



Llywodraeth Cymru
Welsh Government

www.cymru.gov.uk

Adapting to Climate Change:

Guidance for Flood and Coastal Erosion Risk Management Authorities in Wales

December 2011



This guidance has been prepared by the Environment Agency on behalf of the Welsh Government to assist Risk Management Authorities in Wales to adapt to climate change.

For queries of a technical nature please feel free to contact the Bill Donovan of Environment Agency on **07733 015 201**.

For all other enquiries please contact the Flood and Coastal Erosion Risk Management team, within the Welsh Government by emailing:
Floodcoastalrisk@wales.gsi.gov.uk.

Contents

1	Introduction	3
2	Transitional arrangements	4
3	Provision of change factors	5
4	Limitations and Managing Exceptions	6
5	Supporting Science	7
	Annex 1 Provision of change factors	8
	Annex 2: Methodology	16
	Annex 3 Supporting Science	23

1 Introduction

This part describes Welsh Government's policy and its relation to this guidance

Flooding is an important issue for Wales and one which the Welsh Government takes very seriously. Changes in our climate, such as more severe storms and wetter winters, will increase the risk of flooding. Flooding is already a serious risk to the people, economy and environment of Wales and climate change is expected to increase this risk, as well as the rate of coastal erosion, in the coming decades. Managing these increasing risks will be one of our most significant challenges.

This guidance replaces the Welsh Government FCDPAG3 Economic Appraisal Supplementary Note to Operating Authorities—Climate Change Impacts, July 2007. It is provided as supplementary information to the Environment Agency's Flood and Coastal Erosion Risk Management Appraisal Guidance (FCERM-AG) and Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance. It also supports the National Strategy for Flood and Coastal Erosion Risk Management in Wales. It should be used to consider climate change within the development of all flood and coastal erosion risk management (FCERM) projects or strategies. The advice has not yet been tailored for the land use planning system. Local planning authorities and developers should continue to use the allowances in the Welsh Government FCDPAG3 Economic Appraisal Supplementary Note, July 2007, as directed within Technical Advice Note 15, (TAN15).

One of the purposes of this guidance is to ensure that an economically credible appraisal, taking account of the uncertainties associated with climate change, can be made to support Welsh Government investment decisions. This is necessary to ensure that a fair comparison can be made between investment in projects in different locations that compete for Welsh Government grant, as well as ensuring that the most appropriate means of reducing risk is investigated in any one place.

Given the long lifetime and high cost of the built environment and many FCERM measures, it is imperative that plans and investment projects take into account, in an appropriate way, the changing risks over the coming century. This includes accommodating adaptation to a changing climate where appropriate.

Welsh Government recommends a “managed adaptive approach” where possible. A managed adaptive approach is based on taking action when particular trigger points are observed. It is most likely to be appropriate in cases where periodic review can track the change in flood or coastal risk, and the changing risk can be managed through pre-determined interventions. This provides flexibility to manage future uncertainties associated with climate change.

In some circumstances, a managed adaptive approach may not be technically feasible. For example, it may not be possible to manage multiple interventions or it may be economically more efficient to build in a precautionary element at the outset. In these cases, a precautionary approach, with a one-off intervention, may be the only feasible or best option. Considering only precautionary options would lead to greater levels of investment at fewer locations. A managed adaptive approach would ensure a fairer and more flexible spread of public investment and therefore should be adopted where possible.

2 Transitional arrangements

This part describes the transitional arrangements for this guidance

This guidance should be applied to all future appraisals that are started (new) from January 2012 or are to be submitted for approval after April 2012. Where a project appraisal is already complete and the preferred scheme identified, the guidance should be applied as far as possible in carrying out the detailed design of proposed scheme.

Work already in progress should, as a minimum, be assessed ensuring that this guidance would not lead to different decisions. However, even for substantially complete work, or that submitted for approval before April 2012, if the new guidance can be factored in, or the plan or investment decision tested against it without slowing completion or adding significantly to the cost, then this should be done.

For existing approved plans and strategies we would not normally expect this guidance to be applied until the next review, unless specific investment projects within them are planned before this. In these cases, project appraisals should adopt the new guidance (subject to the first paragraph above).

3 Provision of change factors

This part describes climate change factors for Risk Management Authorities (RMAs) to apply to all flood and coastal risk management decisions.

What is the change factor?

To assess the potential impacts that climate change may have on extreme rainfall, river flood flows, sea level rise and storm surges, change factors are provided in Annex 1. The change factors quantify the potential change (as either mm or percentage increase, depending on the variable) to the baseline. It is recommended that options are developed planning for the change factor covering the whole of the decision lifetime. However, rather than base options solely on the change factor, the upper and lower end estimates can be used to refine the options to prepare for a wider range of future change.

The change factors are based on UKCP09 or research using UKCP09 data. UKCP09 provides a large toolkit of information and data. The change factors have been developed to help RMAs use the UKCP09 information in a timely and cost-effective way and to provide a consistent approach. Change factors for river flood flows, extreme rainfall, mean relative sea level rise and storm surges are provided in the tables in Annex 1. An example is provided in Table 1, below.

Upper and lower end estimates of change are provided to help represent the range of the future risks. Although it is anticipated that the eventual change in river flows and sea level rise will lie somewhere within the range of lower to upper end estimates, more extreme change cannot be discounted. To help represent this extreme change “H++ scenarios” have been included in line with the UKCP09 approach. These can be used to represent more severe climate change impacts and help identify the options that would be required.

Table 1 Potential changes in peak river flow for Severn River Basin District

	Total potential change anticipated for the 2020s	Total potential change anticipated for the 2050s	Total potential change anticipated for the 2080s
Upper end estimate	25%	40%	70%
Change factor	10%	20%	25%
Lower end estimate	-10%	-5%	0%
H++ scenario	40%	60%	110%

For those circumstances involving events of extremely high probabilities or where the consequences of rare events could be extreme, i.e. large tidal barriers or nationally important infrastructure, then the upper end of the full range may be better informed through use of the H++ limits. Annex 2 provides a methodology to help RMAs make full use of the information from Annex 1.

What is the H++ scenario?

The H++ scenario provides an estimate of sea level rise and river flood flow change beyond the upper end estimate. It is useful for contingency planning to understand what might be required if climate change were to happen much more rapidly than even the upper end estimate projects. It is not possible to say how likely the H++ scenario is.

4 Limitations and Managing Exceptions

This part describes locations where the climate change factors need to be applied with caution.

The change factors provided have been derived from national scale research. There may be cases where local evidence supports the use of other local change factors. In such cases decision makers may use alternative change factors where robust science supports this. Where national grant in aid is being sought, the Welsh Government will need to be satisfied that the science is indeed sufficiently robust to support such an exception.

It will be up to the RMA to consider the most appropriate local evidence and justify exceptions on a case-by-case basis. The rationale for using other data and the implications should be transparent and recorded within the plan or investment decision documentation.

5 Supporting Science

This part briefly describes where the supporting science for this guidance can be found.

An extensive summary of the science that has led to the development of this guidance and the change factors and lower and upper end estimates of change is provided in Annex 3.

Annex 1 Provision of change factors

This annex provides climate change factors for Risk Management Authorities to apply to investment planning decisions

1. Changes to river flood flows by river basin district

Understanding of the potential changes to river flood flows has increased significantly following a major joint Defra/Environment Agency [research project](#)¹. It is now considered that there is sufficient confidence in the projected changes that regionalised information can be provided.

The research project was undertaken to understand how different catchments across England and Wales may respond to changes in climate. UKCP09 projections of rainfall and temperature were used to develop river flood flows projections through the century. These are presented in Table 2 for a standard catchment within each river basin district.

The information provided in Table 2 is derived for change to river flow likelihood of a 1 in 50 (2%) chance of occurring in any year. For extrapolation of these projections to other events the research suggested that the regional allowances are likely to remain relatively constant with changing likelihood.

The change factor corresponds to the central estimate of change from the research. The upper and lower estimates are provided to represent the full range of potential changes in river flow for use in most circumstances. The projections are percentage changes to a 1961-90 baseline. When using observed river flow or baseline river flow statistics produced using flood estimation ideally the flow record for the period 1961-90 should be used as the baseline to then evaluate future change. This may not always be possible and more recent flow information may have to be used when evaluating future change compared to the baseline river flow statistics. More information on this is available from the [UKCP09 website](#). Figure 1 below shows how to consider change between the baseline period and the 2020s.

¹ Welsh Government are contributors to the Defra/EA research programme. The research programme represents Welsh Government requirements and the climate change research project was specifically focussed on change within Welsh river catchments.

Table 2 Changes to river flood flows by river basin district compared to a 1961-90 baseline

	Total potential change anticipated for the 2020s	Total potential change anticipated for the 2050s	Total potential change anticipated for the 2080s
Severn			
Upper end estimate	25%	40%	70%
Change factor	10%	20%	25%
Lower end estimate	-10%	-5%	0%
West Wales			
Upper end estimate	25%	40%	65%
Change factor	15%	20%	30%
Lower end estimate	5%	10%	10%
Dee			
Upper end estimate	20%	30%	45%
Change factor	10%	15%	20%
Lower end estimate	0%	0%	5%

Calculations for river flood flow by river basin district have been based upon data within UKCP09. When considering any changes beyond 2100, it is recommended that the 2080s changes are used. The 2020s covers the period 2015 to 2039, the 2050s the period 2040 to 2069, and the 2080s the period 2070 and 2099.

The illustration below, Figure 1, shows how the projections for changes in river flow may be plotted and used in typical assessments.

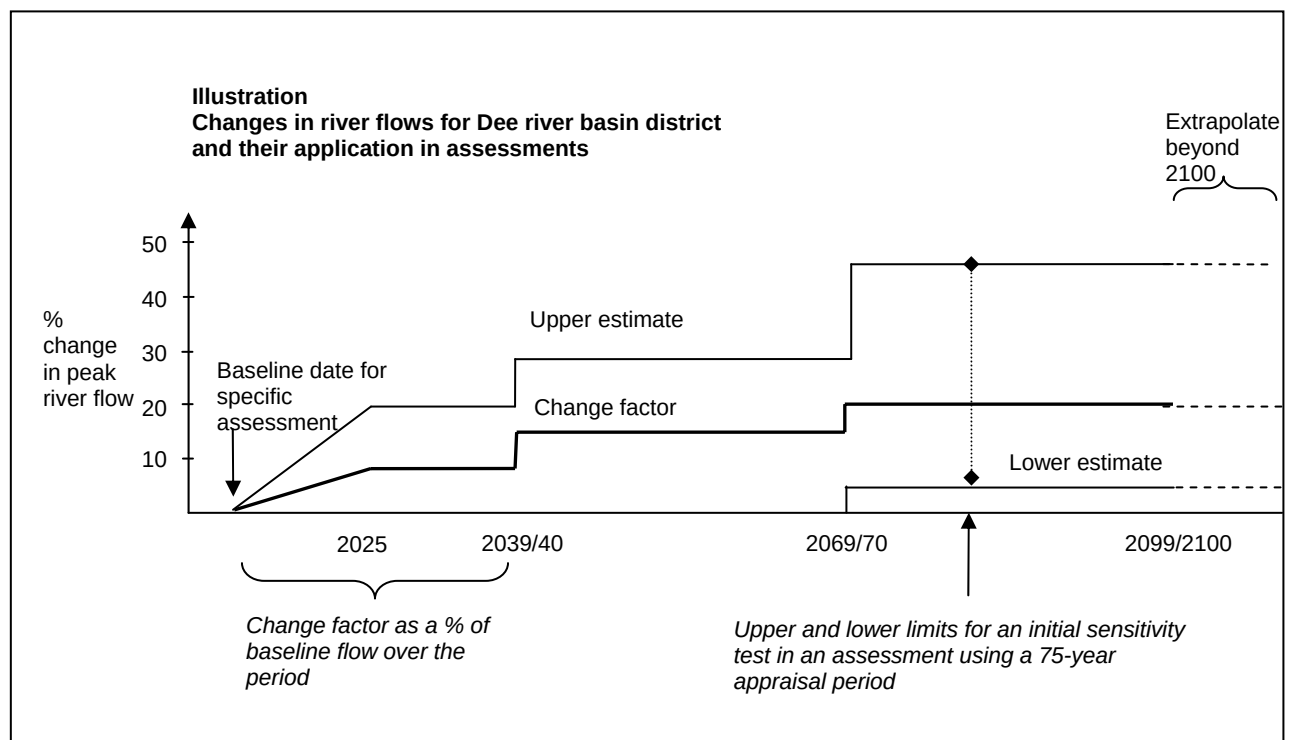


Figure 1 Changes in river flows for Dee river basin district and their application in assessments

]

H++ limits

The research showed that a small number of modelled catchments, within each river basin district, showed significantly greater increases to river flood flows than the standard catchment. We are not yet able to provide guidance to help RMAs determine whether they may be managing one of these non-standard catchments. However, a H++ scenario is provided that represents the upper end estimate of these non-standard catchments (see Table 3).

For circumstances where the consequences of rare events could be extreme, RMAs may wish to test their decisions against the H++ scenario. This would help illustrate the risks that such extreme climate change could present. If the study area falls outside the grey shaded area on the map in Figure 2, there is no need to investigate the H++ scenario there are no non-standard catchments in these locations.

Table 3 H++ river flow scenarios for each river basin district compared to a 1961-90 baseline

	Total potential change anticipated for the 2020s	Total potential change anticipated for the 2050s	Total potential change anticipated for the 2080s
Severn	40%	55%	100%
West Wales	40%	60%	110%
Dee	30%	45%	70%

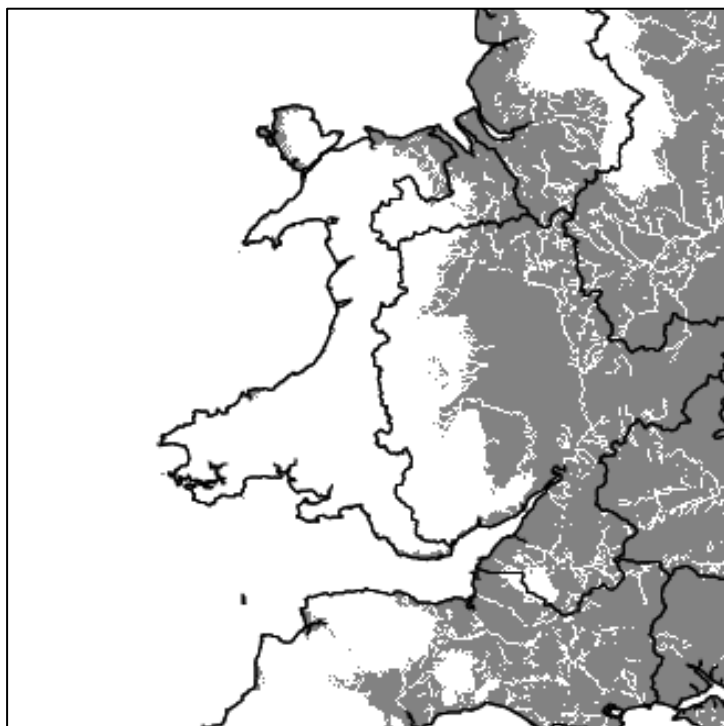


Figure 2 Map showing areas (grey) where the above non-standard catchment type is possible

A map showing the river basin districts for England and Wales and their names is available [here](#)

2. Change to extreme rainfall

Although we are able to make qualitative statements as to whether extreme rainfall is likely to increase or decrease over the UK in the future, there is still considerable uncertainty regarding the magnitude of these changes locally. UKCP09 provides useful information on change to rainfall across the UK accessible through the [user interface](#). This information is most robust for more common events such as changes to the wettest day of a season.

