

Yr Athro Ben Barr

Codi pontydd Cymru

GWERDDON

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Cyfrol I, Rhif 3, Mai 2008 • ISSN 1741-4261

Codi pontydd Cymru

Yr Athro Ben Barr

Rhagymadrodd

Does dim olion o bontydd sy'n mynd yn ôl i'r cyfnod cyn-hanes yng Nghymru, fel y gwelir yn Post Bridge yn Nyfnaint a manau eraill yn Ne-Orllewin Lloegr. Hefyd, dim ond ychydig o bontydd a adeiladwyd yng Nghymru yn ystod yr Oesoedd Canol. Yn y cyfnod hwn doedd dim galw am bontydd oherwydd bod bron dim trafndiaeth, ar wahân i drafnidiaeth leol.

Gellir rhannu'r datblygiad o godi pontydd yng Nghymru i dri chfnod arbennig. Ar ôl ymadawiad y Rhufeiniaid ac i fyny tuag at yr Oesoedd Canol, dim ond ychydig o bontydd a adeiladwyd, gan ddefnyddio'r un ddull o adeiladu â'r Rhufeiniaid, sef bwa o gerrig. Defnyddiau naturiol lleol, e.e., cerrig a choed, a ddefnyddiai'r Rhufeiniaid i adeiladu. Mae llawer o'u pontydd cerrig yn dal i sefyll ar y cyfandir ond ym Mhrydain does dim o'u hôl erbyn heddiw. Daeth tro ar fyd tua diwedd yr ail ganrif ar bymtheg pan adeiladwyd nifer o bontydd sylweddol dros afonydd Cymru. Parhawyd i adeiladu pontydd cyffelyb yn ystod yr hanner cyntaf o'r ddeunawfed ganrif.

Mae'r ail gyfnod o godi pontydd, ar raddfa eang, yn gysylltiedig â'r Chwyldro Diwydiannol, a gychwynnodd ynghanol y ddeunawfed ganrif. Yn ystod y cyfnod hwnnw o weithgarwch mawr, roedd angen llawer o bontydd ar y ffyrdd, ar y camlesi ac, yn ddiweddarach, ar y rheilffyrdd. Yn ystod yr amser hyn, fe ddatblygwyd llawer o ddefnyddiau newydd a oedd yn addas i adeiladu pontydd, ac, ar yr un pryd, fe ddechreuwyd archwilio nerth a chryfder y defnyddiau hyn.

Mae'r trydydd cyfnod o godi pontydd yn gysylltiedig â'r cynnydd yn nhrafndiaeth a datblygiad y traffyrdd yn y ganrif ddiwethaf. Ni ddechreuodd y cyfnod hwn ym Mhrydain tan ryw ddeng mlynedd ar hugain ar ôl yr Eidal a'r Almaen. Erbyn yr Ail Ryfel Byd, roedd dros fil o filltiroedd o draffyrdd yn yr Almaen ond ni agorwyd y draffordd gyntaf ym Mhrydain tan y pum degau. Y prif ddefnyddiau yn y cyfnod hwnnw oedd concrit a dur.

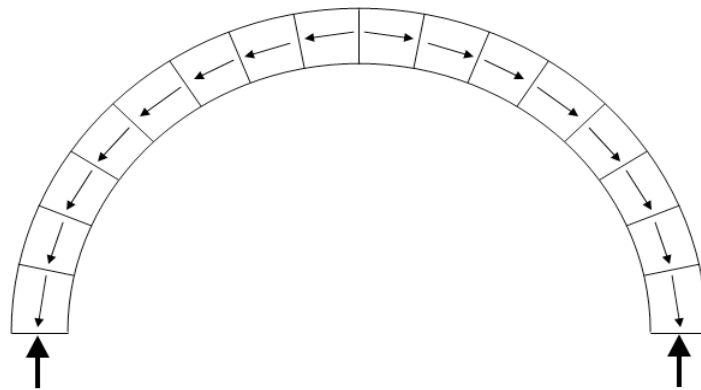
Mae'r erthygl hon yn seiliedig ar y brif ddarlith wyddonol a draddodwyd yn Eisteddfod Genedlaethol Casnewydd a'r Cylch yn 2004.¹ Roedd y cyfraniad i'r Eisteddfod yn canolbwyntio ar olrhain hanes datblygiad pontydd Cymru ac fe ddangoswyd rhai o'r datblygiadau trwy wneud nifer o arbrofion syml. Prif bwmpas yr erthygl hon yw egluro sut mae gwahanol bontydd yn gweithio ac yn arbennig y cyfraniad a wnaed i'n deallwriaeth o Beirianeg Pontydd wrth adeiladu pontydd Cymru dros y canrifoedd.

¹ Barr, B., 'Pontydd Cymru', Y Brif Ddarlith Wyddonol, Eisteddfod Genedlaethol Casnewydd a'r Cylch, Awst 2004.

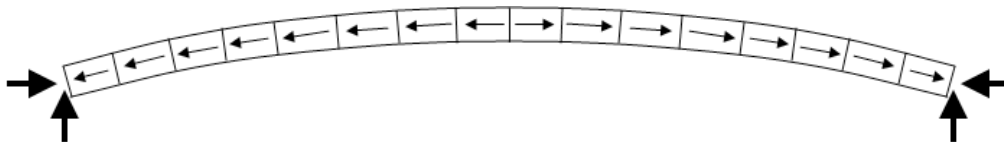
Defnyddiau a Siâp Pontydd

Yn y gwraidd, mae cynllunio pontydd yn gyfuniad o ddewis y strwythur gorau a hefyd o ddewis y defnydd addas. Felly mae'r datblygiadau yn hanes codi pontydd yn seiliedig yn rhannol ar ddefnyddio defnyddiau newydd ac yn rhannol ar ddatblygiadau mewn siâp neu strwythur. Mae'r cyfuniad hwn o strwythur a defnydd i'w weld yn 'hafaliad' y peiriannydd, sef: Siâp cywir + Defnydd addas = Pont berffaith.

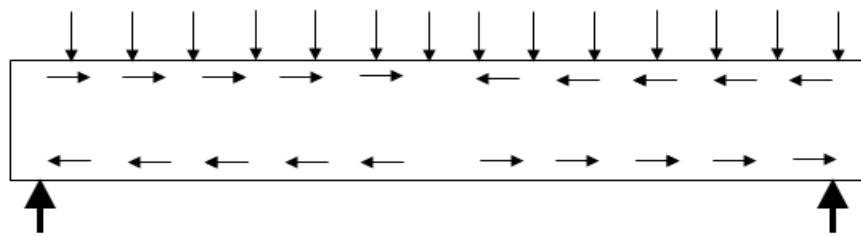
Fel y dywedwyd eisoes, mae modd rhannu'r datblygiad o godi pontydd yng Nghymru i dri chyfnod. Yn y cyfnod cyntaf, fe adeiladwyd pontydd o ddefnyddiau lleol gan grefftwy'r lleol. Yn yr ail gyfnod, gwelwyd haearn bwrw a haearn gyr yn cael eu defnyddio'n helaeth, yn enwedig gyda'r rheilffyrdd. Yn ddiweddarach yn yr ail gyfnod daeth dur yn fwy poblogaidd i adeiladu pontydd. Y ddau brif ddefnydd yn y trydydd cyfnod oedd dur a concrit. Yn ystod hanner cyntaf y ganrif ddiwethaf, defnyddiwyd concrit dur (reinforced concrete) tra, ar ôl yr Ail Ryfel Byd, defnyddiwyd mwy a mwy o concrit dan bwysau gwifrau dur (pre-stressed concrete). Mae'r datblygiadau mewn defnyddiau wedi eu crynhoi yn arwynebol yn Tabl 1, sy'n dangos sut mae cryfder defnyddiau adeiladu wedi gwella dros amser. Mae Tabl 1 hefyd yn cyfeirio at y tri math sylfaenol o bont – pontydd bwa, pontydd trawst a phontydd crog. Mae'r tri math yma i'w gweld yn Ffigwr 1.



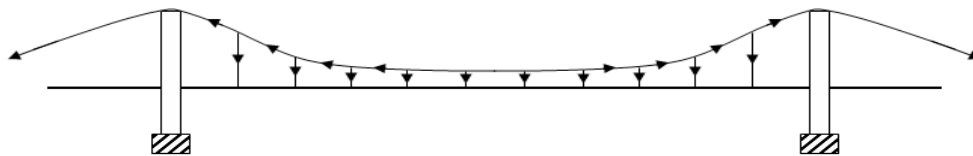
(a) bwa: hanner cylch



(b) bwa: rhan o cylch



(c) trawst cywasgedd tyndra



(ch) pont grog

Ffigwr 1: Gwahanol fathau o bontydd

Mae Ffigwr 1(a) yn dangos bwa hanner cylch a ddatblygwyd gan y Rhufeiniaid. Yn y math hwn o fwa, mae pwysau'r bwa sy'n cynnal y bont yn disgyn yn unionsyth ar y sylfeini ac yn y math hwn o adeiladu does dim angen grym llorwedd (o'r ochr) i gynnal y bont. Mae Ffigwr 1(b) yn dangos bwa sydd yn rhan o gylch (neu mewn siâp parabola ac ati) ac mae hi'n amlwg yn y sefyllfa hon ei bod hi'n angenrheidiol datblygu grym llorwedd yn y pentyrrau, yn ogystal â grym unionsyth, er mwyn cynnal y bont. Gyda phob bwa, o unrhyw siâp, mae hi'n hanfodol bwysig bod y bwa cerrig sy'n cynnal y bont o dan gywasgedd. Mae Ffigwr 1(c) yn dangos trawst syml sydd yn gwrthsefyll pwysau wrth blygu gan ddatblygu cywasgedd a thyndra yn y trawst. Yn olaf, mae Ffigwr 1(ch) yn dangos yr elfennau sylfaenol sy'n perthyn i bont grog lle mae pwysau'r bont yn cael ei drosglwyddo gan raffau i'r prif gadwyni sydd o dan dyndra.

