdd, Aberystwyth.

Fodd bynnag, mae'r sefyllfa yn Fairbourne yn dra gwahanol. Lle mae tonnau'n effeithio ar strwythur athraidd, mae dŵr yn mynd i mewn i'r strwythur yn hytrach na theithio i fyny a throsto.



Ffigur 82: Model ar gyfer effaith tonnau storm ar strwythur athraidd.

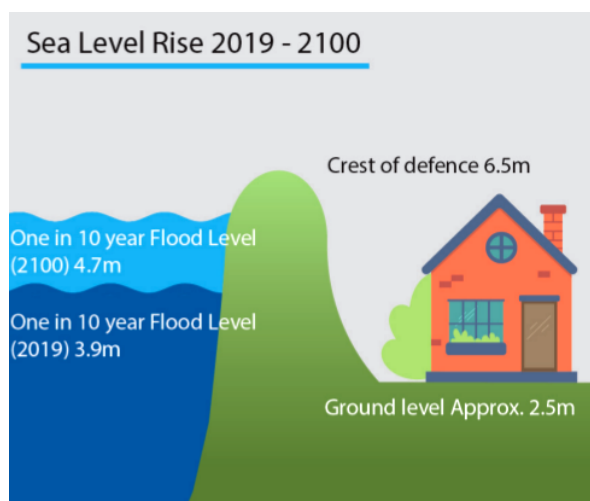
Mae traeth storm Fairbourne o'r math hwn. Mae tonnau torri yn cael eu hamsugno i'r graean bras i raddau helaeth, ac nid yw'n debygol iawn y bydd tonnau'n teithio dros ben y draethell.



Ffigur 83

Traeth storm raean, Fairbourne.

Mae'r llyfryn 'Fairbourne: A Framework for the Future' yn cynnwys y diagram a atgynhyrchwyd yn ffig.84. Mae hyn yn honni ei fod yn dangos y perygl llifogydd i eiddo ym mhentref Fairbourne, ac mae'n ymddangos ei fod yn awgrymu bod methiant trychinebus yn yr amddiffynfeydd morol yn bosibl ac y byddai'n achosi llifogydd mewn cartrefi hyd at lefel y to.



Ffigur 84

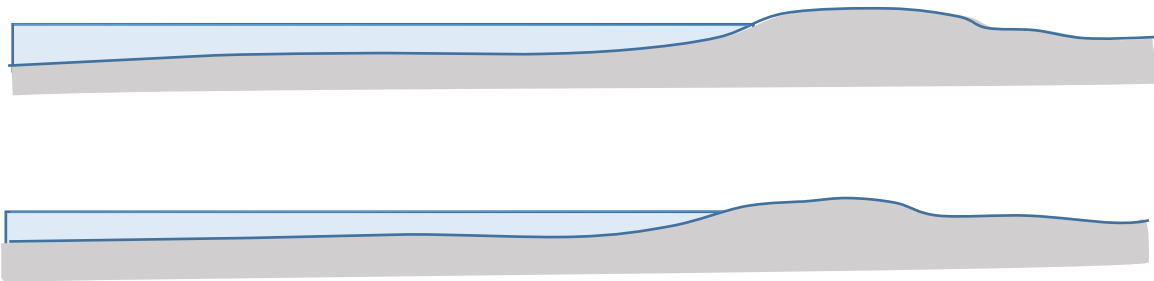
Diagram perygl llifogydd o'r cyhoeddiad: 'Fairbourne: A Framework for the Future'.

Mae'r llyfryn yn mynd ymlaen i wneud y datganiad:

Perygl i fywyd oherwydd llifogydd.

Mae perygl sylweddol a chynyddol y gallai toriad amddiffyn yr arfordir neu aber achosi ymchwydd sydyn o ddŵr llifogydd heb fawr o rybudd, os o gwbl. Mae'r ffaith bod Fairbourne yn gartref i gyfran uchel o drigolion wedi ymddeol a hŷn sy'n byw mewn byngalos yn cynyddu'r perygl hwn yn sylweddol, yn ogystal â'r ffaith bod y pentref yn fan twristiaeth poblogaidd gyda'r rhan fwyaf o ymwelwyr yn annhebygol o fod yn ymwybodol o'r perygl llifogydd a gweithdrefnau gwacáu.