Typically, for flood management purposes the concern is much rarer (but greater impact) events such as those that have a 1 in 20 annual chance of occurring or rarer. Developing quantitative predictions of future changes for such extreme rainfall at the local scale remains a key challenge for climate scientists. This is discussed further in Annex 3.

It is recommended that where projection of future rainfall is required for events more frequent than those with a 1 in 5 annual chance of occurrence, information is taken from the UKCP09. Where rarer events are being considered, it is recommended that changes to rainfall presented in Table 4 are used.

Only maximum daily total rainfall data have been considered from the climate model projections, and so it is not possible to provide any guidance on how rainfall at hourly timescales may change.

Table 4 Change to extreme daily rainfall intensity compared to a 1961-90 baseline

Applies across all of Wales	Total potential change anticipated for 2020s	Total potential change anticipated for 2050s	Total potential change anticipated for 2080s
Upper end estimate	10%	20%	40%
Change factor	5%	10%	20%
Lower end estimate	0	5%	10%

As with river flood flows, it is recommended that the 2080s changes are used when considering any time beyond 2100. The 2020s covers the period 2015 to 2039, the 2050s the period 2040 to 2069, and the 2080s the period 2070 and 2099. These ranges should be used in assessments in a similar way to the illustration set out for river flood flows.

The peak rainfall intensity ranges should be used for small catchments and urban/local drainage sites. For river catchments over, say 5km², the peak flow ranges should be used.

No H++ scenario is provided for changes to extreme rainfall.

3. Change to relative mean sea levels

UKCP09 provides projections of relative mean sea levels for all Welsh coastal. They are summarised and explained within the [marine report](#), and are available through the [user interface](#).

The projections account for future land level movements. They also, for the first time, account for regional oceanographic effects. These regional effects arise from the difference in change in sea level for the region immediately surrounding the UK compared to the global mean.

The projections are available for three emission scenarios through the user interface as change relative to 1990 for any year up to 2100. They are presented as central estimates of change for each emission scenario with upper and lower confidence bands.

The projections are based on the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fourth assessment report. Since that was published the possible magnitude of sea level rise has attracted renewed attention, and a number of researchers have suggested that the IPCC numbers underestimate the potential sea level rise range during the 21st century. For this reason, it is recommended that RMAs do not use the central estimates of relative sea level rise from UKCP09 as the change factor for their investment decisions. Instead, it is recommended that the upper confidence band (95th percentile) medium emission projection is used (see Table 5). The scientific basis for this recommendation is provided in detail in Annex 3.

An H++ scenario is also presented within the UKCP09 marine report to provide users with estimates of sea level rise increase beyond the likely range but within physical plausibility. The UKCP09 H++ scenario is presented as a range for the whole of the UK, from 93cm up to 1.9m increase for 2100, compared to 1990. The UKCP09 H++ scenario range has been used to develop an upper end estimate and H++ scenario within this guidance presented in Table 5 below. It is envisaged that only those circumstances involving events of extremely high probabilities or where the consequences of rare events could be extreme would be required to consider the H++ limits within assessments covering the period to 2115.

Because only the total sea level increase for 2100 is provided for UKCP09 H++ scenario rates of changes for different time-periods through the century are provided in Table 5.

The change factor and the lower end estimate can be taken directly from the UKCP09 user interface for the relevant location. The user interface provides a change estimate for any year through the century compared to 1990. When taking projections from UKCP09, change up to 2115 should be derived by extrapolating beyond 2100.

Table 5 Change to relative mean sea level

	Sea level rise mm/yr up to 2025	Sea level rise mm/yr 2026 to 2050	Sea level rise mm/yr 2051 to 2080	Sea level rise mm/yr 2081 to 2115
H++ scenario	6	12.5	24	33
Upper end estimate	4	7	11	15
Change factor	Use UKCP09 relative sea level rise medium emission 95% projection for the project location available from the user interface.			
Lower end estimate	Use UKCP09 relative sea level rise low emission 50% projection for the project location available from the user interface.			

4. Change to storm surge

The latest research into future storm-surges presented in UKCP09 marine report is based on the Met Office Hadley Centre/Proudman Oceanographic Laboratory (POL) models. The Hadley Centre/POL models suggests that change to storm surge (defined as skew surge in UKCP09) around the UK, with a 1 in 50 chance of occurring in any given year, is projected to increase by less than 0.9 mm/yr (not including relative mean sea level change) over the 21st century. In most locations this trend could not be clearly distinguished from natural variability. The largest changes were found in the Bristol Channel and Severn Estuary.

There is a long-period natural variability known to affect European storminess (longer than a few decades). Over the century-scale, change has been reported to be of the order of 50cm. Accounting for this long-period variability would also account for the projected change to storm surge from UKCP09 over the century. Where coastal extreme water levels are derived from very long tide gauge records, of the order of 100 years, the full range of natural variability will be accounted for.

It is anticipated that further guidance will be provided in time to account for the full range of natural variability. It is recommended that a full and rigorous analysis of the current extreme coastal water levels is undertaken using the “national coastal flood boundary data for the coasts of England and Wales”. Reports can be downloaded from the [Environment Agency](#) by searching on the title 'Coastal boundary'.

There is significant uncertainty in the projected change to the storm track over the UK, the primary driver of storm surge intensity and frequency. Other plausible international climate models were used in UKCP09 to evaluate alternative projections of skew surge over the century. This is presented in UKCP09 as a H++ scenario for skew surge. As with the H++ sea level rise scenario it is not possible to estimate how likely this is to occur, but the H++ skew surge scenario is considered more likely than the upper end of the H++ sea level rise range. In this guidance the UKCP09 H++ skew surge scenario is presented as the upper end estimate.

Table 6 Change to skew surge for Welsh coast

	Total potential change anticipated up to the 2020s	Total potential change anticipated up to the 2050s	Total potential change anticipated up to the 2080s
Upper end estimate	20cm	35cm	70cm
Change Factor	Ensure a rigorous assessment of the current coastal extreme water level has been undertaken	Ensure a rigorous assessment of the current coastal extreme water level has been undertaken	Ensure a rigorous assessment of the current coastal extreme water level has been undertaken
Lower end estimate	n/a	n/a	n/a

Skew surge and mean sea level changes can be taken to be additive and changes to extreme coastal water levels can be evaluated by adding the mean relative sea level change to the current extreme coastal water level. The base date of the Environment Agency national coastal flood boundary data estimates are for 2008, and any climate change projections into the future must use this as a start date for the calculations. The

projections translate into assessments similar to the diagram for rivers with a fixed baseline date of 2008.

5. Change to wave climate

Change to wave climate is presented within UKCP09. There are large uncertainties especially with the projected extreme values. Changes in the annual maxima are projected to be between –1.5 m and +1 m. Projections of longer return period wave heights will reflect the same pattern but with larger error bars. Changes in wave period and direction are small and more difficult to interpret.

Given the significant uncertainty both to the future position of the storm track over the UK and the projections of wave climate within UKCP09, it is recommended that RMAs employ a sensitivity analysis to understand the impact on flood risk and coastal change, and the form of any feasible options. The sensitivity analysis can be used as part of the sensitivity analysis presented in Annex 2.

It is anticipated that over the next 12 months, wave climate projections will become available covering significant wave height, period and direction. When these are published this guidance note will be updated to include that evidence.

Annex 2 Methodology

This annex provides guidance for applying climate change projections in Flood and Coastal Erosion Risk Management

The quantified information provided in Annex 1 of this guidance note sets out the climate change factors to use when assessing future flood or coastal risks and uncertainty arising from climate change. The following methodology is provided to support Annex 1 and the wider principles set out in the introduction in Section 1 of this guidance.

Previous guidance provided single estimates of change to evaluate risk at certain future epochs. There are weaknesses to this approach in that it does not provide:

- a full understanding of the inter-relation between change in climate and change in risk;
- insight into what might occur if something happens other than the exact climate change projection.

Correspondingly:

- Adaptation decisions may be tied to a narrow assumption of what might occur;
- When new scenarios are released, new impact studies have to be performed with additional cost.

An alternative approach, and the one presented here, is to undertake a sensitivity analysis across the range of plausible change over the life of the assessment and identify the adaptation responses that may be required.

Once the sensitivity analysis has been done, this methodology recommends the development of adaptation options planning for the degree of change represented by the change factor, presented in Annex 1. However, rather than base options solely on the change factor, the understanding from the sensitivity analysis can be used to refine the options for a higher degree of preparedness for a wider range of future change. It may be necessary to undertake the sensitivity analysis for interim periods within the overall assessment to inform options development, however, the amount of assessment should be kept to a proportionate minimum.

This should deliver adaptation options to take forward that are not tied to a single assumption of what may happen in the future and are therefore more able to cope with a wider range of possible future scenarios. This will help address the significant uncertainty in current climate projections, both at the scale and the timeframe of typical FCERM decisions.

This annex is designed to complement the activities normally undertaken in the development of FCERM plans and investment appraisals, such as risk assessment, option development and appraisal. Adaptation should not be considered as a separate exercise, but integrated into all activities to support wider objectives and outcomes.

The steps in this section are as follows:

Steps	Questions to address
a. Build on the assessment of current risks	What drives flood or coastal erosion risk today? What is the vulnerability to current climate? Is there information on areas that could be susceptible to change?
b. Assess potential future sensitivities	What is the sensitivity to future changes? Where is adaptation required and for what level of change?
c. Identify feasible options	What adaptation options are available across the range of possible future changes? Are there opportunities to sequence options or build in flexibility?
d. Refine options	Is additional information or modelling necessary? What are the best options? What should be implemented and when?
e. Monitor, evaluate and review	Have the objectives been met? Does additional adaptation need to be undertaken or planned?

a. Build on the assessment of current risks

Risk assessment is central to FCERM planning and provides information that will help evaluate the impact of future change. Understanding flooding and coastal processes and vulnerability to the current climate can help identify the following:

- areas particularly sensitive to change;
- useful options, particularly no- or low-regret options;
- priorities;
- thresholds that if exceeded may lead to a significant increase in risk.

Understanding historic vulnerability to other drivers, such as land-use change can also be helpful in identifying areas that could be susceptible to future changes. An understanding of wider catchment or coastal processes will ensure adaptation is strategic and does not increase flood or erosion risk elsewhere.

b. Assess potential future sensitivities

The aim of this step is to assess the sensitivity to future change of the baseline option and identify where adaptation may be required. The baseline is often the 'do nothing' option but this should be established by reference to the substantive guidance for the relevant plans or investment appraisals.

This step sets out an approach to undertaking a sensitivity analysis across the appropriate range of change. This approach uses the tables in Annex 1 and will identify the following:

- areas very sensitive to change;
- areas tolerant to change;
- potential adaptation options that may be required for different degrees of change.

For high level plans the upper and lower estimates would be used to give an indication of the range that might occur over the lifetime of the plan and be used in the primary consideration of different policy options. Projections based upon the central change factor are largely of secondary use as a planning guide.

For investment appraisals the central change factor will provide the focus for options consideration with the upper and lower estimates providing a range to test the extent to which options can adapt.

The components of this step as follows:

Understand the range of possible future changes	Evaluate the potential range of change	Using the lower and upper estimates from Annex 1, what is the range of change that might occur over the appraisal period?
	Develop test scenarios	Based on the potential range of changes, identify a set of test scenarios to explore any sensitivities in the decisions being made.
Broadly evaluate sensitivity to future changes	Undertake broad risk assessment	Model future risks using test scenarios Is there significant change compared to the current risks?
	Identify areas sensitive to change	What areas are susceptible to change? Are some areas very sensitive to small degrees of change? Are some areas tolerant of large ranges of change?
Refine the assessment of sensitivity to future changes	Undertake more detailed assessment in areas susceptible to change	What additional information would improve the assessment? What impacts would more severe change have? Would some level of change present risks that would be very hard to mitigate?
	Iterate	Iterate the components of this step and consider what adaptation options are available.

It is important that proportionate effort is taken. The test scenarios used initially should be designed to provide the broadest assessment of sensitivity to change and the development of the initial 'long list' of potential options. If there is significant sensitivity to change, then the test scenarios could be complemented by increments between the

lower and upper end estimates. For instance, if the lower and upper end estimates for changes to river flows range from +5% to +30% and simply interpolating between increments is not considered a realistic option then an assessment to change could be undertaken moving incrementally from +5%, +10%, +20% and +30%. It is best to use a risk-based approach, initially assessing the broad scale, later focusing if necessary on those areas that are at highest risk and/or most vulnerable to change.

The lower and upper end estimates can help in representing the range of risks. But, there is still a chance that change could be outside this range. To further support the analysis the H++ scenario for sea level rise and change to river flows can be used. Additionally, the test scenarios can be extended by using, for example, a historic worst case, a hypothetical worst case scenario or by targeted sensitivity testing.

The important thing is not to limit the analysis to an overly narrow assumption of what degree of climate change may occur while overall keeping the effort involved proportionate to the implications for decision-making.

c. Identify feasible options

The aim of this step is to identify options that can cater for the sensitivity to change shown by the assessment in step b. It may be that some options are not able to provide this degree of adaptation, but it may still be appropriate for them to be included in the list for consideration in the remaining development stages of the plan or appraisal. Options should be developed in-line with the overall objectives and constraints of the project. This work should be done at a scale commensurate with the needs of the plan or appraisal.

Developing adaptation options to cover the range of change from step b will help identify the full range of what may be required in the future. Options can be developed to respond to change from the lower through to the upper end estimates. There are a number of approaches that can be applied to develop feasible options:

Identify options that could deal with a range of change	One approach is to develop options that reduce risk over the range of change or could be designed from the outset to cope with the upper end estimate of climate change.
Build in flexibility	Another approach is to build in the ability to adjust an option should it be required; i.e. build in flexibility. Examples include purchasing an area behind a flood wall to enable the wall to be raised if necessary.
Delay decisions that would be difficult to change — adaptive management	A complementary approach is to build flexibility into the decision process itself over time through waiting and learning. For example, sequencing options so that no or low regret options are taken earlier and more inflexible measures are delayed in anticipation of better information.

d. Refining options

The preceding steps will have provided an understanding of the sensitivity of the system to future change and may have enabled options to be developed sufficiently to inform the final decision-making processes. Where this is not the case then some refinement will be necessary which is likely to involve considering change over interim periods of the overall plan or appraisal period.

We recommend that options are refined using the change factors presented within Annex 1. However, rather than base options solely on the change factors, the analysis from step c can also be used to refine the options so that they better reflect the wider range of future change.

For instance, an option could be developed to take account of the change factor over the whole life of the plan, but have flexibility built-in to cater for the different changes suggested by the upper and lower limits. A decision will be required in the future whether to use this additional response. The timing of that decision will be dependent on the lead time to mobilise the additional response and the actual rate of climate change. It may be that an assessment over interim periods is therefore necessary where such refinement would be cost effective and necessary to inform adequately option definition and decisions.

There may be a number of feasible options. The options will need to be critically assessed using the wider required objectives or outcomes of the appraisal. At this stage it is worth considering the following questions:

- How flexible should the option be?
- How robust should the option be?

It may be useful to consider the following criteria in more depth to refine the options.

Criteria	Description	Considerations
Flexibility	An option's ability to be adjusted to new information or circumstances in the future.	Could require additional work (and cost) now to build in flexibility, but may be better than retrofitting later.
		Generally, flexibility may be a good option where the cost of a precautionary approach is high, and options can be designed for cost-effective modification at a later stage.
		Risk that the future adjustment won't be implemented
Robustness	A decision is robust if it is unaffected by a wide range of possible future scenarios.	Greater resource use (and potentially cost) now against the benefits of decreased vulnerability to a wide range of possible future climatic changes.
		Risk that additional capacity may be redundant if climate change is not so severe.
		Less requirement to revisit decisions in the future, no risk that later adjustments won't be implemented.
		Generally, robustness is a good option where the cost difference of adapting to different futures is small, e.g. minor level raising of upstream storage reservoir – or where the cost (or risk) of flexibility is prohibitive – e.g. the cost of deepening a flood relief channel at a future date.
Flexibility and Robustness		Sequencing interventions and/or making them flexible may allow for more severe climate change to be managed. Delaying additional work until there is greater certainty may save costs.