Cyfnod	Dull o Adeiladu	Defnyddiau	Cryfder (N/mm ²)
Oesoedd Canol tan 1750	Bwa cerrig	Cerrig	20–200
	Trawst syml	Coed	20–40
Chwyldro Diwydiannol 1750 - 1950	Trawst	Haearn bwrw	70–40
	Tiwb	Haearn gyr	100–300
	Trws	Dur	250–400
Oes y Traffyrdd 1950 - Heddiw	Trawst	Concrit	20–120
		Dur	500–700
	Pontydd Crog	Gwifrau dur	2000–3000

Tabl 1: Crynodeb o ddulliau adeiladu a chryfder y defnyddiau, dros amser

Pontydd Cynnar Cymru

Y prif reswm am yr ychydig o bontydd a adeiladwyd yng Nghymru yn ystod yr Oesoedd Canol oedd absenoldeb system o adeiladu a chynnal ffyrdd. Un o'r ychydig bontydd hynafol hyn yw Pont Llangollen, sydd wedi ei lledu a'i hadnewyddu yn ystod cynnal a chadw cyson. Ceir disgrifiad o Bont Llangollen yn llyfr adnabyddus Jervoise, ar Bontydd Hynafol Cymru. Ysgrifenna fod gan Bont Llangollen, "four arches, pointed in shape with chamfered arch-rings in two orders, and they have been widened on the upstream side by about 10ft. The width between the parapets is now 20ft, and over the cut-waters triangular recesses are provided."² Mae'r disgrifiad hwn yn nodweddiadol o bontydd cerrig cynnar Cymru, e.e. Bangor Is-coed (Llun 1) a Phont Spwdwr (Llun 2). Yn aml iawn mae'r lledu y cyfeiriwyd ato gan Jervoise wedi ei wneud mor grefftus a gofalus fel mae'n anodd penderfynu pa ran o'r bont yw'r un wreiddiol, e.e. Pont Corwen. Dwy bont ddiddorol ac adnabyddus a adeiladwyd yn ystod yr ail ganrif ar bymtheg yw Pont Llanrwst, a adeiladwyd ym 1636, a Phont Cysylltau, a adeiladwyd ym 1697.

Afon	Pont	Dyddiad	Hyd (metr)	Sawl bwa	Hyd un bwa (metr)
Dyfrdwy	Corwen	1704	98.0	7	14.0
	Cysylltau	1697	48.5	3	16.2
	Bangor Is-coed	Ansicr	69.5	5	13.9
Conwy	Llanrwst	1636	55.8	3	18.6
Teifi	Llechryd	1656	52.1	6	8.7
	Aberteifi	Ansicr	78.6	6	13.1
Cleddau	Hwlfordd	1726	34.7	4	8.7
Gwendraeth	Spwdwr	Ansicr	64.9	6	10.8
Wysg	Crughywel	Ansicr	128.0	13	9.8
Gwy	Llanfair ym Muallt	1779	91.4	6	15.2

Tabl 2: Ystadegau am rai o bontydd cynnar Cymru (yn ôl Jervoise³)

Mae pontydd cynnar wedi eu codi ar draws y rhan fwyaf o brif afonydd Cymru ac mae Tabl 2 yn crynhoi rhai o ystadegau rhychwant pob bwa sy'n gynwysiedig ynddynt hwy. Mae'n ddiddorol nodi'r dull o adeiladu yn y cyfnod hwn. Er bod sawl un o'r pontydd yn Tabl 2 yn bontydd hir, mae rhychwant pob bwa unigol ar gyfartaledd o gwmpas 20 metr neu lai.

² Jervoise, E. (1936), *The Ancient Bridges of Wales and Western England* (Rhydychen, Elsevier), t. 17.

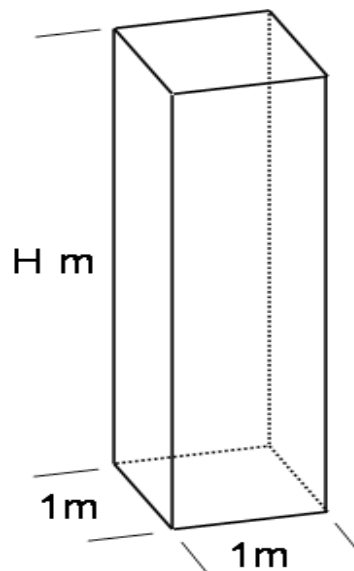
³ Mae Tabl 2 wedi ei roi at ei gilydd gan ddefnyddio deunydd o sawl rhan o lyfr Jervoise. Felly ni roir cyfeiriad tudalen.

Fel y crybwyllwyd ynghynt, y Rhufeiniaid a ddatblygodd y grefft o adeiladu bwa o gerrig, fel y dengys Ffigwr 1(a). Wrth ddefnyddio'r siâp hwn, mae'r pwysau yn dod i lawr yn unionsyth ar y sylfeini a does dim angen datblygu grym llorweddol i gynnal pont o'r math hwn. Mae cryfder pont fel hon yn dibynnu ar gryfder y sylfeini. Os yw'r sylfeini'n gadarn yna mae'r bont yn gadarn. Dyma'r rheswm am adeiladu sylfeini ar graig os yn bosib e.e. Pont Cenarth. O bryd i'w gilydd, ni cheir craig yn gyfleus i gynnal y bont, ac yna mae'n rhaid datblygu sylfeini cadarn yn yr afon. Yn anffodus, y sylfeini hyn sydd wedi bod yn gyfrifol am ddymchwel sawl pont, ar hyd y canrifoedd, yn ystod llifogydd.

Mae cryfder aruthrol mewn pont bwa o gerrig sydd â sylfeini cadarn. Y peth pwysicaf yw bod y bwa sy'n cynnal y bont yn wastadol o dan gywasgedd. Does dim byd yn newydd yn y syniad hwn am gryfder cerrig neu briddfeini o dan gywasgedd parhaol, oherwydd dyma'r syniad y tu ôl i'r gallu i adeiladu tŵr Babel, y cyfeiriwyd ato yn Llyfr Genesis fel â ganlyn:

Wrth ymdeithio yn y dwyrain, cafodd y bobl wastadedd yng ngwlad Sinar a thrigo yno. A dywedasant wrth ei gilydd, 'Dewch, gwnawn briddfeini a'u crasu'n galed.' Priddfeini oedd ganddynt yn lle cerrig, a phyg yn lle calch. Yna dywedasant, 'Dewch, adeiladwn i ni ddinas, a thŵr a'i ben yn y nefoedd, a gwnawn inni enw, rhag ein gwasgaru dros wyneb yr holl ddaear.'⁴

Mae'n ddiddorol dychmygu faint o uchder y gallai tŵr o'r math hwn fod wedi bod. Mae Ffigwr 2 yn dangos tŵr, ag arwynebedd o 1 metr x 1 metr ar draws, ac uchder o H metr. Mae'n rhaid dychmygu tŵr ar sylfeini cadarn, sydd yn hollol unionsyth yn yr awyr. Mae'r mathemateg yn syml wrth ddychmygu carreg â chryfder o 25N/mm², sydd yn pwysu 25 kN/m³ (gweler Tabl 1):



Ffigwr 2: Tŵr 1 metr x 1 ar draws, ag uchder o H metr

⁴ Y Beibl Cymraeg Newydd (2004), Argraffiad diwygiedig (Cymdeithas y Beibl), Llyfr Genesis, Pennod 11, Adnodau 2-4.

$$\begin{aligned}\text{Pwysau'r tŵr ar y sylfeini} &= 25 \times H \text{ kN} \\ &= 25000 \times H \text{ N}\end{aligned}$$

$$\text{Cryfder y tŵr} = 25 \text{ N/mm}^2 \times \text{arwynebedd} = 25,000,000 \text{ N}$$

Pan mae pwysau'r tŵr yn cyfateb â chryfder y tŵr, ceir uchder y tŵr, H metr:

$$\begin{aligned}\text{Felly, } H &= 25,000,000 \div 25,000 \\ &= 1000\text{m, neu } 1\text{km}\end{aligned}$$

Mae'r mathemateg syml uchod yn dangos ei bod hi'n bosib i godi tŵr 1km (tua 2/3 milltir) o uchder gyda defnyddiau eithaf cyffredin. Yr unig beth mae'n rhaid cofio yw bod yn rhaid i'r cerrig fod o dan gywasgedd yr holl amser – oherwydd mae cryfder cerrig dipyn yn is o dan dyndra.

Yn ystod y ddeunawfed ganrif fe adeiladwyd llawer o bontydd bwa o gerrig yng Nghymru. Roedd y rhain yn debyg iawn i'r rhai a adeiladwyd o'r blaen. Er hyn, mae yna un adeiladwr pontydd yn aros allan fel arloeswr yn y maes, sef William Edwards. Diddorol nodi mai saer maen, â phrofiad mewn adeiladu ffwrneisi ac adeiladau eraill yn gysylltiedig â'r diwydiant haearn, oedd William Edwards cyn iddo ymgymryd ag adeiladu pontydd. Yr oedd yn ddyn amryddawn ac fe'i hapwyntiwyd i godi pont dros yr afon Tâf ym Mhontypridd (am bum cant o bunnau), a fyddai'n sefyll am saith mlynedd.⁵

Roedd ei gynnis gyntaf ar adeiladu'r bont ym Mhontypridd yn dilyn dull traddodiadol y cyfnod ac roedd pileri'r bont gyntaf yn gorffwys ynghanol yr afon. Yn anffodus, fe olchwyd y bont wreiddiol i ffwrdd mewn llif ymhen rhyw ddwy flynedd o'i chodi. Dychwelodd William Edwards i ailgodi'r bont ond y tro hwn dim un bwa yn unig (yn ymestyn o'r naill lan i'r llall) oedd i'r bont. Wrth adeiladu'r fframwaith i ddal y bont, daeth llif arall a golchi'r fframwaith i ffwrdd. Y trydydd tro, fe ddefnyddiodd William Edwards fframwaith cryfach i ddal bwa'r bont yn ystod yr adeiladu. Yn anffodus, methiant fu'r bont honno hefyd. Roedd y pwysau ym mhentyrrau'r bont mor drwm fel i'r maen clo gael ei wthio i fyny (a chreu tyndra yn y bwa ynghanol y bont), a dymchwelodd y cyfan. Sylweddolodd William Edwards beth oedd achos y methiant ac aeth ati unwaith yn rhagor. Dywed Jervoise:

Edwards then re-built the bridge to the same design except that he placed at each end three cylindrical holes graduated in size, the largest being 9ft in diameter, to relieve the arch from the pressure of its haunches. This scheme proved successful and the bridge, which was completed in 1755 still stands, although it is no longer in use.⁶

Yn ogystal, ychwanegodd William Edwards at y pwysau ynghanol y bont, uwchben y bwa cerrig, er mwyn sicrhau bod y bwa yn wastadol o dan gywasgedd (Llun 3).

