

*S Eleri Pryse, Helen R Middleton
ac Alan G Wood*

**Llif yr atmosffer drydanol
dros begwn y gogledd:
Arsylwadau tomograffi
radio a SuperDARN**

GWERDDON

CYFNODOLYN ACADEMAIDD CYMRAEG

Cyfrol I, Rhif 2, Hydref 2007 • ISSN 1741-4261

Llif yr atmosffer drydanol dros begwn y gogledd: Arsylwadau tomograffi radio a SuperDARN

S Eleri Pryse, Helen R Middleton ac Alan G Wood

Rhagarweiniad

Uwchlaw ~60 km o arwyneb y Ddaear mae'r atmosffer wedi ei ÷oneiddio ac yn cynnwys ÷ionau positif ac electronau. Dyma'r rhan drydanol o'r atmosffer, a elwir yr ÷ionosffer. Mae'r rhanbarth o ddiddordeb i ddefnyddwyr systemau cyfathrebu a mordwyo gan fod yr ÷oneiddiad yn amharu ar ledaeniad tonnau radio, gan ar brydiau achosi i dderbynyddion golli signalau. Yn yr ÷ionosffer y lleolir yr awrora, neu oleuadau'r gogledd fel y'u gelwir yn hemisffer y gogledd. Ffocws y gwaith a gyflwynir yn yr erthygl hon yw'r ÷ionosffer yn ardal pegwn y gogledd.

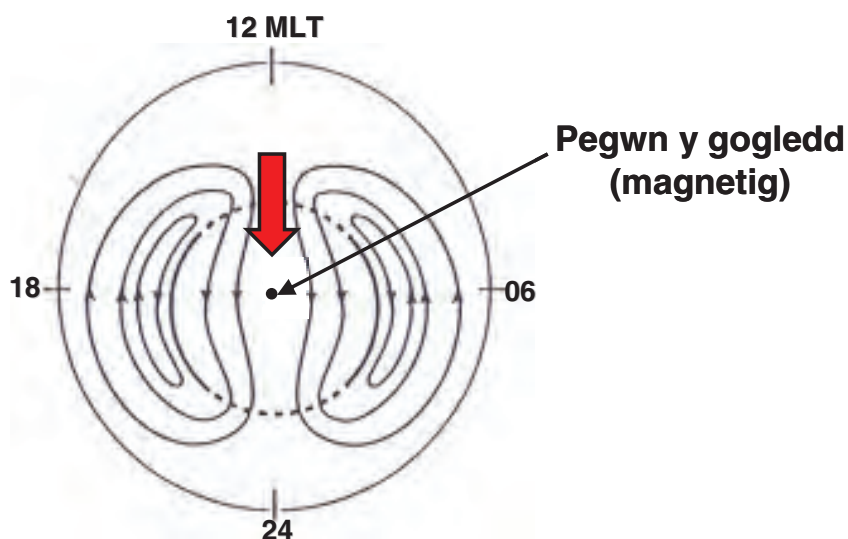
Wrth astudio nodweddion yr ÷ionosffer mae'n rhaid edrych ar y prosesau sy'n creu, dinistrio a symud y plasma. Caiff yr electronau a'r ÷ionau positif eu creu gan ddwy broses, sef ÷oneiddiad gan belydriad uwch fioled o'r Haul ac ÷oneiddiad gan ronynnau egniol o barthau pellaf ein hamgylchfyd (y magnetosffer) sy'n cael eu cyflymu i lawr i'r atmosffer. Caiff yr ÷oneiddiad ei ddinistrio wrth gyfuno mewn prosesau cemegol, a chaiff ei drawsgludo yng nghylchrediad y plasma. Gwyddys cryn dipyn am y prosesau gwahanol yma yn yr ÷ionosffer a gellir eu modelu gan raglenni cyfrifiadur, fodd bynnag, erys maint eu cyfraniadau ar unrhyw adeg neilltuol yn gwestiwn agored. Bwriad y papur yma yw edrych ar rôl y cylchrediad sy'n symud ÷oneiddiad ar draws pegwn y gogledd. Cyflwynir arsylwadau a wnaed yng ngogledd Llychlyn.