We recommend that where possible opportunities are sought to sequence the investment over time, rather than implement a robust (precautionary) design from the outset. This should provide a more responsive design to adjustment for changes in climate change knowledge in the future, and so be more cost-effective.

A number of conditional options may be identified that could all be relevant, i.e. 'if X occurs by date Y, then do Z'. This requires the identification of 'triggers' to indicate when a decision must be made to implement the action. These 'trigger' levels will need to be identifiable and capable of being monitored.

There are a number of things to consider in deciding whether to implement an action straightaway or to wait until more evidence is available:

- Is the current risk considered unacceptable?
- Could any delay lock-in irreversible impacts or limit flexibility to cope with future climate change?
- Are there opportunities to incorporate adaptation measures into planned maintenance or regeneration activities?
- Are there opportunities to implement adaptation measures that will have immediate or multiple benefits or are low cost?

Adaptation to climate change in one location may affect flood or coastal erosion risk elsewhere, and the ability of others to adapt, now or in the future. This should be considered in the option development and subsequent implementation plan. Consequential negative impacts on third parties should be avoided. Adaptation to climate change should be delivered consistently within a catchment or coastal cell.

e. Monitoring, evaluation and review

Adaptation is an iterative process of planning, implementation and review. It will be important to monitor, evaluate and periodically review the performance of adaptation within FCERM decisions.

FCERM decisions typically have long lifetimes. To support the implementation of the preferred option a record of the actions and assumptions should be made secure for the lifetime of the plan and all information should be clear and accessible to later generations. If in the future the climate is different to that projected, it should be clear how the timing, form and degree of the later interventions need to change and how this is to be monitored and evaluated using the triggers identified in steps c and d above.

Links to the FCERM Appraisal Guidance

This guidance is provided as supplementary information to the Environment Agency's Flood and Coastal Erosion Risk Management Appraisal Guidance (FCERM-AG) and Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance (FCDPAG). The guidance replaces Defra's Supplementary Note to Operating Authorities — Climate Change Impacts, October 2006.

The principles set out within the FCERM appraisal guidance and FCDPAG regarding uncertainty, adaptable management, flexibility in design and sensitivity analysis are very relevant for climate change adaptation. This guidance further promotes these principles, additionally setting out an approach aimed to develop measures that will be successful given future risks and uncertainty in the magnitude of change.

Annex 3 Supporting Science

This Annex provides background information to the development of changes provided in Annex 1. It also provides useful links to other sources of relevant information.

Projections of sea level rise

Information on projected change to the marine environment is provided in the UKCP09 [marine and coastal projections chapter](#). The Marine Climate Change Impacts Programme [Annual Report Card 2010/11](#) provides an update on scientific understanding of climate change impacts on seas around the UK.

Table 7 Summary of latest research findings on sea level rise for the UK

Current trends	Future projections
Global sea level has risen at a mean rate of 1.8mm per year since 1955. From 1992 onwards a higher mean rate of 3mm per year has been observed.	An increase in global sea level rise below 1m is still considered more likely than a rise of above 1m by the end of the century.
Sea-level rise measured over the UK is consistent with the observed global mean.	Projections of change from UKCP09 for the UK suggest a rise of between 12 and 76cm by 2095, compared to a 1980-1999 baseline, not including vertical land movement. This approximately equates to rates of between 1.2 and 7.6 mm per year respectively.
	Considering projected land movements, a greater rise in southern regions of the UK is likely relative to the north.
	Faster melting of Antarctic and Greenland ice sheets could result in sea level rise greater than the UKCP09 projections above. Although it cannot yet be predicted how fast this will occur, estimates of its likely maximum level based on observations of the past and plausible constraints on ice sheet dynamics are provided in UKCP09 as a H++ scenario ranging from 93cm to 1.9m globally by 2100.

UKCP09 sea level rise projections are based on the IPCC's fourth assessment reportⁱ, 2007.

Some components of future sea level rise are thought to be well understood such as the contribution from thermal expansion of the oceans. However, what is not well understood is the stability of the Greenland and Antarctic ice sheets and their contribution to sea level rise through the flow of the outlet glaciers and ice streams that drain these ice sheetsⁱⁱ. Numerous processes contribute to the rate of flow, but these processes cannot yet be properly modelled. Observations suggest that they have contributed 0 – 0.7 mm/year to sea level rise during the period 1993-2003. The projections in the fourth assessment report assume that this contribution (1993-2003) remains constant until the end of this century. A number of authors have suggested

that this approach underestimates the possible magnitude of sea level rise during the twentieth centuryⁱⁱⁱ.

Observations, largely from satellites, show that both ice sheets are losing mass overall^{iv}. There was an acceleration in the rate of ice loss especially since 2003, due to the increased flow of many outlet glaciers on Greenland and ice streams in the West Antarctic Ice Sheet. This recent acceleration may be due in part to natural variability, and might not continue^v. Observations show that a number of the outlet glaciers that accelerated have since started to slow. On-going research under the ICE2SEA program^{vi} will improve projections of the contribution of ice to future sea-level rise. Some of these results may be available for the IPCC fifth assessment report in 2013.

It is also worth noting that the IPCC fourth assessment report models used for the sea level rise projections do not include uncertainties in climate-carbon cycle feedback and so do not cover the full range of projected global mean temperature change reducing the potential upper end estimate of sea level rise.

There have been a number of papers that have commented on the sea level rise projections from the IPCC fourth assessment report and some have tried to derive a better estimate of rise through the century^{vii}. There have been a number of approaches to this. Some have used a semi-empirical method^{viii}, others consider the eventual contribution from different glacier flow velocities^{ix}, others proxy records from the last interglacial period^x, and others have used expert opinion^{xi}.

In the Netherlands, expert judgement was used to derive sea level rise scenarios for coastal management. That concluded that plausible global sea level rise scenarios were 0.55m to 1.1m in 2100. The UKCP09 marine report also presented alternative research published by Pfeffer et al, 2008^{xii} to highlight the risk of much greater increases in sea levels compared with the IPCC report. Pfeffer concluded that an increase of up to 2m of sea level rise for the twenty-first century for the UK cannot be excluded, but a rise of 0.8m is more likely.

Given the research since the IPCC fourth assessment report it seems clear that considerable uncertainty in sea level rise projections remains. This suggests that there is a need for coastal managers to keep open a range of adaptation options and to be able to change approach as confidence in the predictions become more robust. It also leads to the recommendation in Annex 1 to use the upper end of the medium emissions scenario from UKCP09 as the change factor, especially where coastal managers are not able to pursue a managed adaptive approach.

Land levels are changing across the UK. This is a result of the earth's crust adjusting to the melting of the ice sheets at the end of the last ice age. The trends of these vertical land movements are well understood and are expected to remain constant over the 21st century^{xiii}. Allowances for changes in land level will need to be made in the design of schemes in addition to those for climate change and is included in the information on relative sea level rise provided in Annex 1, table 5. The high end estimate and H++ estimates do not include a land movement term as these are not provided within UKCP09.

Projections of storm surge and wave climate

Table 8 Summary of latest research findings on changes to storm surge and wave climate for the UK

Current trends	Future projections
Natural variability in wave climate is large and the role of anthropogenic influence is unclear.	There is no consensus on the future storm and wave climate for north-western Europe, since projected future storm track behaviour varies among atmospheric models.
Increases in monthly mean and maximum wave height in the north-eastern Atlantic occurred between 1960 and 1990. However, this rise in wave height may be part of long-term natural variability. There has been no clear pattern since 1990.	Projections of storm behaviour used by the UKCP09 wave model show storm tracks moving south, resulting in lower wave heights to the north of the UK and slightly larger wave heights in some southern regions, especially the south-west.
There is no significant evidence for any recent observed trend in storm surge frequency or magnitude.	Changes to storm surge driven extreme water levels appears to be less important than changes in global mean sea level over the next 100 years.

The main driver of future risk on the coast is predicted to be sea level rise, rather than changes to storm surge intensity, although there is no consensus on the future storm and wave climate for north-western Europe.

Projections of change to river flood flows

Significant positive trends were observed in all high-flows indicators over the 30–40 years prior to 2003, primarily in maritime-influenced, upland catchments in the north and west of the UK. But, there is little compelling evidence for high-flow trends in lowland river flows. Long run river flow records (>55 years) provide little compelling evidence for long-term trends but show evidence of pronounced multi-decadal fluctuations. Trends are thought to be linked to changes in winter precipitation arising from changes in atmospheric circulation patterns (North Atlantic Oscillation). It is not clear if this is natural variability or a consequence of a changing climate^{xiv}.

Defra and the Environment Agency have funded substantial [research to consider future changes to river flood flows](#) in England and Wales.

The summary findings are:

- Results for the 2080s show that for the catchments modelled (155 in total) the Defra supplementary note, 2006, 20% allowance no longer encompasses the majority of catchment changes in flood flows using UKCP09 projections. That guidance therefore underestimates the changes to future river flows for a significant number of catchments tested with UKCP09 and other climate models.
- This challenges the degree to which the Defra 2006 guidance provides precautionary factors for river flows.
- Some 15% of catchments modelled showed changes in the central estimate of river flow greater than 30% for the 2080s using UKCP09 projections.

- There is strong evidence from our research that catchment response to climate change is dependent on catchment properties. This implies that a single national factor for climate change may be inappropriate and that more 'regionalised' allowances, based on catchment type, should be developed.
- We are now much better able to understand how different catchment properties influence river flow changes from climate change, potentially allowing regional projections of change by catchment types and location. This was key and led to the decision to provide regionalised factors within this guidance note.
- We have developed a technique to determine catchment response to climate change for the whole of the river network in England and Wales.
- UKCP09 models do not represent localised, convective rainfall. So there is a high degree of uncertainty where this mechanism is particularly important such as changes to river flows for small, rapidly responding catchments — typically heavily urbanised catchments or short steep rural catchments.

This research formed the basis for the change factors provided in Annex 1 together with a methodology to determine catchment type.

Projections of change to extreme rainfall

There have been significantly increased levels of precipitation over northern Europe (an area which includes the UK) between 1900 and 2005. This is particularly noticeable since about 1979. These changes are likely to be the result of human activity^{xv}. There have been more frequent spells of very wet weather and an increase in total precipitation, at least during the last 40 years. Over the past 100 years the intensity of UK precipitation has increased during winter and to a lesser extent also during spring and autumn. All regions of the UK have experienced an increase over the past 45 years in the contribution to winter rainfall from heavy precipitation events^{xvi}.

- UKCP09 does not provide a full understanding of changes to extreme, convective rainfall at the scales needed to manage surface water flooding
- Met Office research^{xvii} carried out for the Pitt Review in 2008 suggested that the 1 in 20 year rainfall event could increase by up to 40% at the local scale.
- This means the Defra 2006 guidance (+20% for the 2080s) could be under-representing changes to extreme rainfall for some regions of England and Wales
- The UKCP09 toolkit does not enable flood risk assessments to be carried out for low probability rainfall events rarer than 1 in 5 annual probability without additional guidance
- The Met Office research for the Pitt review has been used as the basis for the numbers provided in Annex 1.

Further enquiries: bill.donovan@environment-agency.gov.uk

References:

- i. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis (eds Solomon, S. et al.) 356–369, 408–420, 812–822 (Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, 2007). http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- ii. A sea of uncertainty, Nature Reports, Climate Change, vol4 April 2010, J Lowe and J Gregory
- iii. Sea level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 degree C world' in the twenty-first century, Nicholls et al, 2011
- iv. Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE, Isabella Velicogna. Geophysical Review Letters, Vol 36, 2009
- v. Nature Reports, Climate Change, vol4 April 2010, J Lowe and J Gregory
- vi. <http://www.ice2sea.eu/>
- vii. Sea level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 degree C world' in the twenty-first century, Nicholls et al, 2011
- viii. Vermeer, M. & Rahmstorf, S. Proc. Natl Acad. Sci USA 106, 21527–21532 (2009)
- iv. Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. Science 321, 1340–1343, 2008.
- x. Rohling, E. J. et al. Nature Geosci. 1 38–42 (2007).
- xi. Vellinga, P. et al. 2008 Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of The Netherlands. International Scientific Assessment carried out at request of the Delta Committee. Scientific report WR-2009-05. KNMI, Alterra, The Netherlands. See <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmi/pubWR/WR2009-05.pdf>.
- xii. Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. Science 321, 1340–1343, 2008
- xiii. UKCP09 marine report, <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/content/view/1969/500/>
- xiv. Hannaford, Jamie; Marsh, Terry J.. 2008 High-flow and flood trends in a network of undisturbed catchments in the UK. International Journal of Climatology, 28 (10). 1325-1338. 10.1002/joc.1643
- xv. Zhang, X., F. W. Zwiers, G. C. Hegerl, F. G. Lambert, N. P. Gillett, S. Solomon, P. A. Stott, and T. Nozawa (2007), Detection of human influence on twentieth century precipitation trends, Nature, 448, 461– 465, doi:10.1038/nature06025
- xvi. Changing intensity of rainfall over Britain, Tim Osborn and Douglas Maraun, Climatic Research Unit Information Sheet no. 15
- xvii. Met Office, The extreme rainfall of Summer 2007 and future extreme rainfall in a changing climate. S J Brown, M Beswick, E Buonomo, R Clark, D Fereday, D Hollis, R G Jones, E J Kennett, M Perry, J Prior and A A Scaife.



Llywodraeth Cymru
Welsh Government

www.cymru.gov.uk

Ymaddasu i Newid yn yr Hinsawdd:

Canllawiau ar gyfer Awdurdodau Rheoli Perygl
Llifogydd ac Erydu Arfordirol yng Nghymru

Rhagfyr 2011



Paratowyd y canllawiau hyn gan Asiantaeth yr Amgylchedd ar ran Llywodraeth Cymru i gynorthwyo Awdurdodau Rheoli Risg yng Nghymru i ymaddasu i newid yn yr hinsawdd.

Os oes gennych ymholiadau technegol, mae croeso i chi ffonio Bill Donovan o Asiantaeth yr Amgylchedd ar **07733 015 201**.

Yn achos pob ymholiad arall cysylltwch â thîm Rheoli Perygl Llifogydd ac Erydu Arfordirol, Llywodraeth Cymru trwy anfon e-bost at:
Floodcoastalrisk@wales.gsi.gov.uk.

Cynnwys

1	Cyflwyniad	3
2	Trefniadau trosiannol	5
3	Darparu ffactorau newid	6
4	Cyfyngiadau a Rheoli Eithriadau	7
5	Gwybodaeth Wyddonol Ategol	8
	Atodiad 1 Darparu ffactorau newid	9
	Atodiad 2 Methodoleg	18
	Atodiad 3 Gwybodaeth Wyddonol Ategol	25

1 Cyflwyniad

Mae'r rhan hon yn disgrifio polisi Llywodraeth Cymru a sut mae'n berthnasol i'r canllawiau hyn

Mae llifogydd yn fater pwysig i Gymru ac yn fater difrifol iawn i Lywodraeth Cymru. Bydd newidiadau yn ein hinsawdd, fel stormydd mwy difrifol a gaeafau gwlypach, yn cynyddu'r perygl o lifogydd. Mae llifogydd eisoes yn berygl difrifol i bobl, i'r economi ac i amgylchedd Cymru ac mae disgwyl i'r newid yn yr hinsawdd gynyddu'r perygl hwn dros y degawdau nesaf, gan gyflymu erydu arfordirol ar yr un pryd. Rheoli'r peryglon cynyddol hyn fydd un o'n heriau mwyaf sylweddol.