Ar ôl adeiladu Pont Pontypridd, aeth William Edwards, ei feibion a'i wyrion ymlaen i adeiladu nifer o bontydd yn Ne Cymru. Un o'r goreuon yw Pont Dolauhirion (Llun 4), ger Llanymddyfri, sydd hefyd yn cynnwys tyllau yn y pentyrrau. Rhaid cofio mai saer maen oedd William Edwards ac nid peiriannydd. Ysgol brofiad (gostus!) yn unig a gafodd y teulu Edwards.

⁵ Richards, H.P. (1983), *William Edwards – Architect, Builder, Minister* (Cowbridge, D Brown & Sons).

⁶ Jervoise, *op. cit.*, t. 94.

Parhawyd i adeiladu pontydd cerrig tan ddechrau'r bedwaredd ganrif ar bymtheg. Y mwyaf o ran maint o holl bontydd cerrig Prydain yw Pont Grosvenor yng Nghaer. Agorwyd hon ym 1832 ac mae'r bwa yn 60 metr o hyd. Yn ôl Hopkins: "The arch stones are 4ft. deep at the crown and 6ft. at the springing, and the radiating stones are carried down to the foundations. Thin sheets of lead were placed between the stones to get an even bearing."⁷ Yn Ne Cymru, y bont gerrig hwyaf yw Pont Llandeilo, a adeiladwyd ym 1848. Mae'n ddiddorol nodi mai'r amcangyfrif i godi'r bont hon oedd £6,000 ond erbyn ei chwblhau roedd y gost wedi esgyn i £22,000! Erbyn y cyfnod hwn, roedd y Chwyldro Diwydiannol yn ei anterth ac roedd dewis gan beirianwyr o'r defnyddiau i'w defnyddio wrth adeiladu pontydd.

Pontydd o gyfnod y Chwyldro Diwydiannol

Fe gychwynnodd cyfnod y Chwyldro Diwydiannol ynghanol y ddeunawfed ganrif ac fe gyfrannodd Cymru yn helaeth i'r datblygiadau hyn. Y dylanwad mwyaf ar bontydd oedd y gwahanol ddefnyddiau a ddatblygwyd i'w hadeiladu. Yn y cyfnod hwn, gwelwyd haearn bwrw a haearn gyr yn cael eu defnyddio yn helaeth, yn enwedig gyda'r rheilffyrdd. Wrth i'r defnyddiau newydd hyn datblygu, cawsant eu trin yn aml fel defnyddiau ffug. Gwelid hyn yn digwydd yn gyson e.e. adeiladwyd pontydd ar siâp bwa mewn carreg, priddfeini, haearn bwrw ac, yn ddiweddarach, hyd yn oed mewn concrit. Enghraifft arall o weld hen syniadau yn cael eu trosglwyddo i'r cyfnod newydd oedd y defnydd o ddulliau gwaith coed a ddefnyddiwyd i gysylltu darnau o haearn yn y pontydd haearn cynnar, e.e. yn y bont enwog yn Ironbridge a adeiladwyd ym 1779.

Mae llawer o bontydd haearn bwrw i'w gweld yn ardaloedd diwydiannol Cymru. Tair enghraifft adnabyddus o'r rhain yw Pont Maesteg, Pont-y-Cafnau a Phont Robertstown. Mae Pont-y-Cafnau yn ddiddorol oherwydd y ffordd y cafodd yr haearn ei folltio ynghlwm. Mae'r system a ddefnyddiwyd i gysylltu'r darnau haearn yr un fath yn union â'r system a ddefnyddid gynt mewn gwaith coed.

Un o'r ffactorau a gyfrannodd yn helaeth tuag at lewyrch y Chwyldro Diwydiannol oedd y rhwydwaith o gamlesi a adeiladwyd tua diwedd y ddeunawfed ganrif hyd at ddyfodiad y rheilffyrdd. Agorwyd y mwyafrif o gamlesi Cymru yn y chwarter canrif rhwng 1790 a 1815. Yn y Gogledd, fe adeiladodd Thomas Telford gamlas a oedd yn ymestyn o'r Drenwydd i afon Mersi. Ond byr oedd bywyd y camlesi oherwydd yn fuan daeth Oes y Rheilffyrdd i'w disodli.

Adeiladodd Telford bontydd dŵr y Waun a Phont Cysylltau (Llun 5) fel rhan o gamlas Llangollen. Dechreuodd weithio ar bont y Waun ym 1796 ac fe'i gorffennodd bum mlynedd yn ddiweddarach. Fe ddechreuodd y gwaith o adeiladu Pont Cysylltau ym 1795 ac fe gymerodd ddeng mlynedd i'w chwblhau. Pont Cysylltau yw campwaith Telford ym myd y camlesi. Mae'n sefyll 38 metr uwchben y Ddyfrdwy ac yn 307 metr o hyd. Mae 18 o bileri iddi er fod Telford wedi culhau'r dyffryn wrth adeiladu clawdd 450 metr o hyd ar un ochr iddo.

⁷ Hopkins, H.J. (1970), *A Span of Bridges* (Newton Abbot, David & Charles), t. 95.



Llun 1: *Bangor Is-Coed*



Llun 2: *Pont Spwdwr*



Llun 3: *Pontypridd*



Llun 4: *Dolauhirion*



Llun 5: *Pont Cysylltau*



Llun 6: *Menai*

Mae pont ddŵr y Waun yn enghraifft o adeiladu yn gyfan gwbl mewn cerrig, tra bod pont ddŵr Pont Cysylltau yn enghraifft o gyfuno adeiladu mewn cerrig a haearn bwrw. Ar Bont Cysylltau, mae pileri cerrig yn cario'r gamlas mewn cafn o blatiau haearn bwrw wedi'u bolltio at ei gilydd. Yr hyn sydd yn nodweddiadol yma yw y pedwar bwa haearn bwrw sy'n cynnal y cafn, a siâp y platiau haearn (siâp lletem) sydd yn creu'r cafn. Mae'r ddwy elfen hyn, sy'n cynnal y bont, ar siâp bwa! Y gwir amdani yw nad oedd eisiau creu platiau haearn ar siâp lletem – fe fyddai platiau ar siâp petryal (a bob un yr un maint) wedi bod yn hollol dderbyniol i gynnal y cafn ac yn rhatach i'w creu, ond roedd dylanwad y gorffennol yn rhy gryf!

Campwaith Telford oedd adeiladu'r bont grog dros afon Menai (Llun 6) ym 1826. Mae hon eto yn gyfuniad o waith mewn haearn a cherrig. Mae saith bwa o gerrig i'r bont ac mae'n ddiddorol nodi bod y rhain wedi sefyll heb fod angen eu hatgyweirio – roedd Thomas Telford yn bengampwr o saer maen! Ar y llaw arall, mae llawr y bont wedi ei niweidio sawl gwaith, e.e. mewn storm ym 1839 fe dorwyd dros bedwar cant o'r rhaffau crog. Wedi hyn, fe atgyfnerthwyd llawr y bont trwy ychwanegu pedwar trawst agored i'w hanystwytho. Dyma'r enghraifft gyntaf o ddefnyddio'r trawstiau hyn – system a ddefnyddiwyd gyda phontydd crog hyd at adeiladu Pont Hafren. Fe atgyfnerthwyd rhan o'r gwaith metel eto ym 1939, pan ddefnyddiwyd dur yn lle'r haearn gyr gwreiddiol. Yr hyn sydd yn anhygoel yw bod saer maen wedi gallu codi'r bont hwyaf yn y byd yn y cyfnod rhwng 1826 a 1834!

Syniadau cyntaf Telford er mwyn croesi'r Fenai oedd adeiladu pontydd bwa mewn haearn bwrw; datblygodd ddau gynllun, un ger y Swellies a'r llall ger Ynys-y-moch. Ond yn ystod y cyfnod hwn fe gafodd Telford y cyfle i archwilio rhai o'r syniadau gogyfer â phont yn Runcorn ac, yn sgil hyn, newidiodd ei feddwl a phenderfynu ar bont grog i groesi'r Fenai. Gwnaeth Telford lawer o waith ymchwil ymarferol a datblygu cyn codi'r bont grog dros y Fenai. Un enghraifft o'i drylwyredd oedd ei fod wedi ymarfer codi'r cadwyni cyn eu hadeiladu ar y bont. Fe benderfynodd ar faintioli rhannau o'r bont trwy wneud llawer o brofion ymlaen llaw. Fe ysgrifennodd Provis ynglŷn â'r profion hyn: "(W)ith a practical man an experiment is always more simple and satisfactory than theoretical deductions."⁸ Mae'n ddiddorol nodi fod cefndir Telford yn debyg iawn i gefndir William Edwards – saer maen oedd y ddau, heb unrhyw hyfforddiant ffurfiol mewn Perianeg.

Thomas Telford oedd yn gyfrifol am ddatblygu'r A5 ar draws Gogledd Cymru er mwyn hwyluso'r daith rhwng Llundain a Dilyn, yn sgil uno Iwerddon a Phrydain. Dyma'r tro cyntaf i'r llywodraeth gyfrannu tuag at ddatblygu ffordd fawr gogyfer â thrafnidiaeth (ac yn arbennig yr Irish Mail) ac, o ganlyniad, roedd angen nifer fawr o bontydd er mwyn cwblhau'r gwaith. Un o'r enwocaf o'r pontydd hyn yw pont adnabyddus Betws-y-coed (Llun 7) a gynlluniwyd ym 1815 ac, o ganlyniad, fe'i henwyd yn Bont Waterloo i glodfori goruchafiaeth Prydain dros Ffrainc. Mae'r pedwar arwyddlun priodol – y rhosyn, yr ysgellyn, y samrog a'r genhinen wedi eu hymgorffori yn y bwa allanol.

Felly, yn union cyn dyfodiad y rheilffyrdd, gwelwn fod dau fath o bontydd haearn yn cael eu hadeiladu. Fe ddefnyddid haearn bwrw ar siâp bwa er mwyn creu pontydd cryf ac

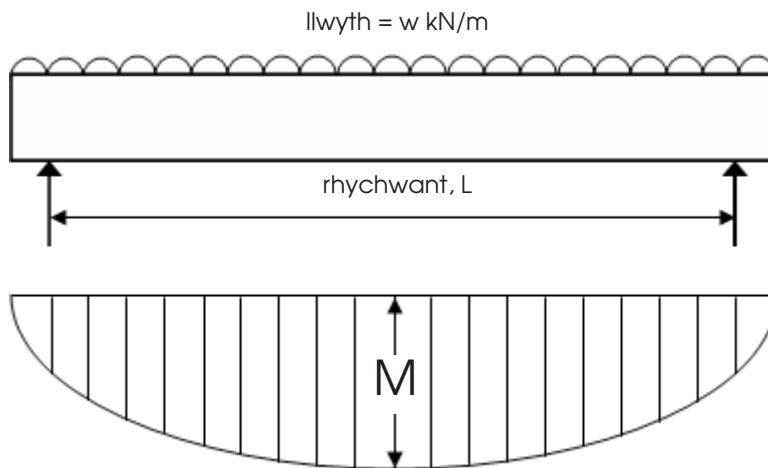
⁸ Provis, W.A. (1828), *An Historical and Descriptive Account of the Suspension Bridge Constructed over the Menai Straits in North Wales* (Llundain, Alexander Maclehose), rhif tudalen heb ei gael.

anystwyth. Ar y llaw arall, fe ddefnyddiwyd haearn gyr yn y pontydd crog, a oedd yn ysgafn ond ychydig yn hyblyg. Felly, doedd dim modd defnyddio'r pontydd crog i gario'r rheilffyrdd.