Ffigwr 1: Rhyngweithio rhwng y maes magnetig rhyngblanedol a maes magnetig y Ddaear pan fo'r maes rhyngblanedol wedi ei gyfeirio tua'r de. Mae'r Haul i'r chwith o'r ffigwr, a gwynt yr Haul yn teithio i gyfeiriad y saeth las. Caiff maes magnetig y Ddaear ei agor ger plân y cyhydedd ac yna ei dynnu gan wynt yr Haul o ochr y dydd i ochr y nos.

Yn allweddol i drawsgludiad plasma yn ardal y pegynau yw'r rhyngweithio rhwng maes magnetig y gofod rhyngblanedol a maes magnetig y Ddaear. Yr Haul yw tarddiad y maes rhyngblanedol, a chaiff ei dynnu o'r seren gan y gwynt heulog sy'n llifo o'r Haul ac yn ysgubo dros y planedau gan gynnwys y Ddaear. Pan fo'r maes yn taro ar faes magnetig y Ddaear mae'r ddau yn atgysylltu, gyda lleoliad yr atgysylltu yn dibynnu ar gyfeiriad y maes rhyngblanedol. Mae lleoliad yr atgysylltu yma yn allweddol i batrwm y llif yn yr atmosffer drydanol ar ledredau uchel. Gwelir enghraifft yn Ffigwr 1. Yma mae'r Haul i'r chwith o'r ffigwr a'r maes magnetig rhyngblanedol wedi'i gyfeirio tua'r de, yn ddirgroes i faes magnetig y Ddaear. Mae'r atgysylltu ger plân y cyhydedd, a chaiff maes magnetig y Ddaear ei agor yn y fan yma. Wrth i wynt yr Haul a'r maes magnetig rhyngblanedol ysgubo dros y Ddaear tynnir maes magnetig y Ddaear o ochr y dydd i ochr y nos, a chaiff yr ïoneiddiad ar ledredau uchel yn yr atmosffer ei ddwyn gyda'r maes ar draws y parthau pegynol.

Dangosir cyfeiriad y llif plasma yn yr ïonosffer gan y lliniau yn Ffigwr 2. Edrychir yma ar y Ddaear oddi uchod i begwn y gogledd. Mae'r pegwn magnetig yng nghanol y cylch, gyda hanner dydd amser lleol magnetig (MLT) ar y top a chanol nos ar y gwaelod. Gwelir bod y llif wedi ei gyfeirio ar draws ardal y pegwn o'r dydd i'r nos, gyda'r saeth goch yn pwysleisio y man lle mae'r plasma yn cael ei dynnu oherwydd yr atgysylltu rhwng y meysydd magnetig a ddangosir yn Ffigwr 1. Dychwela'r plasma i ochr y dydd ar ledredau is ar ochr min nos ac ochr y wawr, a cheir patrwm dwy gell i'r llif. Os yw'r ïoneiddiad sy'n cael ei gludo yn y llif ar uchder o ~350km-400km, mae'n debygol fod ei oes yn ddigon hir iddo deithio yr holl ffordd ar draws y lledredau pegynol o ochr y dydd ac i mewn i sector y nos. Ar uchderau is mae oes y plasma yn fyrrach gan fod amllder gwrthdrawiadau rhwng gronynnau'r atmosffer yn fwy. Patrwm delfrydol o'r llif a ddangosir yn Ffigwr 2 ac mewn gwirionedd mae amrywiadau cyson yng nghyfeiriad a maint y maes magnetig rhyngblanedol yn achosi amrywiadau sylweddol yn ffurf y patrwm llif (Cowley et al., 1991) a'r strwythur plasma sy'n cael ei gludo ar draws y pegwn.