Mae'r canllawiau hyn yn disodli Arfarniad Economaidd FCDPAG3 Llywodraeth Cymru: Nodyn Atodol i Awdurdodau Gweithredu — Effeithiau Newid yn yr Hinsawdd, Gorffennaf 2007. Caiff ei ddarparu fel gwybodaeth atodol i Ganllawiau Arfarnu Rheoli Perygl Llifogydd ac Erydu Arfordirol Asiantaeth yr Amgylchedd (FCERM-AG) a Chanllawiau Arfarnu Prosiect Amddiffyn rhag Llifogydd ac Amddiffyn yr Arfordir. Mae hefyd yn cefnogi'r Strategaeth Genedlaethol ar gyfer Rheoli Perygl Llifogydd ac Erydu Arfordirol yng Nghymru. Dylid ei ddefnyddio i ystyried newid yn yr hinsawdd wrth ddatblygu pob prosiect neu strategaeth rheoli perygl llifogydd ac erydu arfordirol. Nid yw'r cyngor hwn wedi'i addasu ar gyfer y system cynllunio defnydd tir eto. Dylai datblygwyr ac awdurdodau cynllunio lleol barhau i ddefnyddio darpariaethau Nodyn Atodol Arfarniad Economaidd FCDPAG3 Llywodraeth Cymru, Gorffennaf 2007, yn ôl cyfarwyddyd Nodyn Cyngor Technegol 15, (TAN15).

Un o ddibenion y canllawiau hyn yw sicrhau y gellir cynnal arfarniad economaidd dibynadwy, sy'n ystyried yr ansicrwydd sy'n gysylltiedig â newid yn yr hinsawdd, i gefnogi penderfyniadau buddsoddi Llywodraeth Cymru. Mae hyn yn angenrheidiol er mwyn gallu gwneud cymhariaeth deg wrth fuddsoddi mewn prosiectau yn y gwahanol leoliadau sy'n cystadlu am grant gan Lywodraeth Cymru. Mae hefyd yn sicrhau bod y dull mwyaf priodol o leihau perygl yn cael ei ymchwilio ym mhob lleoliad.

O ystyried oes hir a chost uchel yr amgylchedd adeiledig a llawer o fesurau FCERM, mae'n rhaid i gynlluniau a phrosiectau buddsoddi ystyried peryglon newidiol y ganrif sydd i ddod mewn modd priodol. Mae hyn yn cynnwys darparu ar gyfer ymaddasu i newid yn yr hinsawdd lle bo'n briodol.

Mae Llywodraeth Cymru yn argymhell "dull ymaddasu a reolir" lle bo'n bosibl. Mae dull ymaddasu a reolir yn seiliedig ar gymryd camau gweithredu pan welir pwyntiau sbarduno. Mae'n fwyaf tebygol o fod yn briodol mewn achosion lle gall adolygiad cyfnodol olrhain y newid mewn perygl o lifogydd neu berygl arfordirol, a lle gellir rheoli'r perygl newidiol trwy ymyriadau a benderfynwyd ymlaen llaw. Mae hyn yn rhoi hyblygrwydd wrth reoli sefyllfaoedd ansicr yn y dyfodol mewn perthynas â newid yn yr hinsawdd.

Efallai na fydd dull ymaddasu a reolir yn dechnegol bosibl o dan rai amgylchiadau. Er enghraifft, efallai na fydd hi'n bosibl rheoli ymyriadau lluosog neu efallai y byddai'n fwy effeithlon yn economaidd i gynnwys elfen ragofalus o'r dechrau. Mewn achosion o'r fath, efallai mai dull rhagofalus, gydag un ymyriad, fydd yr unig ddewis ymarferol neu'r dewis gorau. Byddai ystyried opsiynau rhagofalus yn unig yn arwain at fwy o fuddsoddi mewn llai o leoliadau. Byddai dull ymaddasu a reolir yn sicrhau buddsoddiad

3

Ymaddasu i Newid yn yr Hinsawdd: Canllawiau ar gyfer Awdurdodau Rheoli Perygl Llifogydd ac Erydu Arfordirol

cyhoeddus tecach a mwy hyblyg ac felly dylid ei ddewis fel dull gweithredu lle bo'n bosibl.

2 Trefniadau trosiannol

Mae'r rhan hon yn disgrifio'r trefniadau trosiannol ar gyfer y canllawiau hyn

Dylid defnyddio'r canllawiau hyn gyda phob arfarniad sy'n dechrau (o'r newydd) ym mis Ionawr 2012 neu a gyflwynir i'w cymeradwyo ar ôl mis Ebrill 2012. Pan fo arfarniad prosiect wedi'i gwblhau eisoes a'r cynllun a ffafrir wedi'i nodi, dylid defnyddio'r canllawiau gymaint â phosibl wrth fynd ati i gynllunio'r cynllun arfaethedig yn fanwl.

Dylid asesu gwaith sydd eisoes ar droed gan sicrhau na fyddai'r canllawiau hyn yn arwain at benderfyniadau gwahanol. Fodd bynnag, hyd yn oed yn achos gwaith sydd bron â'i gwblhau, neu waith a gyflwynwyd i'w gymeradwyo cyn mis Ebrill 2012, dylid ystyried y canllawiau newydd, neu brofi'r cynllun neu'r penderfyniad buddsoddi yn erbyn y canllawiau heb arafu'r broses gwblhau nac ychwanegu'n sylweddol at y gost os oes modd.

Yn achos cynlluniau a strategaethau sydd eisoes wedi'u cymeradwyo, ni fyddem yn disgwyl i'r canllawiau hyn gael eu defnyddio tan yr adolygiad nesaf fel rheol, oni bai fod prosiectau buddsoddi penodol ynddynt i ddigwydd cyn hynny. Mewn achosion o'r fath, dylai arfarniadau prosiect fabwysiadu'r canllawiau newydd (yn amodol ar y paragraff cyntaf uchod).

3 Darparu ffactorau newid

Mae'r rhan hon yn disgrifio ffactorau newid yn yr hinsawdd i Awdurdodau Rheoli Peryglon eu defnyddio wrth wneud unrhyw benderfyniad sy'n ymwneud â rheoli perygl llifogydd ac erydu arfordirol.

Beth yw'r ffactor newid?

Mae Atodiad 1 yn cynnwys ffactorau newid ar gyfer asesu effeithiau posibl newid yn yr hinsawdd ar lawiad eithafol, llifau llifogydd afonydd, cynnydd yn lefel y môr a hyrddiadau stormydd. Mae'r ffactorau newid yn mesur y newid posibl (fel cynnydd mm neu ganrannol, yn dibynnu ar y newidyn) i'r gwaelodlin. Argymhellir datblygu opsiynau sy'n cynllunio ar gyfer y ffactor newid dros oes gyfan y penderfyniad. Fodd bynnag, yn hytrach na seilio opsiynau ar y ffactor newid yn unig, gelir defnyddio'r amcangyfrifon uchaf ac isaf i ddiwygio'r opsiynau er mwyn paratoi ar gyfer ystod ehangach o newidiadau yn y dyfodol.

Mae'r ffactorau newid yn seiliedig ar UKCP09 neu ymchwil yn defnyddio data UKCP09. Mae UKCP09 yn darparu pecyn cymorth mawr o wybodaeth a data. Datblygwyd y ffactorau newid i helpu Awdurdodau Rheoli Peryglon i ddefnyddio gwybodaeth UKCP09 mewn modd amserol a chost-effeithiol ac i ddarparu dull cyson. Mae'r tablau yn Atodiad 1 yn dangos y ffactorau newid ar gyfer llifau llifogydd afonydd, glawiad eithafol, cynnydd cymharol cymedrig yn lefel y môr a hyrddiadau stormydd. Darperir enghraifft yn Nhabl 1 isod.

Darperir amcangyfrifon uchaf ac isaf o newid i helpu i gynrychioli'r amrywiaeth o beryglon a allai godi yn y dyfodol. Er y rhagwelir y bydd y newid terfynol mewn llifau afonydd a'r cynnydd yn lefel y môr rywle o fewn yr ystod o amcangyfrifon isaf i uchaf, ni ellir diystyru newid mwy eithafol. Er mwyn cynrychioli'r newid eithafol hwn, mae "senarios H++" wedi'u cynnwys yn unol â dull UKCP09. Gellir defnyddio'r rhain i gynrychioli effeithiau mwy difrifol newid yn yr hinsawdd ac i helpu i nodi'r opsiynau angenrheidiol.

Tabl 1 Newidiadau posibl i lifau afon uchaf Ardal Basn Afon Hafren

	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2020au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2050au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2080au
Amcangyfrif uchaf	25%	40%	70%
Ffactor newid	10%	20%	25%
Amcangyfrif isaf	-10%	-5%	0%
Senario H++	40%	60%	110%

Pan fo amgylchiadau sy'n cynnwys digwyddiadau sy'n debygol iawn neu os byddai canlyniadau digwyddiadau prin yn eithafol, h.y. rhwystrau llanw mawr neu seilwaith o bwysigrwydd cenedlaethol, yna gallai pen uchaf yr ystod lawn gael ei hysbysu'n well trwy ddefnyddio'r cyfyngiadau H++. Mae Atodiad 2 yn darparu methodoleg i helpu Awdurdodau Rheoli Peryglon i ddefnyddio gwybodaeth Atodiad 1 yn llawn.

Beth yw'r senario H++?

Mae'r senario H++ yn darparu amcangyfrif o gynnydd yn lefel y môr a newid mewn llif llifogydd afonydd y tu hwnt i'r amcangyfrif uchaf. Wrth lunio cynlluniau wrth gefn mae'n ddefnyddiol deall beth allai fod yn angenrheidiol pe bai'r hinsawdd yn newid yn llawer cynt na'r amcangyfrifon uchaf. Nid yw'n bosibl dweud pa mor debygol yw'r senario H++.

4 Cyfyngiadau a Rheoli Eithriadau

Mae'r rhan hon yn disgrifio lleoliadau lle mae angen bod yn ofalus wrth ddefnyddio ffactorau newid yn yr hinsawdd.

Mae'r ffactorau newid a ddarparwyd yn deillio o ymchwil genedlaethol. Efallai fod yna achosion yn bodoli lle mae tystiolaeth leol yn cefnogi'r defnydd o ffactorau newid lleol eraill. Mewn achosion o'r fath, gall penderfynwyr ddefnyddio ffactorau newid eraill os oes rhesymau gwyddonol cadarn i gefnogi hyn. Wrth wneud cais am gymorth grant cenedlaethol, mae'n rhaid i Lywodraeth Cymru fod yn fodlon bod y rhesymau gwyddonol yn ddigon cadarn i gefnogi eithriad o'r fath.

Yr Awdurdod Rheoli Peryglon fydd yn ystyried y dystiolaeth leol fwyaf priodol ac yn cyfiawnhau eithriadau ar sail achosion unigol. Dylai'r sail resymegol dros ddefnyddio data arall a goblygiadau hyn fod yn eglur a dylid cofnodi hyn yn nogfennau'r cynllun neu'r penderfyniad buddsoddi.

5 Gwybodaeth Wyddonol Ategol

Mae'r rhan hon yn disgrifio'n gryno ble gellir dod o hyd i wybodaeth wyddonol ategol ar gyfer y canllawiau hyn.

Mae Atodiad 3 yn cynnwys crynodeb helaeth o'r wybodaeth wyddonol sydd wedi arwain at ddatblygu'r canllawiau hyn a'r ffactorau newid a'r amcangyfrifon newid uchaf ac isaf.

Atodiad 1 Darparu ffactorau newid

Mae'r atodiad hwn yn darparu ffactorau newid yn yr hinsawdd i Awdurdodau Rheoli Peryglon eu defnyddio wrth benderfynu ar gynlluniau buddsoddi

1. Newidiadau i lifau llifogydd afonydd yn ôl ardal basn afon

Mae dealltwriaeth o'r newidiadau posibl i lifau llifogydd afonydd wedi cynyddu'n sylweddol yn dilyn [prosiect ymchwil](#)¹ mawr gan Defra ac Asiantaeth yr Amgylchedd. Erbyn hyn, teimlir bod yna ddigon o hyder yn y newidiadau arfaethedig i allu darparu gwybodaeth ar lefel ranbarthol.

Cynhaliwyd y prosiect ymchwil er mwyn deall sut y gall gwahanol ddalgylchoedd ledled Cymru a Lloegr ymateb i newidiadau yn yr hinsawdd. Defnyddiwyd amcanestyniadau UKCP09 o lawiad a thymheredd i ddatblygu amcanestyniadau llifau llifogydd afonydd trwy'r ganrif. Mae'r rhain wedi'u cyflwyno yn Nhabl 2 ar gyfer dalgylch safonol ym mhob ardal basn afon.

Mae'r wybodaeth a roddwyd yn Nhabl 2 wedi'i chyfrifo ar gyfer y newid tebygol i lifau afon o bosibilrwydd o 1 achos mewn 50 (2%) mewn unrhyw flwyddyn. Er mwyn allsod yr amcanestyniadau hyn i ddigwyddiadau eraill, roedd yr ymchwil yn awgrymu bod y ddarpariaeth ranbarthol yn debygol o aros yn gymharol gyson gyda'r tebygolrwydd o newid.

Mae'r ffactor newid yn cyfateb i'r amcangyfrif canolog o newid o'r gwaith ymchwil. Darperir yr amcangyfrifon uchaf ac isaf i gynrychioli'r rhychwant llawn o newidiadau posibl i lif afon i'w defnyddio yn y rhan fwyaf o amgylchiadau. Mae'r amcanestyniadau'n newidiadau canrannol i waelodlin 1961-90. Wrth ddefnyddio ystadegau llif afon a arsylwyd neu waelodlin llif afon a gynhyrchwyd trwy ddefnyddio amcangyfrifon o lifogydd, yn ddelfrydol dylid defnyddio'r cofnod llif am y cyfnod 1961-90 fel y gaelodlin wedyn i werthuso newid yn y dyfodol. Efallai na fydd hyn yn bosibl bob amser ac y bydd angen defnyddio gwybodaeth fwy diweddar am lifau wrth werthuso newidiadau yn y dyfodol o gymharu ag ystadegau gaelodlin llifau afon. Mae rhagor o wybodaeth am hyn ar [wefan UKCP09](#). Mae Ffigur 1 isod yn dangos sut i ystyried newid rhwng y cyfnod sylfaen a'r 2020au.