Ar bontydd y rheilffyrdd, roedd angen llawr gwastad ac anystwyth i gynnal y pwysau trwm. Er bod haearn gyr i'w gael er 1820, roedd yn ddud iawn o'i gymharu â haearn bwrw, felly haearn bwrw a ddefnyddiwyd ym mhontydd cynnar y rheilffyrdd. Mae'n ddiddorol nodi fod Brunel (ar ran y Great Western Railway), wedi gwrthod defnyddio trawstiau o haearn bwrw. Gwyddai pawb am ymateb ansicr y trawstiau o haearn bwrw ac felly roedd rhaid profi nerth y trawstiau cyn eu defnyddio. Diffyg pennaf y trawstiau hyn oedd bod eu hyd yn cael ei reoli gan ofnion cynhyrchu'r trawstiau. Os oedd hyd y bont yn fwy na hyd y trawstiau, roedd rhaid cysylltu dau neu dri o'r trawstiau gyda'i gilydd, fel bo'r angen – ffordd ansicr iawn o adeiladu pontydd! Fe ddefnyddiodd Stephenson (a oedd yn beiriannydd ar y rheilffordd rhwng Rhiwabon a Chaer), drawstiau o'r math hyn i groesi'r Ddyfrdwy, ger Caer. Dymchwelodd y bont tra oedd trê'n yn mynd drosti a bu farw pump o bobl. Wedi'r ymholiad i'r ddamwain, fe benderfynwyd peidio â defnyddio'r trawstiau hyn bellach.

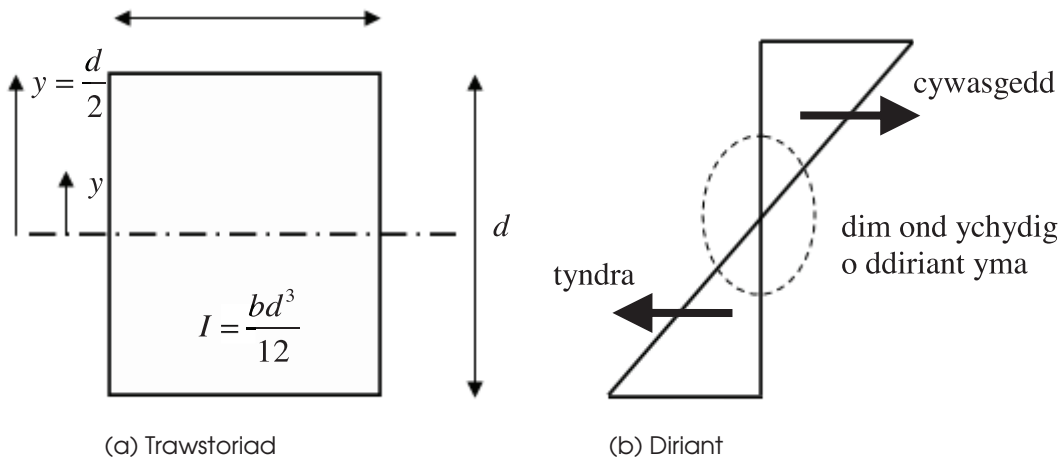
O'r Trawst i'r Tiwb

Fel y gwelwyd ynghynt, mae cynllunio pontydd yn gyfuniad o siâp a defnydd. Gyda dyfodiad y defnyddiau newydd, fe fu datblygiadau hefyd yn siâp a maint y trawstiau a grëwyd o'r defnyddiau newydd. Y trawstoriad symlaf o drawst yw siâp petryal. Mae Ffigwr 3 yn dangos trawst syml, â rhychwant L , o dan bwysau cyson o w kN/m ar hyd y trawst. Mae'r trawst yn gwrthsefyll y pwysau wrth blygu ac mae'r foment plygu hwyaf (M) yn y canol yn cyfateb â $wL^2/8$. (Does dim lle i ddatblygu'r hafaliad elfennol hwn yn yr erthygl.)

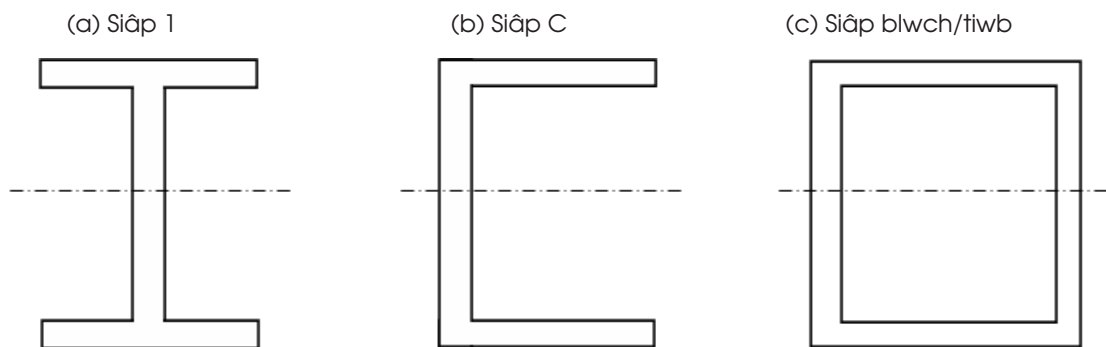


Ffigwr 3: Trawst dan bwysau o w kN/m

Mae Ffigwr 4 yn dangos trawstoriad o'r trawst yn Ffigwr 3, ac, yn arbennig, y cywasgedd a'r tyndra sydd yn datblygu fel mae'r trawst yn plygu o dan y pwysau. Mae Ffigwr 4 hefyd yn dangos sut mae diriant (cywasgedd a thyndra) yn datblygu – mae'r cywasgedd mwyaf ar frig y trawstoriad a'r tyndra mwyaf ar waelod y trawstoriad. Yn ogystal, dengys Ffigwr 4 fod y diriant yn lleihau wrth nesu at ganol y trawstoriad lle mae'r diriant yn 0. Gan fod y defnydd ynghanol y trawstoriad yn cyfrannu ond ychydig i wrthsefyll y pwysau, mae modd ysgafnhau pwysau'r trawst wrth gael gwared ar beth o'r defnydd yn y canol a chryfhau'r trawst wrth ychwanegu mwy o ddefnydd ar y brig ac ar y gwaelod. Dyma'r rheswm am ddatblygu trawstiau ar siâp I, fel y dengys Ffigwr 5(a). Mae Ffigwr 5(b) yn dangos ffordd arall o gyrraedd yr un nod wrth ddefnyddio trawst ar siâp C. Wrth feddwl am y ddau siâp elfennol hyn, dim ond cam bychan oedd dyfalu trawst ar siâp blwch neu diwb, fel y dengys Ffigwr 5(c).



Ffigwr 4: Sut mae trawst yn gwrthsefyll llwyth



Ffigwr 5: Newid siâp trawst

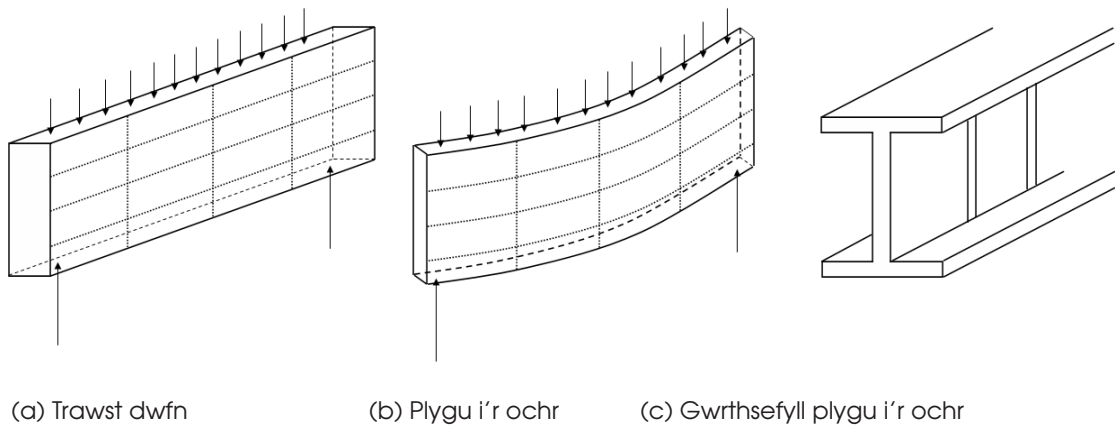
Mae siâp trawstoriad trawst yn hanfodol bwysig gan mai'r siâp sydd yn cyfrannu fwyaf (ar ôl cryfder y defnydd) at anystwythder y trawst. Mae anystwythder yn cael ei fesur gan ail foment yr arwynebedd, I. Mae I petryal, fel y dengys Ffigwr 4, yn cyfateb â $bd^3/12$. Mae modd dirnad dylanwad I wrth feddwl am drawst ag arwynebedd yn y trawstoriad o $12m^2$. Mae Tabl 3 yn dangos sut mae I yn newid fel bod lled, b, a dyfnder, d, yn newid.

Dengys Tabl 3 ei bod yn bosib cynyddu anystwythder gan ffactor o dros 100 wrth newid siâp y trawstoriad, ond cadw'r arwynebedd (ac felly y gost) yr un maint. Yn anffodus, mae terfynau pendant i'r syniad hwn.

b(m)	d(m)	Arwynebedd (m ²)	I(m ⁴)
1	12	12	144
2	6	12	36
3	4	12	16
4	3	12	9
6	2	12	4
12	1	12	1

Tabl 3: Effaith lled, b, a dyfnder, d, ar I – gweler Ffigwr 4.