Ffigwr 2: Lliniau yn dangos patrwm llif plasma ar ledredau uchel pan fo'r maes magnetig rhyngblanedol wedi'i gyfeirio tua'r de. Edrychir i lawr ar y Ddaear gyda phegwn y gogledd magnetig yng nghanol y cylch, canol dydd (amser lleol magnetig, MLT) ar y top, canol nos ar y gwaelod, min nos ar y chwith a'r wawr ar y dde. Mae'r llif ar draws ardal y pegwn

o'r dydd i'r nos, ac yna'n dychwelyd ar ledredau is mewn patrwm dwy gell. Dangosa'r saeth goch yr ardal ble caiff maes magnetig y Ddaear a'r ìoneiddiad ei dynnu o ochr y dydd tua'r nos oherwydd yr atgysylltu rhwng maes magnetig y Ddaear a'r maes magnetig rhyngblanedol.

Defnyddiwyd sawl dull arsylwi i fesur crynodiad yr electronau (nifer o electronau yr uned cyfaint) yn ardal pegwn y gogledd. Adolygir y dulliau arsylwi a'r strwythurau yn yr ìoneiddiad gan Crowley (1996). Gwelwyd strwythurau mawr o ìoneiddiad yn ardal y pegwn pan fo gan y maes magnetig rhyngblanedol gydran tua'r de, sef $B_z < 0$ (McEwen a Harris, 1996). Roedd y strwythurau yn teithio ar fuanedd o rhwng 300 a 1000 m s⁻¹. Nid oes dealltwriaeth lawn gennym o'r prosesau sy'n creu'r crynodiad uchel, gyda gronynnau egniïol (Weber et al., 1984) a phelydriad yr Haul ar ledredau is (Buchau et al., 1985) wedi eu cynnig. Erbyn hyn mae'r dystiolaeth arbrofol yn tueddu i gefnogi pelydriad yr Haul fel y prif ddull gyda'r ìoneiddiad o ledredau is ar ochr y dydd yn cael ei dynnu yn y patrwm llif tua'r pegwn. Cofnododd Buchau et al. (1985) lefel crynodiad ger y pegwn tebyg i'r hyn a welir ar ledredau is, tra bo arsylwadau Pryse et al. (2004) yn awgrymu fod y crynodiad uchel yn deillio ar ochr ddeheuol y patrwm llif yn sector y prynhawn. Cynigiodd Valladares et al. (1994) fod y plasma yn llifo mewn tafod-ìoneiddiad o ledredau is ar ochr y dydd tuag at y pegwn, a chyflwynodd Sims et al. (2005) arsylwadau o'r tafod. Awgrymwyd sawl dull o dorri'r tafod i strwythurau llai, gan gynnwys: amrywiadau ym mhatrwm y llif plasma (Sojka et al., 1993), ehangiad a chyfangiad ym maint y rhanbarth pegynol (Anderson et al., 1988), a chynnydd yng nghyfradd cyfuno'r electronau a'r ìonau mewn llif sydyn (Rodger et al., 1994).