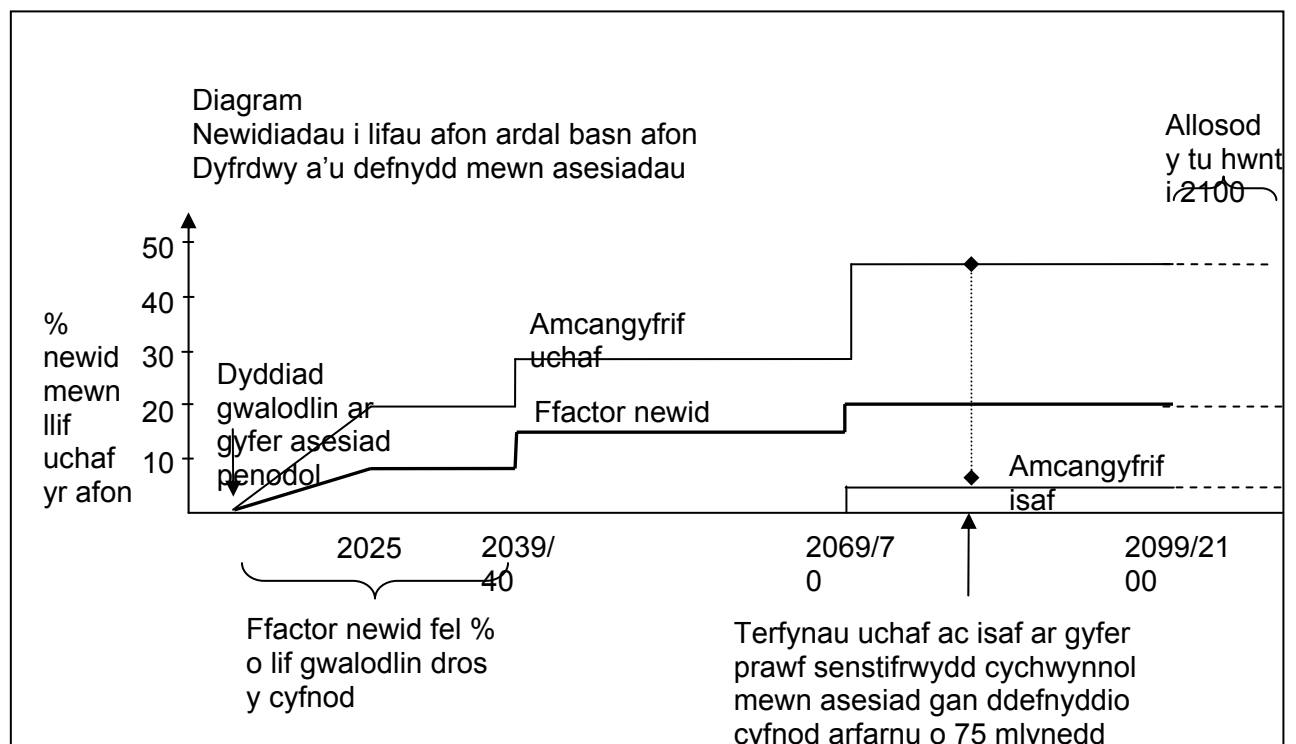
¹ Mae Llywodraeth Cymru'n cyfrannu at raglen ymchwil Defra/AA. Mae'r rhaglen ymchwil yn cynrychioli gofynion Llywodraeth Cymru ac roedd y prosiect ymchwil newid yn yr hinsawdd yn canolbwyntio'n benodol ar newid yn nalgylchoedd afonydd Cymru.

Tabl 2 Newidiadau i lifau llifogydd afonydd yn ôl ardal basn afon o gymharu â gwaelodlin 1961-90

	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2020au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2050au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2080au
Hafren			
Amcangyfrif uchaf	25%	40%	70%
Ffactor newid	10%	20%	25%
Amcangyfrif isaf	-10%	-5%	0%
Gorllewin Cymru			
Amcangyfrif uchaf	25%	40%	65%
Ffactor newid	15%	20%	30%
Amcangyfrif isaf	5%	10%	10%
Dyfrdwy			
Amcangyfrif uchaf	20%	30%	45%
Ffactor newid	10%	15%	20%
Amcangyfrif isaf	0%	0%	5%

Mae cyfrifiadau ar gyfer llif llifogydd afonydd yn ôl ardal basn afon wedi'u seilio ar ddata UKCP09. Wrth ystyried unrhyw newidiadau ar ôl 2100, argymhellir defnyddio newidiadau'r 2080au. Mae'r 2020au yn cwmpasu'r cyfnod o 2015 i 2039, y 2050au'n cwmpasu'r cyfnod o 2040 i 2069, a'r 2080au y cyfnod o 2070 i 2099.

Mae'r diagram isod, Ffigur 1, yn dangos sut y gellir plotio amcangyfrifon ar gyfer newidiadau i lif afonydd a'u defnyddio mewn asesiadau nodweddiadol.



Ffigur 1 Newidiadau i lifau afon basn afon Dyfrdwy a'u defnydd mewn asesiadau

]

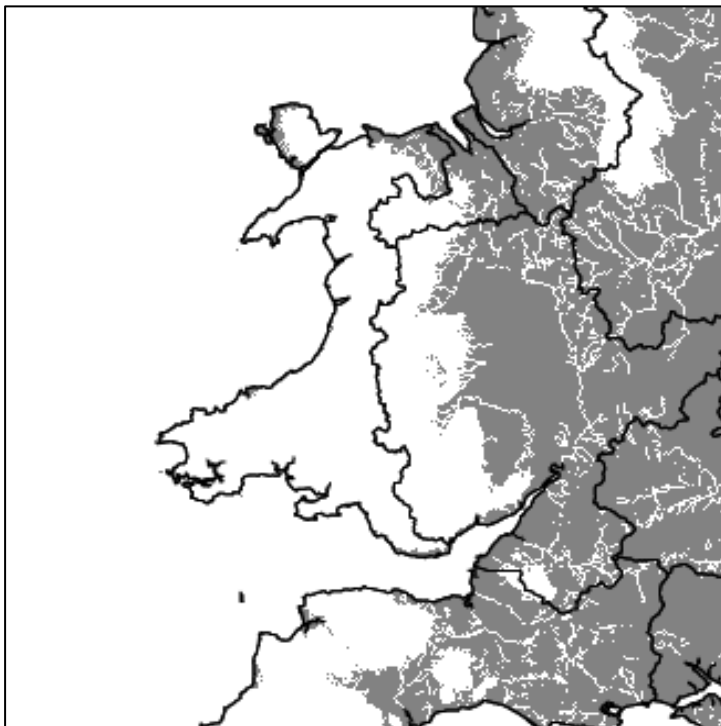
Terfynau H++

Dangosodd yr ymchwil fod rhai dalgylchoedd enghreifftiol, ym mhob ardal basn afon, wedi dangos llawer mwy o gynnydd mewn llifau llifogydd afonydd na'r dalgylch safonol. Nid ydym eto yn gallu darparu canllawiau i helpu Awdurdodau Rheoli Peryglon i benderfynu a ydynt o bosibl yn rheoli un o'r dalgylchoedd ansafonol hyn. Fodd bynnag, darperir senario H++ sy'n cynrychioli amcangyfrif uchaf y dalgylchoedd ansafonol hyn (gweler Tabl 3).

Yn yr amgylchiadau lle gallai canlyniadau yn sgil digwyddiadau eithriadol fod yn eithafol, efallai y byddai Awdurdodau Rheoli Peryglon yn dymuno profi eu penderfyniadau yn erbyn y senario H++. Byddai hyn yn helpu i ddangos y peryglon allai godi yn sgil newid eithafol o'r fath yn yr hinsawdd. Os yw ardal yr astudiaeth y tu hwnt i'r ardal lwyd ar y map yn Ffigur 2, nid oes angen ymchwilio i senario H++ gan nad oes dalgylchoedd ansafonol yn y lleoliadau hyn.

Tabl 3 Senarios llifau afon H++ ar gyfer pob ardal basn afon o gymharu â gwaelodlin 1961-90

	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2020au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2050au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2080au
Hafren	40%	55%	100%
Gorllewin Cymru	40%	60%	110%
Dyfrdwy	30%	45%	70%



Ffigur 2 Map yn dangos ardaloedd (llwyd) lle mae'r dalgylchoedd ansafonol uchod yn bosibl

Mae map yn dangos ardaloedd basn afon Cymru a Lloegr a'u henwau i'w gael [yma](#)

2. Newid mewn glawiad eithafol

Er ein bod yn gallu gwneud datganiadau ansoddol ynglŷn â pha mor debygol y bydd glawiad eithafol yn cynyddu neu'n lleihau yn y DU yn y dyfodol, mae yna ansicrwydd sylweddol o hyd ynghylch maint y newidiadau hyn yn lleol. Mae UKCP09 yn darparu gwybodaeth ddefnyddiol am newid mewn glawiad ledled y DU sydd ar gael trwy [ryngwyneb y defnyddiwr](#). Mae'r wybodaeth hon yn ddigon cadarn ar gyfer digwyddiadau cyffredin fel newidiadau i ddiwrnod gwlypaf y tymor.

Fel arfer, o safbwynt rheoli llifogydd, y pryder yw'r digwyddiadau mwy eithriadol (ond sy'n cael mwy o effaith) fel y rhai sydd ag 1 siawns mewn 20 o ddigwydd y flwyddyn neu'n llai aml. Mae datblygu rhagfynegiadau mesurol o newidiadau'r dyfodol ar gyfer glawiad mor eithafol ar raddfa leol yn her allweddol i wyddonwyr hinsawdd. Trafodir hyn ymhellach yn Atodiad 3.

Pan fydd angen amcanestyniad o lawiad y dyfodol ar gyfer digwyddiadau a welir yn amlach na'r rhai gydag 1 siawns mewn 5 y flwyddyn, argymhellir cymryd y wybodaeth o UKCP09. Wrth ystyried digwyddiadau llai aml, argymhellir defnyddio'r newidiadau i lawiad a gyflwynir yn Nhabl 4.

Dim ond yr uchafswm data glawiad dyddiol a ystyriwyd o amcanestyniadau'r model hinsawdd, felly nid yw'n bosibl darparu unrhyw ganllawiau ar sut y gall glawiad o awr i awr newid.

Tabl 4 Newid mewn dwysedd glawiad dyddiol eithriadol o gymharu â gwaelodlin 1961-90

Perthnasol i Gymru gyfan	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2020au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2050au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir ar gyfer y 2080au
Amcangyfrif uchaf	10%	20%	40%
Ffactor newid	5%	10%	20%
Amcangyfrif isaf	0	5%	10%

Fel yn achos llifau llifogydd afonydd, argymhellir defnyddio newidiadau 2080au wrth ystyried unrhyw gyfnod ar ôl 2100. Mae'r 2020au yn cwmpasu'r cyfnod o 2015 i 2039, y 2050au y cyfnod o 2040au i 2069, a'r 2080au y cyfnod o 2070 i 2099. Dylid defnyddio'r amrediadau hyn mewn asesiadau mewn modd tebyg i'r diagram sy'n dangos llifau llifogydd afonydd.

Dylid defnyddio'r amrediadau dwysedd glawiad uchaf ar gyfer dalgylchoedd bach a safleoedd draenio trefol/lleol. Dylid defnyddio'r amrediadau llif uchaf ar gyfer dalgylchoedd afonydd dros oddeutu 5km².

Ni ddarperir senario H++ ar gyfer newidiadau i lawiad eithafol.

3. Newid yn lefelau cymharol cymedrig y môr

Mae UKCP09 yn darparu amcanestyniadau lefelau cymharol cymedrig y môr ar gyfer holl arfordir Cymru. Maent wedi'u crynhoi a'u hegluro yn yr [adroddiad morol](#), ac ar gael trwy [ryngwyneb y defnyddiwr](#).

Mae'r amcanestyniadau'n ystyried symudiadau yn lefel y tir yn y dyfodol. Am y tro cyntaf hefyd, maent yn ystyried effeithiau eigionegol rhanbarthol. Mae'r effeithiau rhanbarthol hyn yn codi o'r gwahaniaeth yn y newid yn lefel y môr ar gyfer yr ardal gyfagos sy'n amgylchynu'r DU o gymharu â'r cymedr byd-eang.

Mae'r amcanestyniadau ar gael ar gyfer tri senario allyrru trwy ryngwyneb y defnyddiwr fel newid sy'n cymharu â 1990 ar gyfer unrhyw flwyddyn hyd at 2100. Maent wedi'u cyflwyno fel amcangyfrifon canolog o newid ar gyfer pob senario allyrru gyda bandiau hyder uchaf ac isaf.

Mae'r amcanestyniadau'n seiliedig ar bedwerydd adroddiad asesu'r Panel Rhynglywodraethol ar y Newid yn yr Hinsawdd (IPCC). Ers cyhoeddi'r adroddiad mae'r cynnydd posibl yn lefel y môr wedi derbyn sylw o'r newydd, a nifer o ymchwilwyr wedi awgrymu bod rhifau'r IPCC yn tanamcangyfrif amrediad y cynnydd posibl yn lefel y môr yn ystod yr 21ain ganrif. Argymhellir, felly, na ddylai Awdurdodau Rheoli Peryglon ddefnyddio'r amcangyfrifon canolog o gynnydd cymharol yn lefel y môr o UKCP09 fel y ffactor newid ar gyfer eu penderfyniadau buddsoddi. Yn hytrach, awgrymir eu bod yn defnyddio amcanestyniad allyrru canol y band hyder uchaf (canradd 95) (gweler Tabl 5). Mae Atodiad 3 yn cynnwys y sail wyddonol ar gyfer yr argymhelliad hwn.

Mae adroddiad morol UKCP09 hefyd yn cynnwys senario H++ i ddarparu amcangyfrifon o gynnydd yn lefel y môr sydd y tu hwnt i'r ystod debygol ond a allai fod yn bosibl. Cyflwynir y senario UKCP09 H++ fel ystod ar gyfer y DU gyfan, o 93cm hyd at gynnydd o 1.9m ar gyfer 2100, o gymharu ag 1990. Defnyddiwyd ystod senario UKCP09 H++ i ddatblygu amcangyfrif uchaf a senario H++ yn y canllawiau hyn a gyflwynir yn Nhabl 5 isod. Rhagwelir mai dim ond amgylchiadau sy'n cynnwys digwyddiadau tebygol iawn neu lle gallai canlyniadau digwyddiadau eithriadol fod yn eithafol fydd yn gorfod ystyried y terfynau H++ mewn asesiadau sy'n cwmpasu'r cyfnod i 2115.

Gan mai dim ond cyfanswm y cynnydd yn lefel y môr yn 2010 sydd wedi'i ddarparu ar gyfer UKCP09, mae cyfraddau newid senario H++ ar gyfer gwahanol gyfnodau amser drwy'r ganrif wedi'u darparu yn Nhabl 5.

Gellir cymryd y ffactor newid a'r amcangyfrif isaf yn syth o ryngwyneb defnyddiwr UKCP09 ar gyfer y lleoliad perthnasol. Mae rhyngwyneb y defnyddiwr yn darparu amcangyfrif o newid ar gyfer unrhyw flwyddyn trwy'r ganrif o gymharu ag 1990. Wrth gymryd amcanestyniadau o UKCP09, dylid canfod newid hyd at 2115 trwy allosod y tu hwnt i 2100.

Tabl 5 Newid yn lefel cymharol cymedrig y môr

	Cynnydd yn lefel y môr mm/blwyddyn hyd at 2025	Cynnydd yn lefel y môr mm/blwyddyn 2026 i 2050	Cynnydd yn lefel y môr mm/blwyddyn 2051 i 2080	Cynnydd yn lefel y môr mm/blwyddyn 2081 i 2115
Senario H++	6	12.5	24	33
Amcangyfrif uchaf	4	7	11	15
Ffactor newid	Defnyddio amcanestyniad 95% allyriad canol cynnydd cymharol yn lefel y môr UKCP09 ar gyfer lleoliad y prosiect sydd ar gael o ryngwyneb y defnyddiwr.			
Amcangyfrif isaf	Defnyddio amcanestyniad 50% allyriad isel cynnydd cymharol yn lefel y môr UKCP09 ar gyfer lleoliad y prosiect sydd ar gael o ryngwyneb y defnyddiwr.			

4. Newid mewn hyrddiadau stormydd

Mae'r gwaith ymchwil diweddaraf i hyrddiadau stormydd a gyflwynir yn adroddiad morol UKCP09 yn seiliedig ar fodelau Canolfan Hadley y Swyddfa Dywydd/Labordy Eigionol Proudman (POL). Mae'r modelau hyn yn awgrymu bod newid mewn hyrddiadau stormydd (a ddiffinnir fel hyrddiad sgiw yn UKCP09) o amgylch y DU, gyda 1 siawns mewn 50 o ddigwydd mewn unrhyw flwyddyn, yn debygol o gynyddu llai na 0.9 mm/blwyddyn (heb gynnwys newid cymharol cymedrig yn lefel y môr) yn ystod yr 21ain ganrif. Yn y mwyafrif o leoliadau, ni ellid gwahaniaethu'n glir rhwng y duedd hon ac amrywioldeb naturiol. Roedd y newidiadau mwyaf i'w gweld ym Môr Hafren ac Aber Afon Hafren.