Mae Ffigwr 6(a) yn dangos trawst dwfn a chul sydd yn dueddol o fethu wrth blygu i'r ochr, fel y dengys Ffigwr 6(b).



Ffigwr 6: Trawst dwfn a chul yn plygu i'r ochr dan bwysau a sut i wrthsefyll hyn

Felly, mae peirianwyr yn medru sicrhau y gellir gwrthsefyll y duedd hon o blygu i'r ochr wrth ddefnyddio siâp I fel y dengys Ffigwr 6(c). Hyd yn oed pan ddefnyddir trawst dwfn ar siâp I, mae tuedd i'r plât haearn, sy'n cadw'r ddau fflans ar wahân, i blygu. Dyma'r rheswm am ychwanegu darnau o ddur ar hyd dyfnder y trawst er mwyn gwrthsefyll y duedd hon, fel y dengys Ffigwr 6(c). Mae'r math hwn o adeiladu mewn dur i'w weld mewn amryw o bontydd rheilffyrdd, ar hyd y wlad. Ar ôl dewis y siâp, yr unig beth i'w benderfynu arno yw cryfder y defnyddiau. Pan mae'r trawst a welir yn Ffigwr 3 yn plygu, mae modd cyfrif y diriant, σ , o'r hafaliad canlynol:

$$\sigma/y = M/I$$

Mae uchafswm σ yn cyfateb ag uchafswm y (Ffigwr 4), hynny yw pan fod $y = d/2$.

Felly, uchafswm $\sigma = 6M/bd^2$

Mae'r uchod yn dangos mai dyfnder y trawst sydd â'r dylanwad mwyaf ar y diriant yn y trawst. Unwaith yn rhagor gwelwn fod cynyddu'r dyfnder yn dwyn mwy o ffrwyth na chynyddu lled y trawst, ond mae'n rhaid cofio am y duedd mewn trawstiau i ddymchwel wrth blygu i'r ochr.

Mae'r ddwy elfen hyn (cryfder ac anystwythder) yn cael eu cyfuno yn yr hafaliad:

$$\sigma/y = M/I = E/R$$

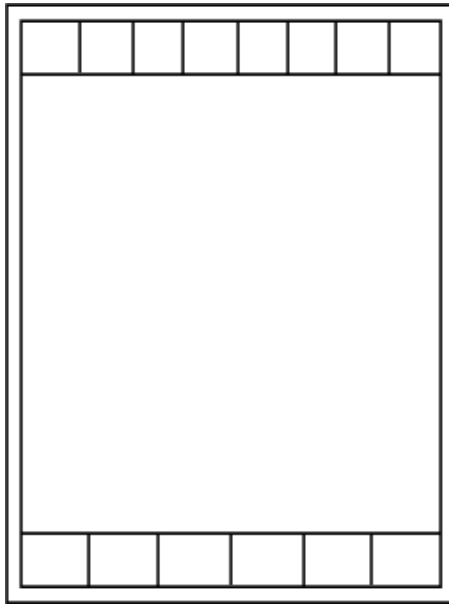
Ile mae E yn dynodi modwlws Young ac $1/R$ yn fesur o faint mae'r trawst yn dadleoli. Dyma'r hafaliad elfennol er mwyn cynllunio trawstiau mewn pont neu unrhyw adeilad arall. Dyma'r cefndir i'r datblygiadau a ddigwyddodd ynghanol y bedwaredd ganrif ar bymtheg. Yr enghraifft gyntaf oedd y datblygiad o greu trawstiau mewn siâp blwch neu diwb.

Y datblygiad mwyaf arbennig yn y maes hwn oedd adeiladu Pontydd Tiwb Conwy (Llun 8 – o brint ym meddiant yr awdur) ac wedyn Pont Britannia. Y peiriannydd Robert Stephenson oedd y cynllunydd gyda William Fairbairn ac Eaton Hodgkinson yn ei gynorthwyo. Ym Mhont Tiwb Conwy, ceir dau diwb haearn yn rhedeg ochr yn ochr ond yn gwbl annibynnol ar ei gilydd. Siâp petryal sydd i'r tiwbiau ac maen nhw'n 4.25m o led a 5.5m o uchder ac yn 122m o hyd. Mae wyth cell yn rhedeg ar hyd pen ucha'r tiwb a chwe chell ar hyd y gwaelod, fel y dengys Ffigwr 7.

Roedd tiwbiau Pont Britannia yn debyg iawn eu siâp ac mae'n ddiddorol nodi bod Hopkins wedi disgrifio'r bont fel: "a covered bridge of fireproof materials"⁹ Mae datblygiad siâp Pont Conwy a'r dull o'i hadeiladu yn ddiddorol am amryw o resymau.

Dyma'r tro cyntaf i afon gael ei chroesi heb ddefnyddio unrhyw fath o fframwaith dros dro yn ystod yr adeiladu. Hefyd, dyma'r tro cyntaf i drawstiau gael eu llunio ar y lan ac yna eu harnofio allan a'u codi i'w safle parhaol ar y bont.

⁹ Op. Cit., t. 132.



Ffigwr 7: Trawstoriad o bont diwb Conwy

Roedd Stephenson wedi bwriadu defnyddio cadwyni gyda'r tiwbiau ond dangosodd profion William Fairbairn nad oedd eu hangen, gan ei bod yn bosib gwneud y tiwbiau yn ddigon cryf i ddal pwysau'r trên. Gwnaeth William Fairbairn ryw ddau ddwsin o brofion cyn penderfynu ar siâp sylfaenol y tiwb. Dilynwyd y rhain gan ragor o brofion ar fodel o'r bont. Cyn i'r tiwb cyntaf gael ei arnofio allan, fe wnaeth William Fairbairn hyd yn oed ragor o brofion arno. Cred yr awdur nad yw Stephenson a'i gyd-weithwyr wedi derbyn y clod haeddiannol am eu datblygiadau sylfaenol wrth adeiladu'r ddwy bont reilffordd dros y Conwy a'r Fenni.

Fel mae'n digwydd, y profion cyntaf a wnaeth William Fairbairn oedd y rhai cyntaf erioed i ddangos gwendid defnyddiau wrth iddynt blygu yn ystod eu gwasgu, fel y gwelir yn Ffigwr 6. Ysgrifennodd Fairbairn:

Some curious and interesting phenomena presented themselves in the experiments – many of them are anomalous to our preconceived notions of the strength of materials, and totally different to anything yet exhibited in any previous research. It has invariably been observed, that in almost every experiment the tubes gave evidence of weakness in their powers of resistance on the top side, to the forces tending to crush them.¹⁰

Hefyd, yn ystod yr arbrofion ar y tiwb cyntaf i Bont Conwy, cafodd William Fairbairn lawer o wybodaeth ynglŷn â chryfder rhybedion.

¹⁰ Fairbairn, W. (1849), *An account of the construction of the Britannia and Conway Tubular Bridges* (Llundain, J. Weale), rhif tudalen heb ei gael.

Wedi'r arloesi gyda Phont Conwy, roedd adeiladu Pont Britannia yn gymharol hawdd. Yn anffodus, fe ddinistriwyd Pont Britannia gan dân ym 1971 ond mae Pont Conwy yn dal i sefyll. Achos bod pwysau'r trenau wedi cynyddu gydag amser, roedd rhaid atgyfnerthu'r bont ym 1899. Cymerwyd pob gofal wrth wneud hyn fel bo'r gwelliannau'n ymdoddi i'r gwaith gwreiddiol.

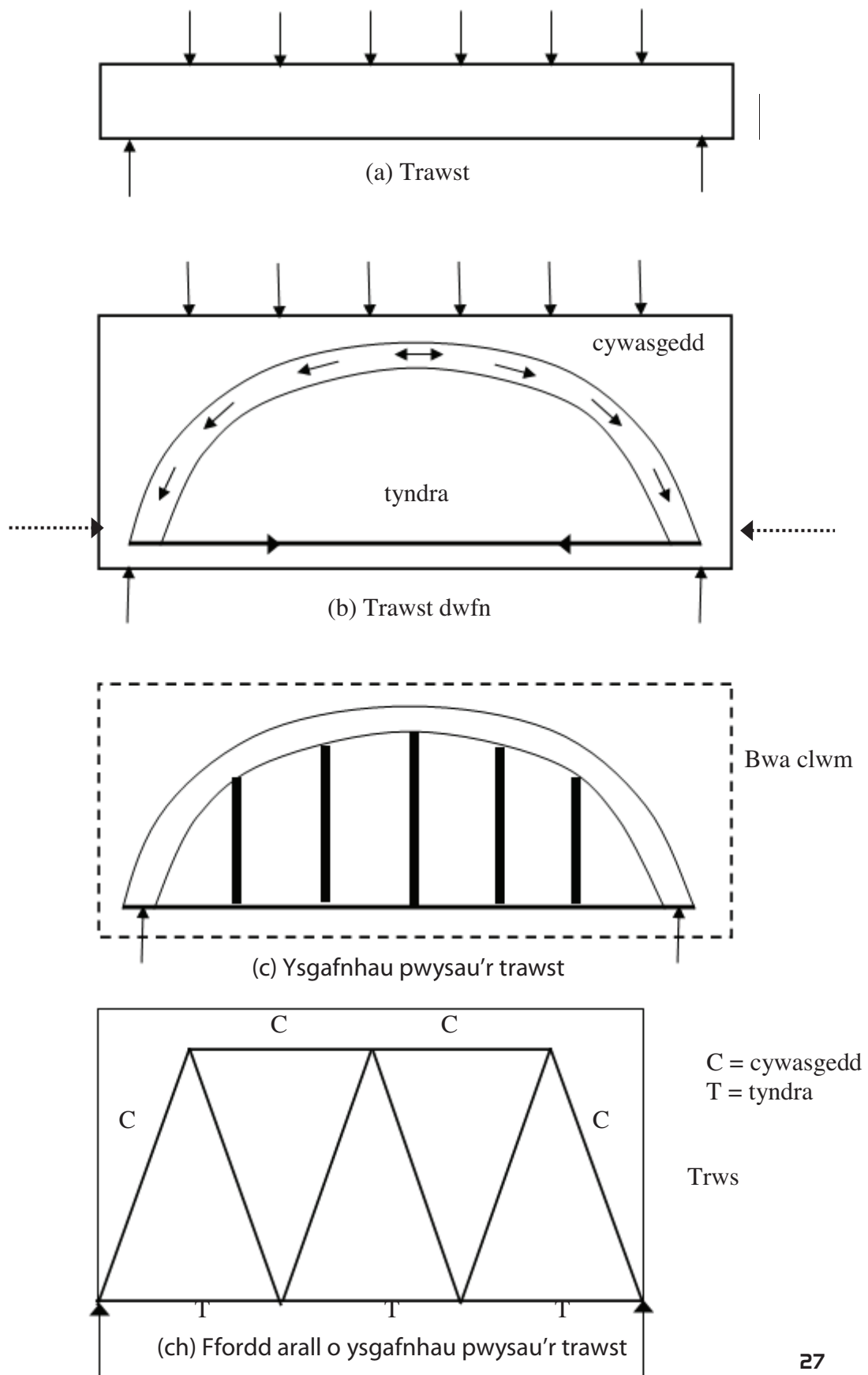
O'r Trawst i'r Trws

Yn ystod yr amser y bu Stephenson yn datblygu'r syniad o ddefnyddio tiwb er mwyn adeiladu pontydd hir a chadarn gogyfer â'r rheilffyrdd, penderfynodd Brunel ddatrys yr un broblem mewn ffordd tra gwahanol. Yn ystod y cyfnod 1840-50, bu nifer o ddatblygiadau yn y syniad o ddefnyddio trws er mwyn adeiladu pontydd hir – roedd y rhan fwyaf o'r datblygiadau'n dod o'r Unol Daleithiau lle roedd galw am gannoedd o bontydd i gario'r rheilffyrdd.