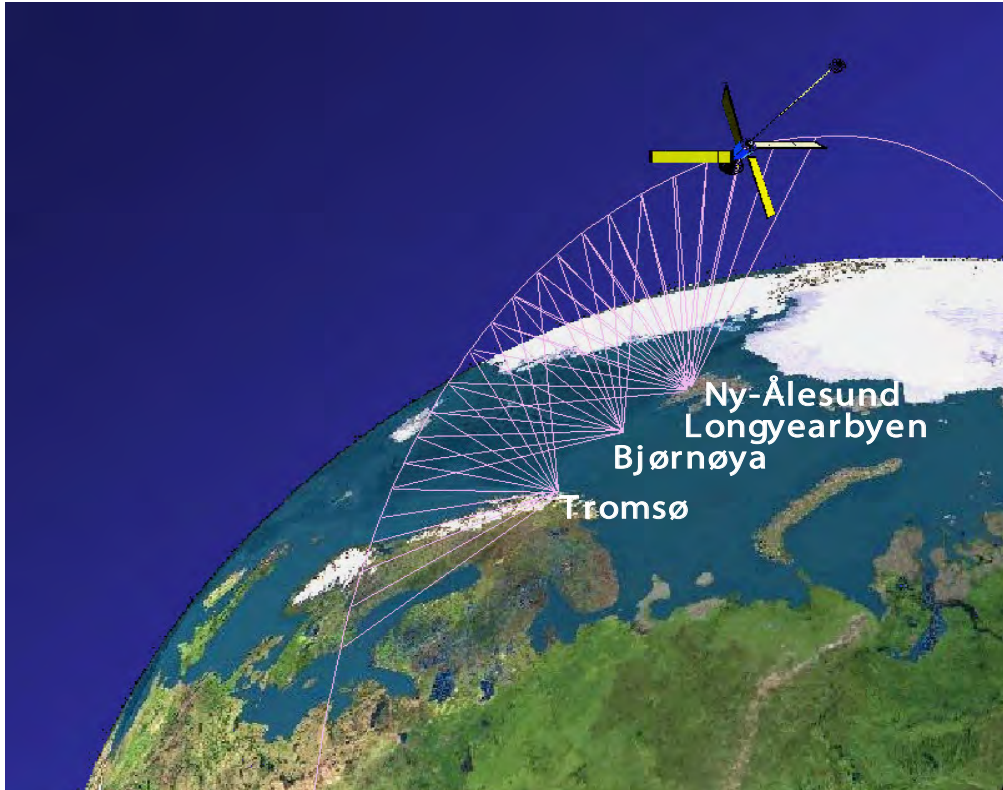
Hyd yn hyn ychydig o arsylwadau a wnaed i edrych ar rôl plasma'r dydd ar ochr y nos. Mewn gwaith modelu cynnar gan Robinson et al. (1985) awgrymwyd fod cynnydd crynodiad ger y pegwn yn cael ei dynnu i mewn i sector y nos, ble y caiff yn y man ei ad-strwythuro gan y llif i greu strwythur plasma wedi ei ymestyn mewn hydred ond yn gyfyngedig mewn lledred. Nod y papur hwn yw cyflwyno arsylwadau sy'n cefnogi'r syniad o drawsgludiad plasma o'r dydd i'r nos, gyda'r arsylwadau'n cael eu gwneud pan fo Ewrop yn sector y nos. Cyflwynir dwy enghraifft sy'n gydnaws â strwythur plasma wedi ei drawsgludo ar draws ardal y pegwn. Mae'r enghraifft gyntaf yn edrych ar gynnydd crynodiad a fesurwyd cyn hanner nos amser lleol magnetig, a'r ail yn canolbwyntio ar arsylwadau wedi hanner nos. Ffocws y gwaith yw arsylwadau gan arbrawf tomograffi radio Prifysgol Cymru Aberystwyth a rhwydwaith radar rhyngwladol SuperDARN (Super Dual Auroral Radar Network).

2. Arbrofion

2.1 Tomograffi radio

Mae gan arbrawf tomograffi radio Prifysgol Cymru Aberystwyth gadwyn o dderbynyddion signalau lloeren yng ngogledd Llychlyn. Lleolir y derbynyddion yn Ny-Ålesund (78.9°Gog, 12.0°Dn) a Longyearbyen (78.2°Gog, 15.7°Dn) ar Svalbard, Bjørnøya (74.5°Gog, 19.0°Dn) a Tromsø (69.6°Gog, 19.2°Dn) ar brif dir Norwy (Ffigwr 3). Mae'r