Mae yna gyfnod hir o amrywioldeb naturiol yn effeithio ar stormusrwydd Ewropeaidd (mwy nag ychydig ddegawdau). Dros graddfa o ganrifoedd, mae'r newid hwn wedi bod tua 50cm. Byddai rhoi cyfrif am y cyfnod hir o amrywioldeb hefyd yn rhoi cyfrif am y newid rhagamcanol mewn hyrddiadau stormydd o UKCP09 dros y ganrif. Lle bo lefelau dŵr arfordirol eithafol yn deillio o gofnodion mesur llanw hir iawn, sef tua 100 mlynedd, gellir cyfrif am yr ystod lawn o amrywioldeb naturiol.

Rhagwelir y bydd canllawiau pellach yn cael eu darparu maes o law i gyfrif am yr ystod lawn o amrywioldeb naturiol. Argymhellir cynnal dadansoddiad llawn a thrylwyr o lefelau dŵr arfordirol eithafol cyfredol gan ddefnyddio'r data ffiniau llifogydd arfordirol cenedlaethol ar gyfer arfordiroedd Cymru a Lloegr. Gellir lawrlwytho adroddiadau gan [Asiantaeth yr Amgylchedd](#) trwy chwilio o dan y teitl 'coastal boundary'.

Mae yna ansicrwydd mawr yn y newid rhagamcanol i'r llwybr stormydd dros y DU, y prif ffactor sy'n gyrru dwysedd ac amllder hyrddiadau stormydd. Defnyddiwyd modelau hinsawdd rhyngwladol dibynadwy eraill yn UKCP09 i werthuso amcanestyniadau eraill o hyrddiad sgiw dros y ganrif. Caiff hyn ei gyflwyno yn UKCP09 fel senario H++ ar gyfer hyrddiad sgiw. Fel yn achos senario H++ ar gyfer cynnydd yn lefel y môr nid yw'n bosibl amcangyfrif pa mor debygol yw hyn o ddigwydd, ond ystyrir bod senario H++ ar gyfer hyrddiad sgiw yn fwy tebygol na phen uchaf yr ystod H++ ar gyfer cynnydd yn lefel y môr. Yn y canllawiau hyn, cyflwynir senario H++ UKCP09 ar gyfer hyrddiad sgiw fel yr amcangyfrif uwch.

Tabl 6 Newid mewn hyrddiad sgiw ar gyfer arfordir Cymru

	Cyfanswm newid posibl a ragwelir hyd at y 2020au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir hyd at y 2050au	Cyfanswm newid posibl a ragwelir hyd at y 2080au
Amcangyfrif uchaf	20cm	35cm	70cm
Ffactor newid	Sicrhau bod asesiad trylwyr o lefel dŵr eithafol cyfredol yr arfordir yn cael ei gynnal	Sicrhau bod asesiad trylwyr o lefel dŵr eithafol cyfredol yr arfordir yn cael ei gynnal	Sicrhau bod asesiad trylwyr o lefel dŵr eithafol cyfredol yr arfordir yn cael ei gynnal
Amcangyfrif is	d/b	d/b	d/b

Gellir ystyried newidiadau mewn hyrddiadau sgiw ac yn lefel cymedrig y môr fel ychwanegion ac mae modd gwerthuso newidiadau yn lefelau dŵr eithafol yr arfordir trwy ychwanegu'r newid cymharol cymedrig i lefel y môr at lefel dŵr eithafol cyfredol yr arfordir. Mae data sylfaenol amcangyfrifon data ffiniau llifogydd arfordirol cenedlaethol Asiantaeth yr Amgylchedd yn cyfeirio at 2008, ac mae'n rhaid i unrhyw amcanestyniadau yn y dyfodol ynghylch newid yn yr hinsawdd ddefnyddio'r data hwn

fel man cychwyn ar gyfer y cyfrifiadau. Mae'r amcanestyniadau'n trosi yn asesiadau tebyg i'r diagram ar gyfer afonydd gyda data llinell sylfaen penodol o 2008.

5. Newid mewn hinsawdd tonnau

Rhoddir sylw i newid mewn hinsawdd tonnau yn UKCP09. Mae yna ansicrwydd mawr, yn enwedig gyda'r gwerthoedd eithafol rhagamcanol. Rhagamcanir bod y newidiadau yn yr uchafsymiau blynyddol rhwng -1.5 m a $+1$ m. Bydd amcanestyniadau o uchderau tonau cyfnod hirach yn adlewyrchu'r un patrwm ond gyda barau gwallau mwy. Mae newidiadau yng nghyfnod a chyfeiriad tonnau yn fach ac yn anoddach i'w dehongli.

O ystyried yr ansicrwydd sylweddol i sefyllfa llwybr stormydd ledled y DU yn y dyfodol a'r amcanestyniadau o hinsawdd tonnau yn UKCP09, argymhellir bod Awdurdodau Rheoli Peryglon yn defnyddio dadansoddiad sensitifrwydd i ddeall yr effaith ar newid mewn peryglon llifogydd ac erydu arfordirol ac wrth lunio unrhyw opsiynau ymarferol. Gellir defnyddio'r dadansoddiad sensitifrwydd fel rhan o'r dadansoddiad sensitifrwydd a welir yn Atodiad 2.

Dros y 12 mis nesaf, rhagwelir y bydd amcanestyniadau hinsawdd tonnau ar gael a fydd yn nodi uchder sylweddol, cyfnod a chyfeiriad tonnau. Pan gyhoeddir y rhain, bydd y canllawiau hyn yn cael eu diweddarau i gynnwys y dystiolaeth honno.

Atodiad 2 Methodoleg

Mae'r atodiad hwn yn darparu canllawiau ar ddefnyddio amcanestyniadau newid yn yr hinsawdd i Reoli Peryglon Llifogydd ac Erydu Arfordirol

Mae'r wybodaeth feintiol yn Atodiad 1 y canllawiau hyn yn nodi'r ffactorau newid yn yr hinsawdd i'w defnyddio wrth asesu peryglon llifogydd ac erydu arfordirol yn y dyfodol a'r ansicrwydd sy'n deillio o newid yn yr hinsawdd. Mae'r fethodoleg ganlynol yn cefnogi Atodiad 1 a'r egwyddorion ehangach a nodwyd yn y cyflwyniad i Adran 1 y canllawiau hyn.

Roedd canllawiau blaenorol yn darparu amcangyfrifon unigol o newid i werthuso perygl ar gyfnodau penodol yn y dyfodol. Mae yna wendidau i'r dull hwn gan nad yw'n rhoi:

- dealltwriaeth lawn o'r rhyngberthynas rhwng newid yn yr hinsawdd a newid mewn peryglon;
- dealltwriaeth o'r hyn allai ddigwydd heblaw'r union amcanestyniad o newid yn yr hinsawdd.

Yn gyfatebol:

- Gall rhagdybiaeth gul o'r hyn allai ddigwydd lywio penderfyniadau ymaddasu;
- Pan fo senarios newydd yn cael eu rhyddhau, mae'n rhaid cynnal astudiaethau effaith newydd sy'n golygu mwy o gostau.

Dull arall, a'r un a gyflwynir yma, yw cynnal dadansoddiad sensitifrwydd ar draws yr ystod o newid posibl dros oes yr asesiad a nodi'r ymatebion ymaddasu a allai fod yn ofynnol.

Ar ôl cynnal y dadansoddiad sensitifrwydd, mae'r fethodoleg hon yn argymhell y dylid datblygu opsiynau ymaddasu i gynllunio ar gyfer y lefel o newid a gynrychiolir gan y ffactor newid, a gyflwynir yn Atodiad 1. Fodd bynnag, yn hytrach na seilio opsiynau ar y ffactor newid yn unig, gellir defnyddio'r ddealltwriaeth o'r dadansoddiad sensitifrwydd i ddiwygio'r opsiynau er mwyn bod yn fwy parod ar gyfer ystod ehangach o newid yn y dyfodol. Efallai y bydd angen cynnal y dadansoddiad sensitifrwydd ar gyfnodau cyfamserol yn yr asesiad cyffredinol i lywio datblygiad yr opsiynau, ond dylid cael cyn lleied o asesu ag sy'n gymesur bosibl.

Dylai hyn sicrhau y ceir opsiynau ymaddasu nad ydynt yn gysylltiedig â thybiaeth unigol o'r hyn allai ddigwydd yn y dyfodol ac sydd felly'n gallu ymdopi ag ystod ehangach o senarios posibl yn well. Bydd hyn yn helpu i fynd i'r afael ag ansicrwydd sylweddol yr amcanestyniadau hinsawdd cyffredol, o ran maint ac amserlen penderfyniadau FCERM nodweddiadol.

Cynlluniwyd yr atodiad hwn i ategu'r gweithgareddau sy'n cael eu cyflawni fel arfer wrth ddatblygu cynlluniau ac arfarniadau buddsoddi FCERM, fel asesiad risg, datblygu opsiynau ac arfarnu. Ni ddylid ystyried ymaddasu fel ymarfer ar wahân, ond ei gynnwys ym mhob gweithgaredd i gefnogi amcanion a chanlyniadau ehangach.

Mae'r camau yn yr adran hon fel a ganlyn:

Camau	Cwestiynau i roi sylw iddynt
a. Adeiladu ar yr asesiad o beryglon cyfredol	Beth yw sail peryglon llifogydd neu erydu arfordirol heddiw? Beth sy'n agored i niwed gan yr hinsawdd gyfredol? A oes unrhyw wybodaeth am ardaloedd a allai newid?
b. Asesu sensitifrwydd posibl y dyfodol	Beth yw'r sensitifrwydd i newidiadau yn y dyfodol? Ble mae angen ymaddasu ac ar gyfer pa lefel o newid?
c. Nodi opsiynau ymarferol	Pa opsiynau ymaddasu sydd ar gael ar draws yr ystod o newidiadau posibl yn y dyfodol? A oes cyfleoedd i ddilyniant o opsiynau neu i gynnwys hyblygrwydd?
d. Diwygio opsiynau	A oes angen gwybodaeth neu fodelu ychwanegol? Beth yw'r opsiynau gorau? Beth ddylid ei weithredu a phryd?
e. Monitro, gwerthuso ac adolygu	A gyflawnwyd yr amcanion? A oes angen cynnal neu gynllunio gwaith ymaddasu ychwanegol?

a. Adeiladu ar yr asesiad o beryglon cyfredol

Mae asesu risg yn ganolog i waith cynllunio FCERM ac mae'n darparu gwybodaeth a fydd yn helpu i werthuso effaith newid yn y dyfodol. Gall deall prosesau llifogydd ac arfordirol a'r hyn sy'n agored i niwed gan yr hinsawdd gyfredol helpu i ganfod y canlynol:

- ardaloedd sy'n arbennig o sensitif i newid;
- opsiynau defnyddiol, yn enwedig opsiynau dim difaru neu ddifaru isel;
- blaenoriaethau;
- trothwyon na ellid eu croesi heb o bosibl arwain at gynnydd sylweddol mewn perygl.

Gall deall y gwendidau hanesyddol i ffactorau eraill, fel newid mewn defnydd tir hefyd helpu i ganfod ardaloedd a allai fod yn agored i newidiadau yn y dyfodol. Bydd dealltwriaeth o brosesau dalgylch neu arfordirol ehangach yn sicrhau bod ymaddasu'n broses strategol ac nad yw'n cynyddu perygl llifogydd neu erydu arfordirol mewn mannau eraill.

b. Asesu sensitifrwydd posibl y dyfodol

Nod y cam hwn yw asesu sensitifrwydd i newid yn y dyfodol mewn perthynas â'r opsiwn llinell sylfaen a chanfod y lleoedd sydd angen ymaddasu o bosibl. Y llinell sylfaen yw'r opsiwn 'gwneud dim' yn aml ond dylid pennu hyn trwy gyfeirio at y canllawiau cynhwysfawr ar gyfer y cynlluniau perthnasol neu'r arfarniadau buddsoddi.

Mae'r cam hwn yn nodi dull ar gyfer cynnal dadansoddiad sensitifrwydd ar draws yr ystod briodol o newid. Mae'r dull hwn yn defnyddio'r tablau yn Atodiad 1 a bydd yn nodi'r canlynol:

- ardaloedd sy'n sensitif iawn i newid;

- ardaloedd sy'n gallu derbyn newid;
- opsiynau ymaddasu posibl a allai fod yn angenrheidiol ar gyfer gwahanol raddau o newid.

Yn achos y cynlluniau lefel uchel, byddai'r amcangyfrifon uchaf ac isaf yn cael eu defnyddio i roi syniad o'r ystod a allai ddigwydd dros oes y cynllun a'u defnyddio wrth roi ystyriaeth sylfaenol i'r gwahanol opsiynau polisi. Mae'r amcanestyniadau sy'n seiliedig ar y ffactor newid canolog i raddau helaeth yn cael eu defnyddio'n eilaidd fel canllaw cynllunio.

Yn achos arfarniadau buddsoddi, bydd y ffactor newid canolog yn rhoi ffocws ar gyfer ystyried opsiynau gyda'r amcangyfrifon uchaf ac isaf yn darparu ystod i brofi i ba raddau y gall opsiynau ymaddasu.

Mae elfennau'r camau hyn fel a ganlyn:

Deall yr ystod o newidiadau posibl yn y dyfodol	Gwerthuso'r ystod newid arfaethedig	Gan ddefnyddio'r amcangyfrifon uchaf ac isaf o Atodiad 1, beth yw'r ystod o newid a allai ddigwydd yn ystod y cyfnod arfarnu?
	Datblygu senarios prawf	Yn seiliedig ar yr ystod newid arfaethedig, nodi cyfres o senarios prawf i archwilio unrhyw sensitifrwydd yn y penderfyniadau a wneir.
Gwerthuso sensitifrwydd i newidiadau'r dyfodol yn fras	Cynnal asesiad risg cyffredinol	Modelu peryglon y dyfodol gan ddefnyddio senarios prawf A oes yna newid sylweddol o gymharu â'r peryglon cyffredol?
	Nodi ardaloedd sy'n sensitif i newid	Pa ardaloedd sy'n fwy agored i newid? A oes rhai ardaloedd yn sensitif iawn i newid ar raddfa fach? A oes rhai ardaloedd yn gallu derbyn llawer o newid?
Diwygio'r asesiad o sensitifrwydd i newidiadau'r dyfodol	Cynnal asesiad manylach mewn ardaloedd sy'n agored i newid	Pa wybodaeth ychwanegol fyddai'n gwella'r asesiad? Beth fyddai effaith newidiadau difrifol? A fyddai rhywfaint o newid yn achosi peryglon a fyddai'n anodd iawn i'w lliniaru?
	Ailadrodd	Ailadrodd elfennau'r cam hwn ac ystyried pa opsiynau ymaddasu sydd ar gael.

Mae'n bwysig bod yr ymdrechion yn gymesur. Dylid cynllunio'r senarios prawf a ddefnyddir ar y dechrau i ddarparu'r asesiad mwyaf cyffredinol o sensitifrwydd i newid ac i ddatblygu'r rhestr hir gychwynnol o opsiynau posibl. Os oes yna sensitifrwydd sylweddol i newid, gellid ategu'r senarios prawf trwy gynnwys cynyddrannau rhwng yr amcangyfrifon uchaf ac isaf. Er enghraifft, os yw'r amcangyfrifon isaf ac uchaf ar gyfer newidiadau i lifau afonydd yn amrywio o +5% i +30% ac nad yw rhyngosod rhwng cynyddrannau yn opsiwn ymarferol gellid cynnal asesiad i newid gan symud yn gynyddrannol o +5%, +10%, +20% a +30%. Mae'n well defnyddio dull sy'n seiliedig ar risg, gan asesu'r darlun cyffredinol i ddechrau, a chanolbwyntio wedyn os oes angen ar yr ardaloedd hynny sydd mewn mwyaf o berygl a/neu sy'n cael eu niweidio fwyaf gan newid.