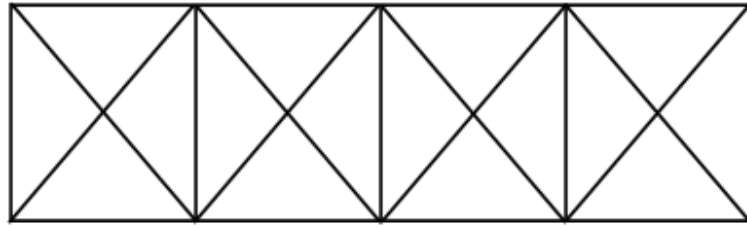
Mae Ffigwr 8 yn dangos sut mae'n bosib ysgafnhau'r pwysau mewn pont wrth sicrhau bod y trws yn cymryd yr un cywasgedd â'r tyndra sy'n datblygu mewn trawst, Ffigwr 8(a). Mae Ffigwr 8(b) yn dangos amlinelliad o drawst dwfn, yn ogystal â sut mae'r cywasgedd a'r tyndra yn datblygu. Mae'n gymharol rwydd i ddychmygu'r cywasgedd yn datblygu ar siâp bwa i wrthsefyll y ffordd mae'r foment blygu (sydd hefyd ar siâp bwa – Ffigwr 3) yn datblygu ar hyd y trawst. Er mwyn cynnal y bont mae'n rhaid clymu'r ddau ben at ei gilydd – naill ai trwy ddefnyddio dur o dan dyndra ar hyd gwaelod y trawst neu trwy ddefnyddio sylfeini cadarn i wrthsefyll y grym llorwedd sy'n datblygu. Dyma'r syniad y tu ôl i lawer o bontydd bwa clwm â ffurf fel y dengys Ffigwr 8(c) ac a elwir yn fwa clymedig.

Ffordd arall o greu fframwaith i gynnal y bont yw wrth greu trws fel y dengys Ffigwr 8(d). Mae'r trws yn cynnwys tair rhan – elfen o dan gywasgedd yn rhedeg ar hyd brig y trws; elfen o dan dyndra yn rhedeg ar hyd llawr y trws, a fframwaith i'w cysylltu sy'n sicrhau bod yr welfennau'n cydweithio â'i gilydd. Mae defnyddio trws yn hen syniad ac yn gweithio'n syml iawn. Mae cryfder trws yn deillio o'r ffaith ei fod wedi ei greu o nifer o drionglau sydd yn rhoi strwythur cadarn ac anystwyth. Yn y bôn, mae'r trws yn gweithio'n debyg iawn i diwb, lle mae cywasgedd ar y brig a thyndra ar y gwaelod a'r ddau'n cael eu cysylltu gan blatiau yn y tiwb a fframwaith yn y trws. Datblygwyd y tri cyntaf Ffigwr 9(a), (b) a (c) mewn cyfnod byr ynghanol y bedwaredd ganrif ar bymtheg. Felly roedd y syniadau am adeiladu trws yn hysbys i Brunel pan oedd angen pont enfawr i groesi afon Gwy ger Cas-gwent. Hefyd, roedd Brunel yn ymwybodol o'r holl waith a chefnidir yr arbrofi a wnaed ymlaen cyn i Stephenson adeiladu'r ddwy bont enfawr yn y Gogledd. Syniad mwy diweddar yw trws Vierendeel (Ffigwr 9(ch)) sydd yn gweithio'n dra gwahanol. Yn y math hwn o bont, does dim trionglau yn anystwytho'r trws ac felly mae'n rhaid greu uniadau cryf ac anystwyth sy'n gallu gwrthsefyll cywasgedd, tyndra a moment blygu. Mae sawl pont gerdded o'r math hyn wedi'u hadeiladu'n ddiweddar.

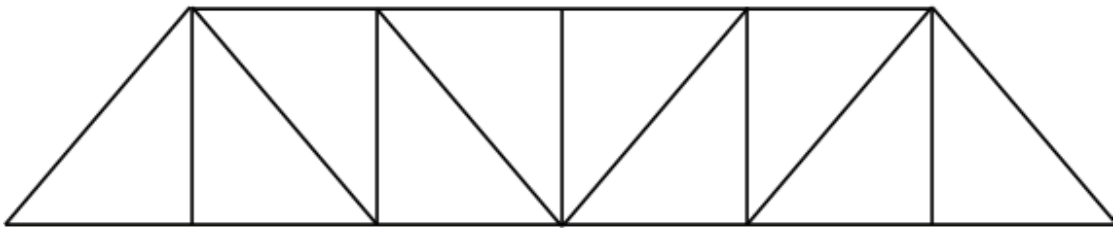
Mae yna lawer sy'n debyg ym mywyd a gwaith Stephenson a Brunel. Roedd y ddau yn feibion i beirianwyr enwog, bu'r ddau farw yn yr un flwyddyn ac roedd y ddau'n ffrindiau ac yn gyfoeswyr ym myd yr adeiladu pontydd. Fel roedd Stephenson wedi arloesi gyda Phont Conwy cyn adeiladu Pont Britannia, felly hefyd y gwnaeth Brunel wrth arloesi gyda'r bont dros afon Gwy yng Nghas-gwent cyn mynd ymlaen i adeiladu'r bont enwog dros afon Tamar.



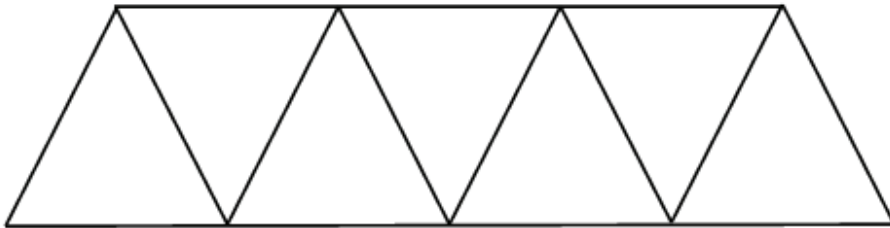
Ffigwr 8: Gwahanol ffyrdd o ysgafnhau pwysau'r trawst



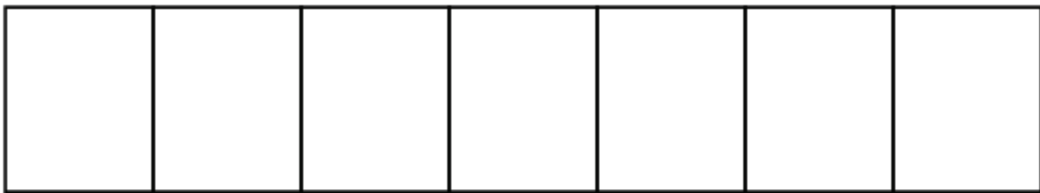
(a) Trws Howe (1840)



(b) Trws Pratt (1844)



(c) Trws Warren (1848)



(ch) Trws Vierendell (1896)

Ffigwr 9: Datblygiadau mewn creu trws

Dengys Tabl 4 ffigurau cymharol ar gyfer y pedair pont a adeiladwyd ar y Rheilffyrdd ynghanol y bedwaredd ganrif ar bymtheg.¹¹ Dyma un o'r adegau mwyaf rhagorol yn hanes adeiladu pontydd – nid dim ond yng Nghymru ond yn y byd.

	R Stephenson (1803–59)		I K Brunel (1806-59)	
	Conwy (1848)	Britannia (1850)	Cas-gwent (1852)	Saltash (1859)
Hyd un agoriad (m)	122	140	91.5	139
Cyfanswm hyd (m)	122	460	183	671
Pwysau'r bont (Tunnell)	1,000	1,500	138	1,060
Pris (£)	145,190	601,865	77,000	225,000

Tabl 4: Cymharu Pontydd Stephenson â Brunel (yn ôl (8))

Gorfu i Brunel adeiladu pont ar draws afon Gwy a oedd yn 180m o led. Yr unig ffordd y gallai leihau'r lled yma oedd trwy osod pileri yn yr afon neu wrth ei hochr. Oherwydd y llongau hwylio a oedd yn defnyddio'r afon, gofynnwyd i Brunel adael agoriad o 90m o led ac roedd rhaid i waelod y bont fod o leiaf 15.25m uwchben y dŵr yn ystod y llanw. Ar ôl adeiladu'r trawst cyntaf ar y lan, gwnaeth Brunel yr un math o broffon arno ag a wnaed ar drawst Pont Conwy. Roedd dau beth yn nodweddiadol am siâp y bont: roedd rhan uchaf'r bont ar siâp bwa isel (rhyw hanner metr yn unig oedd y codiad ar ganol y bont), ac ar waelod y bont, yn y canol, roedd dolenni ychwanegol i wrthsefyll y tyndra yn y rhan hon o'r bont. Mae tebygrwydd amlwg rhwng y tiwb a ddatblygwyd gan Stephenson a'r un a ddefnyddiodd Brunel i wrthsefyll y cywasgedd uchel yn y trawstiau enfawr. Datblygwyd y syniad hwn o gyfuno bwa i gymryd y cywasgedd gyda'r dolenni i wrthsefyll y tyndra gan Brunel yn ei bont dros afon Tamar, sy'n fyd-enwog. Oherwydd y cynnydd a fu yn y pwysau a gai ei gario gan y rheilffyrdd, bu'n rhaid adnewyddu'r bont hon yn fuan ar ôl yr Ail Ryfel Byd.