Mae'r diagram a'r datganiad yn gamarweiniol, gan fod toriad trwy amddiffyn yr arfordir neu aber yn hynod annhebygol. Yn groes i'r diagram uchod, mae gwir groestoriad y traeth storm a'r morglawdd o flaen pentref Fairbourne fel y dangosir yn ffig.85 isod. Dangosir lefelau dŵr uchel adeg llanw mawr, gydag ymchwydd storm ychwanegol fel y rhagfynegwyd ar gyfer y flwyddyn 2065.



Ffigur 85: Trawstoriadau ar raddfa wir o draethell Ro Wen yn Fairbourne.



Ffigur 86: Golygfa ar hyd tafod Ro Wen, Fairbourne yn dangos lled sylweddol y stormdraeth a'r arglawdd wrth y tir.

Mae arglawdd yr aber (gweler ffig.73) yn strwythur argae disgyrchiant sylweddol iawn. Mae gwaith modelu wedi dangos mai prin yw'r siawns y bydd tonnau'r môr neu ddŵr yr aber yn gorlifo neu'n difrodi'r strwythurau hyn, a gellid lliniaru unrhyw risg fechan sy'n datblygu trwy godi lefel yr arglawdd o'r swm bach o 1m.

CYFEIRIADAU

- Black and Veatch (2012) Fairbourne FRMS As-built drawings. Environment Agency Wales.
- Buss, S. (2018) Fairbourne: modelling future risk of groundwater flooding. Stephen Buss Environmental Consulting Ltd, Shrewsbury.
- Chen, J. L., Ralston, D. K., Geyer, W. R., Sommerfield, C. K., & Chant, R. J. (2018). Wave generation, dissipation, and disequilibrium in an embayment with complex bathymetry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 123(11), 7856-7876.
- Fairbourne Moving Forward Partnership (2019) Fairbourne: A Framework for the Future. Gwynedd County Council.
- Hall, G. (2008). An Integrated Meteorological / Hydrological Model for the Mawddach Catchment, North Wales. PhD Thesis, Bangor University.
- Hall G. and Cratchley R., (2015). Flood forecasting for the Mawddach catchment, North Wales. Proc. 3rd IMA International Conference on Flood Risk, Swansea.
- Haskoning (2012). West of Wales Shoreline Management Plan 2-Cardigan Bay and Ynys Enlli to the Great Orme Coastal Groups. *Haskoning UK, Peterborough*.
- Haskoning (2018). Technical Group Overview Report: the Technical Summary of Impacts of Changing Risk at Fairbourne. *Haskoning UK, Peterborough*.
- Johnson A. (2021) Borth coastal protection scheme. Royal HaskoningDHV.
- New Civil Engineer (2018) Facing Down the Floods. www.newcivilengineer.com
- Owen, K. (2010) Fairbourne flood alleviation scheme: ground investigation programme report no. 877. Environment Agency.
- Phillips, M., Thomas, T., Morgan, A. (2017) Flood and Coastal Erosion Risk Management: Fairbourne Going Forward coastal processes, beach profiles and aerial photographs assessment of change. University of Wales Trinity Saint Davids.
- Pu, J. H., & Shao, S. (2012). Smoothed particle hydrodynamics simulation of wave overtopping characteristics for different coastal structures. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Robins P.E. (2011) Application of TELEMAC-2D and SISYPHE to complex estuarine regions to inform future management decisions. Researchgate.
- Steffler, P., & Blackburn, J. (2002). Two-dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat. *River2D user's manual, University of Alberta, Canada*.
- Thompson, D. A., Karunaratna, H., & Reeve, D. E. (2017). Modelling extreme wave overtopping at Aberystwyth Promenade. *Water*, 9(9), 663.