Gall yr amcangyfrifon isaf ac uchaf helpu i gynrychioli'r ystod o beryglon. Ond mae yna bosibilrwydd o hyd y gallai'r newid fod y tu hwnt i'r ystod hon. Gellir defnyddio'r senario H++ ar gyfer cynnydd yn lefel y môr a newid i lifau afonydd i gefnogi'r dadansoddiad ymhellach. Hefyd, mae modd ehangu'r senarios prawf trwy ddefnyddio achos gwaethaf o'r gorffennol, senario achos gwaethaf damcaniaethol neu brofion sensitifrwydd wedi'u targedu, er enghraifft.

Y peth pwysig yw peidio â chyfyngu'r dadansoddiad i ragdybiaeth rhy gul o raddau'r newid tebygol yn yr hinsawdd gan gadw'r ymdrech yn gymesur i'r goblygiadau ar gyfer gwneud penderfyniadau.

c. Nodi opsiynau ymarferol

Nod y cam hwn yw canfod opsiynau sy'n gallu darparu ar gyfer y sensitifrwydd i newid a ddangosir gan yr asesiad yng ngham b. Efallai na fydd rhai opsiynau'n gallu darparu cymaint o ymaddasu â hyn, ond gall fod yn briodol eu cynnwys ar y rhestr i'w hystyried yng nghamau datblygu eraill y cynllun neu'r arfarniad. Dylid datblygu opsiynau yn unol ag amcanion a chyfyngiadau cyffredinol y prosiect. Dylid gwneud y gwaith hwn ar raddfa sy'n gymesur ag anghenion y cynllun neu'r arfarniad.

Bydd datblygu opsiynau ymaddasu i gwmpasu'r ystod o newid o gam b yn helpu i ganfod yr ystod lawn o'r hyn a allai fod yn angenrheidiol yn y dyfodol. Gellir datblygu opsiynau i ymateb i newid o'r amcangyfrifon isaf i'r uchaf. Mae yna nifer o ddulliau y gellid eu defnyddio i ddatblygu opsiynau ymarferol:

Nodi opsiynau a allai ymdrin ag ystod o newid	Un dull yw datblygu opsiynau sy'n lleihau perygl dros yr ystod o newid neu y gellid eu llunio o'r cychwyn i ymdopi ag amcangyfrifon uchaf ac isaf newid yn yr hinsawdd.
Cynnwys hyblygrwydd	Dull arall yw cynnwys y gallu i addasu opsiwn pe bai angen hynny h.y. cynnwys hyblygrwydd. Mae enghreifftiau o hyn yn cynnwys prynu ardal y tu ôl i fur llifogydd er mwyn gallu codi'r wal pe bai angen.
Oedi penderfyniadau a fyddai'n anodd eu newid – rheoli addasol	Dull ategol yw cynnwys hyblygrwydd yn y broses benderfynu ei hun dros amser trwy aros a dysgu. Er enghraifft, cael dilyniant o opsiynau fel bod opsiynau dim difaru neu ddifaru isel yn cael eu cymryd yn gynt a bod mesurau mwy anhyblyg yn cael eu dal yn ôl gan ddisgwyl am wybodaeth well.

d. Diwygio opsiynau

Bydd y camau blaenorol wedi darparu dealltwriaeth o sensitifrwydd y system i newid yn y dyfodol ac efallai wedi sicrhau bod modd datblygu opsiynau digonol i lywio'r prosesau penderfynu terfynol. Pan na fo hyn yn wir, bydd angen rhywfaint o ddiwygio sy'n debygol o gynnwys ystyried newid dros gyfnodau cyfamserol o'r cynllun cyffredinol neu'r cyfnod arfarnu.

Rydym yn argymhell bod opsiynau'n cael eu diwygio trwy ddefnyddio'r ffactorau newid a welir yn Atodiad 1. Fodd bynnag, yn hytrach na seilio opsiynau ar y ffactorau newid yn unig, gellid defnyddio'r dadansoddiad o gam c hefyd i ddiwygio'r opsiynau fel eu bod yn adlewyrchu'r ystod ehangach o newid yn well.

Er enghraifft, gellid datblygu opsiwn i ystyried y ffactor newid dros oes gyfan y cynllun, ond cynnwys hyblygrwydd i ddarparu ar gyfer y gwahanol newidiadau a awgrymir gan y terfynau uchaf ac isaf. Dylid penderfynu yn y dyfodol a fydd angen yr ymateb ychwanegol hwn ai peidio. Bydd amseriad y penderfyniad hwnnw'n dibynnu ar y prif amser i gyflwyno'r ymateb ychwanegol a chyfradd wirioneddol y newid yn yr hinsawdd. Efallai fod angen asesu dros gyfnodau cyfamserol felly lle byddai diwygiad o'r fath yn gost-ffeithiol ac yn angenrheidiol er mwyn llywio diffiniad digonol o opsiynau a phenderfyniadau.

Efallai fod yna nifer o opsiynau ymarferol. Bydd angen asesu'r opsiynau yn gritigol gan ddefnyddio amcanion neu ganlyniadau gofynnol ehangach yr arfarniad. Mae'n werth ystyried y cwestiynau canlynol yn y cam hwn:

- Pa mor hyblyg ddylai'r opsiwn fod?
- Pa mor gadarn ddylai'r opsiwn fod?

Efallai y byddai'n ddefnyddiol ystyried y meini prawf canlynol yn fanylach er mwyn diwygio'r opsiynau.

Meini Prawf	Disgrifiad	Ystyriaethau
Hyblygrwydd	Y graddau y gellir addasu opsiwn i wybodaeth newydd neu amgylchiadau yn y dyfodol.	Gall cynnwys hyblygrwydd yn awr olygu rhagor o waith (a chostau ychwanegol) ond gall fod yn well nag ôl-addasu yn ddiweddarach.
		Yn gyffredinol, gall hyblygrwydd fod yn opsiwn da os bydd cost dull rhagofalus yn uchel, a gellir cynllunio opsiynau ar gyfer addasu cost-ffeithiol yn ddiweddarach.
		Y perygl na fydd addasiad yn cael ei roi ar waith yn y dyfodol.
Cadernid	Mae penderfyniad yn gadarn os nad yw ystod eang o senarios posibl yn y dyfodol yn gallu effeithio arno.	Defnyddio mwy o adnoddau (a mwy o gostau o bosibl) yn awr yn hytrach na'r manteision o fod yn llai agored i ystod eang o newidiadau posibl i'r hinsawdd yn y dyfodol.
		Y perygl nad oes angen capasiti ychwanegol os nad yw'r newid yn yr hinsawdd mor ddifrifol.
		Llai o angen i ailystyried penderfyniadau yn y dyfodol, dim perygl o beidio â rhoi addasiadau pellach ar waith yn y dyfodol.
		Yn gyffredinol, mae cadernid yn opsiwn da os yw'r gwahaniaeth yn costau ar gyfer ymaddasu i wahanol sefyllfaoedd yn y dyfodol yn fach, e.e. codi ychydig ar lefel cronfa ddŵr storio i fyny'r afon – neu pan fo cost (neu berygl) hyblygrwydd yn rhy uchel – e.e. cost dyfnhau

		sianel liniaru llifogydd ar ddyddiad yn y dyfodol.
Hyblygrwydd a Chadernid		Gall ymyriadau dilynnol a/neu hyblyg ei gwneud hi'n bosibl i reoli newid mwy difrifol yn yr hinsawdd. Gall oedi gwaith ychwanegol nes bod mwy o sicrwydd ar gael arbed costau.

Argymhellwn y dylid manteisio ar gyfleoedd posibl i gyflwyno'r buddsoddiad dros amser, yn hytrach na gweithredu cynllun cadarn (rhagofalus) o'r cychwyn. Dylai hyn ddarparu cynllun mwy ymatebol i addasu ar gyfer newidiadau mewn gwybodaeth am newid yn yr hinsawdd yn y dyfodol, ac felly bydd yn fwy cost-ffeithiol.

Gellir nodi nifer o opsiynau amodol a'r cyfan ohonynt yn berthnasol, e.e. 'os yw X yn digwydd erbyn dyddiad Y, yna gwnewch Z'. Mae hyn yn gofyn am nodi 'sbardunau' i ddangos pan fo rhaid gwneud penderfyniad i roi'r cam ar waith. Bydd angen gallu adnabod y lefelau 'sbarduno' hynny a'u monitro.

Mae yna nifer o bethau i'w hystyried wrth benderfynu a ddylid rhoi cam ar waith yn syth neu aros nes bod mwy o dystiolaeth ar gael:

- A yw'r perygl cyfredol yn annerbyniol?
- A allai unrhyw oedi olygu na fyddai modd gwrthdroi effeithiau neu gyfyngu ar hyblygrwydd i ymdopi â newid yn yr hinsawdd yn y dyfodol?
- A oes cyfleoedd i gynnwys mesurau ymaddasu mewn gweithgareddau cynnal a chadw neu adfywio a gynlluniwyd?
- A oes cyfleoedd i weithredu mesurau ymaddasu a fydd yn fanteisiol yn syth neu'n sicrhau manteision niferus neu sy'n isel o ran cost?

Gall ymaddasu i newid yn yr hinsawdd mewn un lleoliad effeithio ar berygl llifogydd neu erydu arfordirol mewn man arall, a gallu eraill i ymaddasu, yn awr neu yn y dyfodol. Dylid ystyried hyn wrth ddatblygu opsiynau ac yn y cynllun gweithredu dilynol. Dylid osgoi effeithiau negyddol dilynol ar drydydd partion. Dylid darparu gwaith ymaddasu i newid yn yr hinsawdd yn gyson o fewn dalgylch neu gell arfordirol.

e. Monitro, gwerthuso ac adolygu

Mae ymaddasu yn broses ailadroddus o gynllunio, gweithredu ac adolygu. Bydd hi'n bwysig monitro, gwerthuso a chynnal adolygiad cyfnodol o berfformiad ymaddasu o fewn penderfyniadau FCERM.

Fel rheol, mae penderfyniadau FCERM yn para am gyfnod hir. I gefnogi gweithrediad yr opsiwn dewisol dylid sicrhau cofnod o gamau gweithredu a rhagdybiaethau am oes y cynllun a dylai'r holl wybodaeth fod yn glir ac ar gael i genedlaethau'r dyfodol. Yn y dyfodol, os yw'r hinsawdd yn wahanol i'r hyn a ragwelwyd, dylid gwybod yn glir sut mae angen newid amseriad, ffurf a graddau'r ymyriadau diweddarach a sut y bydd hyn yn cael ei fonitro a'i werthuso gan ddefnyddio'r sbardunau a nodwyd yng nghamau c a d uchod.

Cysylltiadau â Chanllawiau Arfarnu FCERM

Caiff y canllawiau hyn eu darparu fel gwybodaeth atodol i Ganllawiau Arfarnu Rheoli Perygl Llifogydd ac Erydu Arfordirol Asiantaeth yr Amgylchedd (FCERM-AG) a Chanllawiau Arfarnu Prosiect Amddiffyn rhag Llifogydd ac Amddiffyn yr Arfordir (FCDPAG). Mae'r canllawiau'n disodli Nodyn Atodol Defra i Awdurdodau Gweithredu – Effeithiau Newid yn yr Hinsawdd, Hydref 2006.

Mae'r egwyddorion a nodwyd yng nghanllawiau arfarnu FCERM a chanllawiau arfarnu FCDPAG ynghylch ansicrwydd, dulliau rheoli y gellir eu haddasu, hyblygrwydd wrth gynllunio a dadansoddi sensitifrwydd yn berthnasol iawn ar gyfer ymaddasu i newid yn yr hinsawdd. Mae'r canllawiau hyn yn hyrwyddo'r egwyddorion hyn ymhellach, gan nodi dull ychwanegol ar gyfer datblygu mesurau a fydd yn llwyddiannus o ystyried risgiau'r dyfodol a'r ansicrwydd ynghylch maint y newid.

Atodiad 3 Gwybodaeth Wyddonol Ategol

Mae'r Atodiad hwn yn darparu gwybodaeth gefndir i ddatblygiad y newidiadau a geir yn Atodiad 1. Mae hefyd yn darparu dolenni cyswllt i ffynonellau eraill o wybodaeth berthnasol.

Amcanestyniadau o gynnydd yn lefel y môr

Mae [pennod amcanestyniadau morol ac arfordirol](#) UKCP09 yn cynnwys gwybodaeth am newid rhagamcanol i'r amgylchedd morol. Mae [Cerdyn Adroddiad Blynnyddol 2010/11](#) Rhaglen Effeithiau Newid Hinsawdd ar y Môr yn rhoi diweddariad ar y ddealltwriaeth wyddonol o effeithiau newid hinsawdd ar foroedd o amgylch y DU.

Tabl 7 Crynodeb o'r canfyddiadau ymchwil diweddaraf ar gynnydd yn lefel y môr yn y DU

Tueddiadau cyfredol	Amcanestyniadau'r dyfodol
Mae lefel y môr yn fyd-eang wedi cynyddu ar gyfradd gymedrig o 1.8mm y flwyddyn ers 1955. O 1992 ymlaen, gwelwyd cyfradd gymedrig uwch o 3mm y flwyddyn.	Mae cynnydd o lai na 1m yn lefel y môr yn fyd-eang yn dal i gael ei ystyried yn fwy tebygol na chynnydd o dros 1m erbyn diwedd y ganrif.
Mae'r cynnydd yn lefel y môr a fesurir dros y DU yn gyson â'r cymedr byd-eang.	Mae amcanestyniadau o newid gan UKCP09 ar gyfer y DU yn awgrymu cynnydd o rhwng 12 a 76cm erbyn 2095, o gymharu â llinell sylfaen 1980-1999, heb gynnwys symudiad fertigol yn y tir. Mae hyn yn cyfateb yn fras i gyfraddau o rhwng 1.2 a 7.6 mm y flwyddyn yn eu trefn. Wrth ystyried symudiadau tebygol yn y tir, mae mwy o gynnydd yn debygol o ddigwydd yn rhanbarthau deheuol y DU o gymharu â'r gogledd. Pe bai llenni iâ yr Antartig a Greenland yn toddi'n gynt gallai lefel y môr godi'n uwch nag amcanestyniadau UKCP09 uchod. Er na ellir rhagweld pa mor gyflym y bydd hyn yn digwydd eto, mae amcangyfrifon o'i lefel uchaf tebygol yn seiliedig ar arsylwadau'r gorffennol a'r cyfyngiadau posibl ar ddeinameg llenni iâ wedi'u darparu yn UKCP09 fel senario H++ yn amrywio o 93cm i 1.9m drwy'r byd erbyn 2100.

Mae amcanestyniadau cynnydd yn lefel y môr UKCP09 yn seiliedig ar bedwerydd adroddiad asesuⁱ yr IPCC, a gyhoeddwyd yn 2007.

Credir bod cryn gytundeb ynglŷn â rhai elfennau o gynnydd yn lefel y môr yn y dyfodol, fel cyfraniad ehangu thermol y cefnforoedd. Fodd bynnag, nid yw'n hysbys pa mor sefydlog yw llenni iâ Greenland a'r Antartig a'u cyfraniad at gynnydd yn lefel y môr trwy lif allfeydd y rhewlifau a'r ffrydiau rhew sy'n draenio'r llenni iâ hynⁱⁱ. Mae nifer o brosesau'n cyfrannu at gyfradd y llif, ond ni ellir modelu'r prosesau hyn yn briodol eto. Mae arsylwadau'n awgrymu eu bod wedi cyfrannu 0 – 0.7mm/flwyddyn at gynnydd yn

lefel y môr yn ystod y cyfnod o 1993 i 2003. Mae'r amcanestyniadau yn y pedwerydd adroddiad asesu'n rhagdybio y bydd y cyfraniad hwn (1993-2003) yn parhau'n gyson nes diwedd y ganrif hon. Mae nifer o awduron wedi awgrymu bod y dull hwn yn tanamcangyfrif maint posibl y cynnydd yn lefel y môr yn ystod yr ugeinfed ganrifⁱⁱⁱ.