Mae'n ddiddorol cymharu pontydd Brunel â phontydd tiwb Stephenson (gweler Tabl 4). Mae dau beth yn drawiadol: yn gyntaf mae gwahaniaeth sylweddol ym mhwsau'r ddwy bont sydd yn ganlyniad amlwg o'r dull adeiladu (trws ysgafn yn lle tiwb trwm). Oherwydd y gwahaniaeth mawr yn y pwysau, mae trws yn rhatach o lawer na thiwb. O hyn ymlaen

¹¹ Barr, B, 'Pontydd Cymru', (Mehefin 1976), *Y Gwyddonydd* (Caerdydd, Gwasg Prifysgol Cymru), Cyfrol 14, Rhifyn 2, t. 72–83.

penderfynwyd adeiladu pontydd y rheilffyrdd drwy ddefnyddio trws ac mae nifer ohonynt yn dal i fod hyd heddiw.

Roedd gan Brunel y ddawn o adeiladu pontydd mewn defnyddiau traddodiadol yn ogystal â'r defnyddiau newydd. Fe adeiladodd amryw o bontydd pren ar hyd y rheilffordd o Fryste i Dde-Orllewin Lloegr. Er bod ei gyfraniad yn y maes hwn yn fwyaf adnabyddus yn Lloegr, mae'n ddi-ddorol nodi mai ei bont bren â'r rhychwant hwyaf oedd ei bont reilffordd ger Landore (Llun 10 – model o'r bont ym meddiant Amgueddfa Abertawe), a oedd yn rhan o'r rheilffordd ar hyd De Cymru. Erbyn hyn, mae traphont Landore wedi'i hailadeiladu mewn haearn.

Gan fod haearn wedi ei ddatblygu yn ystod y Chwyldro Diwydiannol, fe'i defnyddiwyd yn helaeth i adeiladu pontydd y rheilffyrdd. Ar yr un pryd, fe adeiladwyd llawer o bontydd rheilffyrdd trwy ddefnyddio dulliau a defnyddiau traddodiadol. Mae llawer o'r rhain yn dal mewn bodolaeth o hyd, e.e. y draphont ger Cynghordy sydd ar "Lein Calon Cymru".

Felly, yn ystod cyfnod y Chwyldro Diwydiannol, gwelwyd haearn bwrw a haearn gyr yn cael eu defnyddio'n helaeth, yn enwedig gyda'r rheilffyrdd. Hefyd, yn ystod yr ail gyfnod hwn o adeiladu pontydd fe ddefnyddiwyd mwy a mwy o fathemateg er mwyn datrys problemau peirianyddol. Yn sgil y defnydd yma o fathemateg a'r arbrofi gyda nerth a chryfder y defnyddiau newydd, fe ddaeth peirianeg yn rhan o astudiaethau rhai o'n prifysgolion. Erbyn diwedd y bedwaredd ganrif ar bymtheg, roedd dur a concrit yn cael eu defnyddio'n gyson i godi pontydd, ond dim ond ychydig o enghreifftiau o'r defnyddiau hyn sydd ar gael yng Nghymru. Does dim yng Nghymru i gymharu â'r bont enfawr o ddur a adeiladwyd ym 1890 ar draws y Firth of Forth yn yr Alban.

Pontydd yr hanner canrif ddiwethaf

Erbyn dechrau'r ugeinfed ganrif, roedd dur a concrit wedi datblygu i fod y prif ddefnyddiau i adeiladu pontydd. Adeiladwyd y pontydd cynharaf o goncrit ar siâp bwa, gan ddefnyddio cryfder naturiol y concrit o dan gywasgedd. Gan fod concrit yn wan o dan dyntra, datblygwyd dwy ffordd o'i atgyfnerthu. Yn ystod hanner cyntaf y ganrif ddiwethaf, defnyddiwyd concrit dur (reinforced concrete) ac yna, yn ystod yr ail hanner, defnyddiwyd mwy a mwy o goncrit dan bwysau gwifrau dur (pre-stressed concrete). Yr ail ddull hwn o adeiladu sydd wedi esgor ar y mwyafrif o'r pontydd hirion concrit sydd ar hyd ein traffyrdd a'n priffyrdd.

Roedd y trawstiau cynnar concrit dur ar siâp petryal ond cyn hir roedd peirianwyr yn creu trawstiau â thrawstoriad ar siâp I (Ffigwr 5(a)) – ond bod y trwch wrth ddefnyddio concrit dur rhyw ddeng gwaith yn fwy nag wrth ddefnyddio dur). Adeiladwyd nifer o bontydd concrit dur wrth osod rhes o drawstiau ar siâp I a'u cysylltu i greu cyfres o flychau neu diwbiau a welir yn nhrawstoriad y bont. Yn yr un modd, fe ddatblygodd y syniad hwn o adeiladu pontydd ar siâp blwch neu diwb wrth adeiladu pontydd concrit dan bwysau gwifrau dur – defnyddiwyd y syniad hwn mewn amryw o'r pontydd hir a adeiladwyd yn y blynyddoedd diwethaf.

Pont gynnar nodedig o goncrit dur yw Pont Berw dros afon Tâf, ychydig uwchben Pontypridd. Dyma'r bont hwyaf o'i math yn y cyfnod hwn. Yn ystod yr un adeg, fe godwyd y bont unigryw gludol yng Nghasnewydd. Yn ystod y Rhyfel Byd Cyntaf, dirwasgiad y dau

ddegau a'r tri degau a'r Ail Ryfel Byd, ychydig o ddatblygiadau a fu ym maes adeiladu pontydd. Ar ôl yr Ail Ryfel Byd, cynyddodd trafnidiaeth yn fawr ac er mwyn darparu ar gyfer y cynnydd hwn, roedd y pum degau a'r chwe degau yn gyfnod o gynllunio, paratoi a chychwyn adeiladu'r system o draffyrdd a phriffyrdd yr ydym yn gyfarwydd â hi heddiw. Mae'r cyfnod hwn wedi bod yn gyfnod o ddatblygiad parhaol i ymateb i'r galwadau am bontydd hwy ac, os yn bosib, yn rhatach na'r rhai cynt.

Yn ystod adeiladu'r priffyrdd a'r traffyrdd yn yr hanner can mlynedd diwethaf, mae sawl pont ddiddorol wedi'u hadeiladu ar draws aberoedd ein prif afonydd. Y gyntaf o'r rhain oedd y bont fawr ddur a adeiladwyd fel rhan o'r A48 i osgoi Castell-nedd. Pan godwyd y bont hon, roedd yn rhaid sicrhau lle i longau fynd oddi tani er mwyn iddynt fedru mynd i'r dociau, ymhellach lan yr afon. Roedd yn briodol i ddefnyddio dur i adeiladu'r bont, wrth gofio bod Gwaith Dur Port Talbot gerllaw.

Y bont fwyaf diddorol ac arloesol ar hyd yr M4 yw Pont Grog Hafren (Llun 11), a agorwyd ym 1966. Yn anfodus, mae'r Wasg wedi canolbwyntio ar y tagfeydd o amgylch y bont yn hytrach na'r campwaith o adeiladu'r bont yn y lle cyntaf. Y bont hon oedd y gyntaf o'r genhedlaeth newydd o bontydd crog, ac yn ddiweddarach fe adeiladwyd nifer o bontydd cyffelyb, e.e. ar draws afon Humber, i gysylltu Ewrop ac Asia yn Istanbul ac mewn gwledydd eraill o amgylch y byd. Roedd y bont hon yn torri tir newydd mewn tair ffordd:

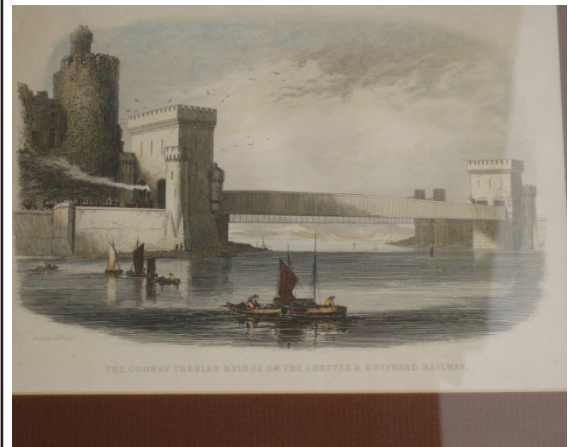
- Siâp trapesoidal dec y bont (blwch neu diwb) a oedd yn hwyluso'r gwynt i redeg drosti heb gynhyrfu'r dec fel y gwelwyd gynt gyda methiant pont Tacoma Narrows yn yr Unol Daleithiau
- Roedd y rhaffau a oedd yn cysylltu'r prif gebl gyda dec y bont yn creu siâp triongl ac felly yn anystwytho'r bont
- Roedd y tyrau dur wedi eu creu fel tiwb (fel y gwelwyd yn gynharach ym mhontydd tiwb Conwy a Britannia) yn hytrach na nifer o diwbiau mân wedi eu cysylltu a'i gilydd.

Yn ystod y chwe degau a'r saith degau, fe adeiladwyd nifer o bontydd hir mewn dur â thrawstoriad ar siâp blwch ("box girder bridges"). Yr enghraifft fwyaf adnabyddus yng Nghymru oedd Pont Cleddau a gwmpodd yn ystod ei hadeiladu. Digwyddodd yr un peth i ddwy bont arall – un yn Awstralia a'r llall yn yr Almaen ac, yn sgil hyn, fe fu cryn dipyn o waith ymchwil (gan gynnwys gwaith ymchwil ym Mhrifysgol Caerdydd), i ddarganfod y rhesymau am y methiannau hyn. O'r diwedd fe ailadeiladwyd Pont Cleddau (Llun 12), a bu'n rhaid atgyfnerthu nifer o bontydd cyffelyb, ond yn rhai llai eu maint, o ganlyniad i'r gwaith ymchwil hwn.