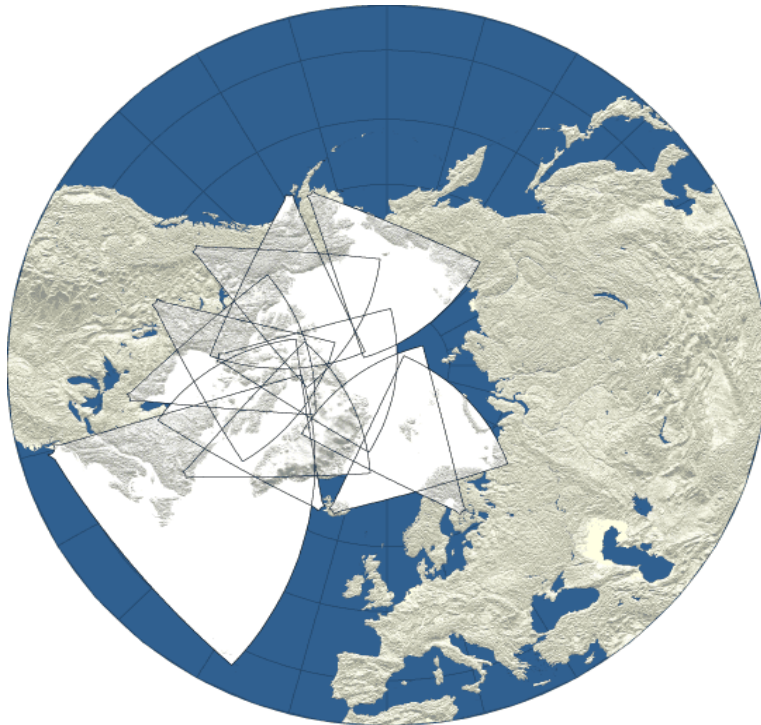
derbynyddion yn monitro signalau radio 150 MHz a 400 MHz o loerennau y system NIMS (Navy Ionospheric Monitoring System) sydd mewn orbitau pegynol ar uchderau o tua 1,100 km. Maent yn mesur cynnwys electronau yr ïonosffer ar hyd nifer fawr o lwybrau rhwng lloeren a dderbynydd sy'n rhyngdorri'i gilydd. Defnyddir dulliau tomograffig i wrthdroi'r data a darganfod crynodiad yr electronau mewn plân uchder-lledred yn yr ïonosffer (Pryse et al., 2003).



Ffigwr 3: Arbrawf tomograffi radio Prifysgol Cymru Aberystwyth yn yr Arctig uchel gyda derbynyddion signalau lloeren yn Ny-Ålesund, Longyearbyen, Bjørnøya a Tromsø.

2.2 Rhwydwaith radar SuperDARN

Mae gan rwydwaith SuperDARN nifer o systemau radar yn hemisffer y gogledd (Ffigwr 4) ac yn hemisffer y de (Greenwald et al., 1995). Prifysgol Caerlŷr sy'n gyfrifol am ddau ohonynt yn hemisffer y gogledd, yn y Ffindir a Gwlad yr Iâ. Mae'r systemau yn mesur cyflymder a chyfeiriad llorweddol y llif plasma. Yn y gwaith a gyflwynir yma defnyddiwyd y mesuriadau o'r llif i fowldio mapiau o'r potensial trydan yn ardal pegwn y gogledd, er mwyn canfod y potensial ac felly y patrwm llif plasma yn yr ardal (Ruohoniemi a Baker, 1998).



Ffigwr 4: System radar SuperDARN. Dangosir meysydd gweld y system yn hemisffer y gogledd. Mae Prifysgol Caerlŷr yn gyfrifol am y radar yng Ngwlad yr Iâ a'r un yn y Ffindir. (o <http://superdarn.jhuapl.edu>)