Dengys arsylwadau, o loerennau yn bennaf, fod y ddwy len yn lleihau mewn maint^{iv}. Cyflymodd y gyfradd colli iâ, yn arbennig ers 2003, yn sgil y llif cynyddol o nifer o allfeydd rhewlifau ar Greenland a'r ffrydiau iâ yn Llen Iâ Gorllewin yr Antartig. Gall y cyflymiad diweddar hwn gael ei briodoli'n rhannol i amrywioldeb naturiol, ac efallai na fydd yn parhau^v. Dengys arsylwadau fod nifer o allfeydd y rhewlifau a oedd wedi cyflymu wedi dechrau arafu erbyn hyn. Bydd gwaith ymchwil parhaus o dan raglen ICE2SEA^{vi} yn gwella amcanestyniadau o gyfraniad iâ at gynnydd yn lefel y môr yn y dyfodol. Efallai y bydd rhai o'r canlyniadau hyn ar gael ar gyfer pumed adroddiad asesu'r IPCC yn 2013.

Mae'n werth nodi hefyd nad yw'r modelau a ddefnyddiwyd ar gyfer amcanestyniadau o gynnydd yn lefel y môr ym mhedwerydd adroddiad asesu'r IPCC yn cynnwys ansicrwydd ynghylch adborth ar y cylch hinsawdd-carbon ac felly nad ydynt yn cwmparu'r ystod lawn o'r newid rhagamcanol mewn tymheredd cymedrig byd-eang gan leihau'r amcangyfrifon uchaf ac isaf posibl o gynnydd yn lefel y môr.

Mae nifer o bapurau wedi rhoi sylwadau ar yr amcanestyniadau o gynnydd yn lefel y môr ym mhedwerydd adroddiad asesu'r IPCC ac mae rhai wedi ceisio llunio amcangyfrif gwell o gynnydd drwy'r ganrif^{vii}. Ymdriniwyd â hyn mewn nifer o ffyrdd gwahanol. Mae rhai wedi defnyddio dull lled-empirig^{viii}, eraill wedi ystyried cyfraniad terfynol cyflymderau llif rhewlifau gwahanol^{ix}, eraill wedi ystyried cofnodion procsi o'r cyfnod rhyngrewlifol diwethaf^x, ac eraill wedi defnyddio barn arbenigol^{xi}.

Yn yr Iseldiroedd, defnyddiwyd barn arbenigol i lunio senarios cynnydd yn lefel y môr ar gyfer rheoli arfordirol. Daethpwyd i'r casgliad fod senarios posibl o gynnydd byd-eang yn lefel y môr yn 0.55m i 1.1m yn 2100. Cyflwynodd adroddiad morol UKCP09 ymchwil arall a gyhoeddwyd gan Pfeffer et al, 2008^{xii} i amlygu'r perygl o gynnydd llawer mwy yn lefel y môr o gymharu ag adroddiad yr IPCC. Daeth Pfeffer i'r casgliad na ellir anwybyddu'r posibilrwydd o 2m o gynnydd yn lefel y môr yn y DU yn yr unfed ganrif ar hugain ond bod cynnydd o 0.8m yn fwy tebygol.

O ystyried yr ymchwil ers pedwerydd adroddiad asesu'r IPCC, gellir gweld bod yna ansicrwydd sylweddol o hyd ynghylch yr amcanestyniadau am gynnydd yn lefel y môr. Mae hyn yn awgrymu bod angen i reolwyr arfordirol gadw nifer o opsiynau ymaddasu y gellir eu newid pan fo mwy o hyder yn yr amcanestyniadau. Mae hefyd yn arwain at yr argymhelliad yn Atodiad 1 i ddefnyddio senario pen uchaf yr allyriadau canol o UKCP09 fel y ffactor newid, yn enwedig pan nad yw rheolwyr arfordirol yn gallu defnyddio dull ymaddasu a reolir.

Mae lefelau tir yn newid ledled y DU oherwydd bod cramen y ddaear yn addasu i'r llenni iâ yn toddi ar ddiwedd yr oes iâ ddiwethaf. Mae cryn gytundeb ynglŷn â thueddiadau'r symudiadau fertigol hyn yn y tir a disgwylir iddynt barhau'n gyson dros yr 21ain ganrif^{xiii}. Bydd angen darparu ar gyfer newidiadau yn lefel y tir yn ogystal â'r newid yn yr hinsawdd wrth gynllunio cynlluniau ac mae hyn wedi'i gynnwys yn y wybodaeth am gynnydd cymharol yn lefel y môr yn nhabl 5 Atodiad 1. Nid yw'r amcangyfrif uwch a'r amcangyfrifon H++ yn cynnwys elfen symudiad tir gan nad yw'r rhain i'w cael yn UKCP09.

Amcanestyniadau o hyrddiadau stormydd a hinsawdd tonnau

Tabl 8 Crynodeb o'r canfyddiadau ymchwil diweddaraf ar newidiadau mewn hyrddiadau stormydd a hinsawdd tonnau yn y DU

Tueddiadau cyfredol	Amcanestyniadau'r dyfodol
Mae yna amrywioldeb naturiol sylweddol mewn hinsawdd tonnau ac mae rôl dylanwad pobl yn aneglur.	Ni cheir consensws ar hinsawdd stormydd a thonau'r dyfodol yng ngogledd-orllewin Ewrop gan fod ymddygiad llwybr stormydd rhagamcanol y gwahanol fodelau atmosfferig yn amrywio.
Cafwyd cynnydd yn uchder misol cymedrig ac uchaf tonnau yn ardal ogledd-ddwyreiniol y Môr Iwerydd rhwng 1960 ac 1990. Fodd bynnag, gall y cynnydd hwn mewn uchder tonnau fod yn rhan o amrywioldeb naturiol hirdymor. Ni chafwyd patrwm clir ers 1990.	Mae amcanestyniadau o ymddygiad stormydd a ddefnyddir gan fodel tonnau UKCP09 yn dangos bod llwybrau stormydd yn symud tua'r de, gan arwain at donau is yng ngogledd y DU a thonau ychydig yn fwy mewn rhai rhanbarthau deheuol, yn enwedig y de-orllewin.
Nid oes tystiolaeth arwyddocaol i gefnogi unrhyw duedd a welwyd yn ddiweddar o ran amllder neu faint hyrddiadau stormydd.	Mae'n ymddangos bod newidiadau i lefelau dŵr eithafol a achosir gan hyrddiadau stormydd yn llai pwysig na newidiadau i lefel cymedrig y môr yn fyd-eang dros y 100 mlynedd nesaf.

Rhagwelir mai cynnydd yn lefel y môr fydd y prif berygl ar yr arfordir yn hytrach na newidiadau i ddwyster hyrddiadau stormydd, er nad oes consensws ar hinsawdd stormydd a thonau'r dyfodol yng ngogledd-orllewin Ewrop.

Amcanestyniadau o newid i lifau llifogydd afonydd

Gwelwyd tueddiadau cadarnhaol arwyddocaol ym mhob dangosydd llifau uchel dros y 30-40 mlynedd cyn 2003, yn bennaf mewn dalgylchoedd ucheldir o dan ddylanwad y môr yng ngogledd a gorllewin y DU. Ond prin yw'r dystiolaeth ddilys ynglŷn â thueddiadau llifau uchel yn afonydd yr iseldir. P[rin yw'r dystiolaeth ddilys o gofnodion llifau afonydd tymor hir (>55 mlynedd) ac maent yn dangos tystiolaeth o amrywiadau aml-ddegawd amlwg. Credir bod tueddiadau'n gysylltiedig â newidiadau mewn dyodiad y gaeaf sy'n deillio o newidiadau mewn patrymau cylchrediad atmosfferig (Osciliad Gogledd Iwerydd). Nid yw'n eglur a yw hyn yn amrywioldeb naturiol neu'n ganlyniad i newid yn yr hinsawdd^{xiv}.

Mae Defra ac Asiantaeth yr Amgylchedd wedi ariannu [gwaith ymchwil sylweddol i ystyried newidiadau i lifau llifogydd afonydd yn y dyfodol](#) yng Nghymru a Lloegr.

Dyma'r canfyddiadau'n gryno:

- Dengys canlyniadau 2080au ar gyfer y dalgylchoedd enghreifftiol (155 i gyd) yn nodyn atodol Defra, 2006, nad yw'r lwfans o 20% bellach yn cwmparu'r mwyafrif o newidiadau yn lifau llifogydd dalgylchoedd gan ddefnyddio amcanestyniadau UKCP09. Mae'r canllawiau, felly, yn tanamcangyfrif y newidiadau i lifau llifogydd y dyfodol mewn nifer sylweddol o ddalgylchoedd a brofwyd gyda modelau UKCP09 a modelau hinsawdd eraill.

- Mae hyn yn herio i ba raddau mae canllawiau Defra 2006 yn darparu ffactorau rhagofalus ar gyfer llifau afonydd.
- Dangosodd 15% o ddalgylchoedd enghreifftiol newidiadau o fwy na 30% yn yr amcangyfrif canolog o lifau afonydd yn 2080 gan ddefnyddio amcanestyniadau UKCP09.
- Mae ein hymchwil yn dangos yn gryf bod ymateb dalgylchoedd i newid yn yr hinsawdd yn dibynnu ar nodweddion y dalgylchoedd. Mae hyn yn awgrymu y gall un ffactor cenedlaethol ar newid yn yr hinsawdd fod yn amhriodol ac y dylid datblygu darpariaethau mwy 'rhanbarthol', yn seiliedig ar y math o ddalgylchoedd.
- Rydym mewn gwell sefyllfa erbyn hyn i ddeall sut mae nodweddion dalgylchoedd gwahanol yn dylanwadu ar newidiadau i lifau afonydd yn sgil newid yn yr hinsawdd, gan alluogi amcanestyniadau newid rhanbarthol, o bosibl, yn ôl math o ddalgylch a lleoliad. Roedd hyn yn allweddol ac arweiniodd at y penderfyniad i ddarparu ffactorau rhanbarthol yn y canllawiau.
- Rydym wedi datblygu techneg ar gyfer penderfynu ar ymateb dalgylchoedd i newid yn yr hinsawdd yn holl rwydwaith afonydd Cymru a Lloegr.
- Nid yw modelau UKCP09 yn cynrychioli glawiad lleol, darfudol. Felly mae yna lawer o ansicrwydd a yw'r dull hwn yn bwysig fel newidiadau yn llifau afonydd dalgylchoedd bach sy'n ymateb yn gyflym – dalgylchoedd trefol iawn neu ddalgylchoedd gwledig byr serth.

Roedd y gwaith ymchwil hwn yn sail i'r ffactorau newid a ddarparwyd yn Atodiad 1 ynghyd â'r fethodoleg i benderfynu ar fath o ddalgylch.

Amcanestyniadau o newid mewn glawiad eithafol

Cafwyd lefelau cynyddol sylweddol o ddyodiad dros ogledd Ewrop (ardal sy'n cynnwys y DU) rhwng 1990 a 2005. Mae hyn wedi bod yn fwyaf nodedig ers tua 1979. Mae'r newidiadau hyn yn debygol o ddeillio o weithgarwch dynol.^{xv} Cafwyd cyfnodau amlach o dywydd gwlyb iawn a chynnydd mewn dyodiad, o leiaf yn ystod y 40 mlynedd diwethaf. Dros y 100 mlynedd diwethaf mae dwysedd dyodiad y DU wedi cynyddu yn ystod y gaeaf ac i raddau llai yn ystod y gwanwyn a'r hydref hefyd. Mae pob rhanbarth yn y DU wedi gweld cynnydd dros y 45 mlynedd diwethaf yng nghyfraniad digwyddiadau dyodiad trwm at lawiad y gaeaf^{xvi}.

- Nid yw UKCP09 yn darparu dealltwriaeth lawn o'r newidiadau i lawiad darfudol, eithriadol ar y raddfa sydd ei hangen i reoli llifogydd dŵr wyneb
- Awgrymodd ymchwil gan y Swyddfa Dywydd^{xvii} ar gyfer Adolygiad Pitt yn 2008 y gallai'r digwyddiad glawiad 1 mewn 20 blwyddyn gynyddu hyd at 40% ar y raddfa leol
- Gall hyn olygu bod canllawiau Defra 2006 (+20% ar gyfer y 2080au) fod yn tangynrychioli newidiadau i lawiad eithafol yn rhai o ranbarthau Cymru a Lloegr
- Nid yw pecyn cymorth UKCP09 yn galluogi i asesuadau risg llifogydd gael eu cynnal ar gyfer digwyddiadau glawiad tebygolrwydd isel sydd â thebygolrwydd blynyddol o lai na 1 mewn 5 blwyddyn heb ganllawiau ychwanegol

- Defnyddiwyd ymchwil y Swyddfa Dywydd ar gyfer adolygiad Pitt fel y sail ar gyfer y rhifau a geir yn Atodiad 1.

Ymholiadau pellach: bill.donovan@environment-agency.gov.uk

Cyfeiriadau:

- i. IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis (gol Solomon, S. et al.) 356–369, 408–420, 812–822 (Cambridge University Press, Caergrawnt, y DU ac Efrog Newydd. 2007).http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- ii. A sea of uncertainty, Nature Reports, Climate Change, cyfrol 4 Ebrill 2010, J Lowe a J Gregory
- iii. Sea level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 degree C world' in the twenty-first century, Nicholls et al, 2011
- iv. Increasing rates of ice mass loss from the Greenland and Antarctic ice sheets revealed by GRACE, Isabella Velicogna. Geophysical Review Letters, Cyfrol 36, 2009
- v. Nature Reports, Climate Change, cyfrol 4 Ebrill 2010, J Lowe a J Gregory
- vi. <http://www.ice2sea.eu/>
- vii. Sea level rise and its possible impacts given a 'beyond 4 degree C world' in the twenty-first century, Nicholls et al, 2011
- viii. Vermeer, M. & Rahmstorf, S. Proc. Natl Acad. Sci USA 106, 21527–21532 (2009)
- iv. Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. Science 321, 1340–1343, 2008.
- x. Rohling, E. J. et al. Nature Geosci. 1 38–42 (2007).
- xi. Vellinga, P. et al. 2008 Exploring high-end climate change scenarios for flood protection of The Netherlands. International Scientific Assessment carried out at request of the Delta Committee. Scientific report WR-2009-05. KNMI, Alterra, The Netherlands. See <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubWR/WR2009-05.pdf>.
- xii. Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. Science 321, 1340–1343, 2008
- xiii. UKCP09 marine report, <http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/content/view/1969/500/>
- xiv. Hannaford, Jamie; Marsh, Terry J.. 2008 High-flow and flood trends in a network of undisturbed catchments in the UK. International Journal of Climatology, 28 (10). 1325-1338. 10.1002/joc.1643
- xv. Zhang, X., F. W. Zwiers, G. C. Hegerl, F. G. Lambert, N. P. Gillett, S. Solomon, P. A. Stott, a T. Nozawa (2007), Detection of human influence on twentieth-century precipitation trends, Nature, 448, 461– 465, doi:10.1038/nature06025
- xvi. Changing intensity of rainfall over Britain, Tim Osborn and Douglas Maraun, Climatic Research Unit Information Sheet no. 15
- xvii. Met Office, The extreme rainfall of Summer 2007 and future extreme rainfall in a changing climate. S J Brown, M Beswick, E Buonomo, R Clark, D Fereday, D Hollis, R G Jones, E J Kennett, M Perry, J Prior a A A Scaife.