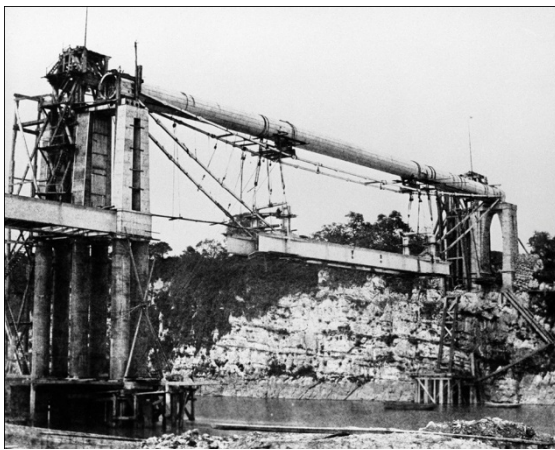
Roedd angen dros ddeugain o bontydd ar briffordd Blaenau'r Cymoedd rhwng Hirwaun a'r Fenni. Mae tair pont nodedig ar y briffordd hon yng nghyffiniau Merthyr Tudful – Pont Tâf Fechan a Phont Tâf Fawr (Llun 13) i'r gogledd o'r dref a Phont Nant Hir (Llun 14) i'r gorllewin. Erbyn adeiladu'r pontydd hyn yn y chwe degau, roedd concrit wedi datblygu i fod y prif ddefnydd yn y mwyafrif o'r pontydd, ar wahân i'r pontydd crog. Mae'r pontydd hyn yn dangos bod concrit yn hyblyg i'w ddefnyddio, naill ai mewn pont ar siâp bwa (Tâf Fechan a Nant Hir), neu mewn pont drawst ar siâp tiwb (Tâf Fawr).



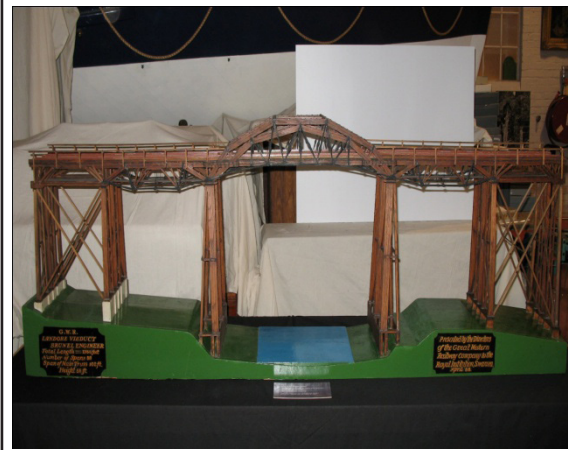
Llun 7: *Betws -y-Coed*



Llun 8: *Conwy*



Llun 9: *Casgwent (yn ystod adeiladu)*



Llun 10: *Traphont Landore (model)*



Llun 11: *Hafren*



Llun 12: *Cleddau*

Mae angen dŵr i greu concrit, mae angen dŵr i aeddfedu concrit ond, yn anffodus, mae dŵr hefyd yn dirywio concrit. Oherwydd bod y tymheredd yng Nghymru yn cwmpo dan y rhewbwynt yn ystod y gaeaf, fe ddefnyddir halen i gadw'r ffyrdd ar agor. Yr halen hwn sy'n gyfrifol am lawer o'r problemau gyda phontydd concrit yn ystod y blynyddoedd diwethaf.

Fel y dywedwyd eisoes, mae concrit yn hyblyg i'w ddefnyddio gyda phont drawst ar siâp tiwb. Hefyd, fe welwyd eisoes bod pontydd mawr dur, fel Pont Cleddau a Phont Grog Hafren, yn cynnal trafnidaieth ar drawstiau ar siâp tiwb. Yn Ne Cymru, mae llawer o bontydd concrit wedi eu hadeiladu gyda thrawstiau ar siâp tiwb. Oherwydd y pwysau aruthrol sydd yn y trawstiau hyn pan fo'r rychwant yn eang, mae'r pontydd yn cael eu hadeiladu yn aml mewn rhannau neu flychau o amgylch 2m o hyd, sydd yn pwyso tua 40 tonn yr un. Mae'r blychau hyn yn cael eu paratoi ymlaen llaw ac mae'r concrit wedi datblygu ei gryfder cyn bod y blychau'n cael eu gosod yn eu lle priodol yn y bont. Mae'r bont yn cael ei hadeiladu wrth osod un o'r blychau hyn ar ben bob piler. Yna mae dau flwch arall yn cael eu cysylltu, un bob ochor, i'r blwch ar y piler. Mae'r broses o gysylltu dau flwch ychwanegol yn cael ei hailadrodd fel bo'r bont yn cynyddu mewn maint wrth gysylltu'r blychau â'i gilydd. Mae pob pâr o flychau yn cael eu cywasgu a defnyddir glud i sicrhau nad oes dŵr yn gallu treiddio trwy'r cysylltiad. Mae'r system hon o ychwanegu at faint y trawstiau concrit yn mynd rhagddo tan fod bwch o tua 300mm rhwng y trawstiau cyfagos. Yna, mae'r bwch hwn yn cael ei lanw â choncrit cyn i'r trawstiau gael eu cywasgu ymhellach i gwblhau'r bont. Mae'r math hwn o adeiladu wedi bod yn boblogaidd yn Ne Cymru ers i'r arddull hwn gael ei ddefnyddio am y tro cyntaf ar y bont ar ffordd osgoi Aberhonddu.

Daeth y ffordd hon o adeiladu pontydd concrit yn boblogaidd yn Ne Morgannwg ac fe'i defnyddiwyd i adeiladu, yn yr wyth degau, draphont Grangetown (Llun 15) a thraphont Cogan (Llun 16) i'r De-Orllewin o Gaerdydd. Disgrifiwyd y pontydd hyn gan Lark et al fel a ganlyn:

The structures are precast, post-tensioned concrete box girders (one per carriageway), and were constructed sequentially using a balanced cantilever technique. The use of twin structurally independent continuous boxes enabled the piers to be positioned to accommodate the skew angles at which the numerous obstacles along the route were crossed. The two structures are members of a "Family of Glued Segmental Bridges" designed by the bridges group of the Local Authority's "in house" Engineering Consultancy.¹²

Mae traphont Grangetown yn cynnwys 13 rychwant o tua 72m a 2 rychwant ar y pen o tua hanner y maint hwn. Mae'r trawstoriad ar siâp trapesoid ac mae dyfnder y trawst yn newid o 2.8m yn y canol i 3.5m dros y pileri. Mae traphont Cogan yn cynnwys 3 rychwant o 60m, prif rychwant o 95m a 2 rychwant ar y pen o 37.5m a 57.5m. Oherwydd y troad sylweddol sydd ar y bont hon, mae'r trawstoriad ar siâp petryal er mwyn hwyluso'r cynllunio a'r adeiladu. Mae'n ddiddorol nodi mai'r un math o adeiladu a ddefnyddiwyd i lunio ail Bont Hafren.

¹² Lark, R.J., Howells, R.W., a Barr, B. (2004), 'Behaviour of post-tensioned, concrete box girders', *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Bridge Engineering*, Vol. 157, 20, t. 71-81.

Ym 1986, cafodd yr awdur gyfle i ymchwilio er mwyn darganfod effaith culhad (shrinkage) ac ymgripiad (creep) ar draphontydd Grangetown a Cogan. Er mwyn cyflawni hyn, gosodwyd 92 o fedryddion (gauges) yn y ddwy draphont. Roedd y medryddion hyn yn gweithio ar yr egwyddor bod amledd llinyn o ddu yn newid o dan bwysau. Mae'r egwyddor hwn yn cyfateb i sut mae'r tiwniwr yn tiwnio'r piano. Gosodwyd y medryddion ynghanol y concret pan oedd y segmentau'n cael eu cynhyrchu ac felly mae gwybodaeth gennym am y straen yn y blychau concret o'r diwrnod cyntaf.

Roedd rhan gyntaf yr archwiliad yn seiliedig ar effaith yr amgylchedd (tymheredd a lleithder cymharol) yn unig. Gwnaed blychau traphont Cogan yn y gwanwyn a bu'r blychau'n sychu'n raddol dros dymhorau'r gwanwyn a'r haf. Gwnaed blychau traphont Grangetown ym mis Awst ac roedd effaith tywydd gwlyb yn nechrau mis Medi a diwedd mis Hydref i'w weld yn glir yn y canlyniadau. Mae'n anodd dirnad bod blwch o concret sy'n pwyso 45 tunnell yn ymateb cymaint i effaith lleithder yn yr aer (9). Mae'r awdur yn falch i gadarnhau bod y straen yn y draphont yn llai na'r disgwyl (!) a bod ein hamcangyfrif yn agos iawn i'r hyn a fesurwyd yn y bont.

Pontydd unigryw Cymru

Cyn gorffen yr erthygl hon, mae'n werth nodi rhai o bontydd unigryw Cymru. Pont Trefynwy yw'r unig bont ym Mhrydain sydd yn dal â thŵr wedi'i godi ar y bont. Sefyllfa ddi-ddorol ac unigryw arall yw'r tair pont, un uwchben y llall, sy'n croesi afon Mynach ym Mhontarfynach, (Llun 17). Mae bwa pigog y bont isaf yn nodweddiadol o'r dull adeiladu ar ddiwedd y Canol Oesoedd. Fe adeiladwyd yr ail bont ynghanol y ddeunawfed ganrif ac fe adeiladwyd y bont haearn bresennol ychydig dros ganrif yn ôl. Enghraifft arall o bontydd unigryw Cymru yw'r bont gludol yng Nghasnewydd (Llun 18). Defnyddiwyd y math hwn o bont er mwyn creu digon o le i longau hwylio fynd odani. Fel y gwelwyd eisoes, adeiladwyd llawer o bontydd enwog Cymru am y rheswn hwn, sef bod rhaid gadael digon o uchder rhwng llawr y bont a'r afon i ganiatáu i'r llongau hwylio fynd heibio.

Cydnabyddiaeth

Dymuna'r awdur ddiolch i Sarah am grwydro gydag ef dros bontydd Cymru yn y deugain mlynedd diwethaf ac, yn arbennig, am ei chymorth i baratoi'r erthygl hon, ond mae'r awdur yn derbyn pob cyfrifoldeb am unrhyw wallau sydd ynddi! Hefyd, mae diolch i Dr Kien Lee (cyn-fyfyriwr ymchwil gyda'r awdur) am ei gymorth parod i baratoi'r ffigurau. Mae diolch hefyd yn ddyledus i'r Amgueddfa Diwydiant a Môr, Abertawe, am gopi o'r llun gwreiddiol o bont Brunel yng Nghas-gwent ac i Amgueddfa Abertawe am baratoi llun o fodel traphont Landore.



Llun 13: *Tâf Fechan*



Llun 14: *Nant Hir*



Llun 15: *Grangetown*



Llun 16: *Cogan*



Llun 17: *Pont-ar-Fynach*



Llun 18: *Casnewydd*