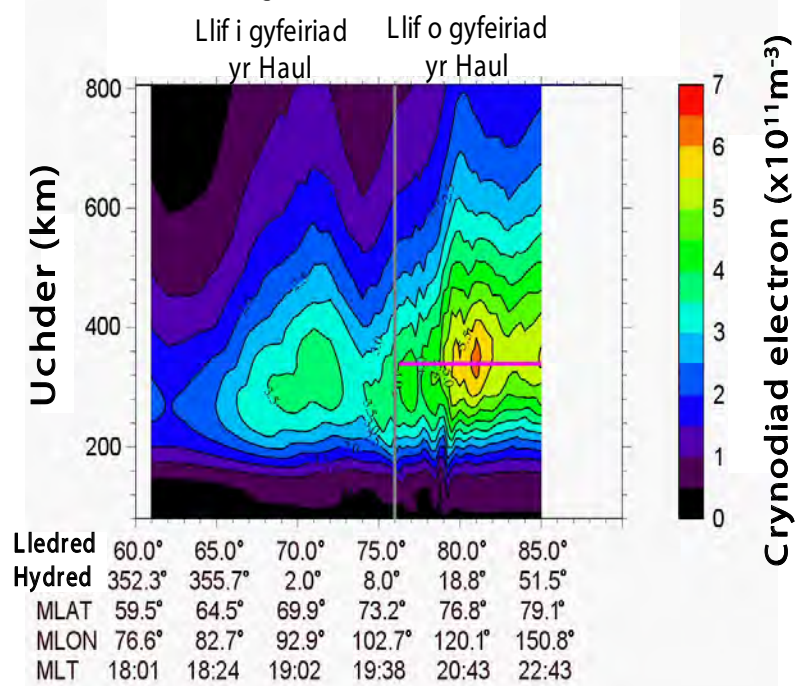
3. Arsyllwadau

3.1 Min nos: 14 Tachwedd 2002

3.1.1 Delwedd tomograffi 1720UT

Mae'r ddelwedd tomograffi yn Ffigwr 5 ar gyfer pàs lloeren a groesodd ledred geograffig 75°Gog am 1720UT wrth deithio tua'r de ar 14 Tachwedd 2002. Dengys fod yr ionosffer yn llawn strwythur, gyda chynnydd crynodiad sylweddol yn y rhan ogleddol. Ni fyddai pelydriad yr Haul wedi creu'r strwythur yn uniongyrchol yn y man yma yn ystod oriau'r nos. Ymestyn y crynodiad uchel o ledred geomagnetig 74°MLAT y tu hwnt i ochr dde maes y plân. Mae'r crynodiad maxsimwm o fwy na $6 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$, ger 77.5°MLAT. Dangosir amrediad lledred y strwythur gan y llinell binc ar uchder o 350km, sy'n ymestyn tua'r gogledd o amlin $4 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$. Awgryma uchder y strwythur fod ganddo oes o sawl awr, a'i fod yn debygol o fod wedi ei greu cyn adeg yr arsyllwad. Cadarnheir hyn gan arsyllwadau gan radar rhyngwladol EISCAT (European Incoherent Scatter Radar) (Pryse et al., 2006). Mae cynnydd crynodiad electron arall yn y ffigwr wedi ei ganoli ar 70°MLAT, ond mae'r crynodiad yn llai yma gyda maxsimwm o $3.5 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$. Gwahenir y ddau gynnydd gan wrthdroad yng nghyfeiriad y llif plasma ar ledred a ddynodir gan y llinell lwyd ac a gyflwynir yn fwy manwl yn y rhan nesaf (3.1.2). Lleolir y cynnydd crynodiad mwyaf yn y llif o gyfeiriad yr Haul, a'r cynnydd llai yn y llif dychwelyd i gyfeiriad yr Haul.

Delwedd Tomograffi: 14 Tachwedd 2002 17:20 UT



Ffigwr 5: Delwedd tomograffi ar gyfer pàs lloeren a groesodd ledred 75°Gog am 1720UT ar 14 Tachwedd 2002 wrth deithio tua'r de. Dangosa'r llinell binc amrediad lledred y cynnydd crynodiad electron mawr sydd wedi ei leoli yn y llif o gyfeiriad yr Haul. Mae'r cynnydd llai ar ledredau is yn y llif dychwelyd. Gwahaner y ddau strwythur gan y llinell llwy sy'n dynodi lledred y gwrthdroad yn y llif. (MLAT: lledred magnetig, MLON: hydred magnetig, MLT: amser lleol magnetig)

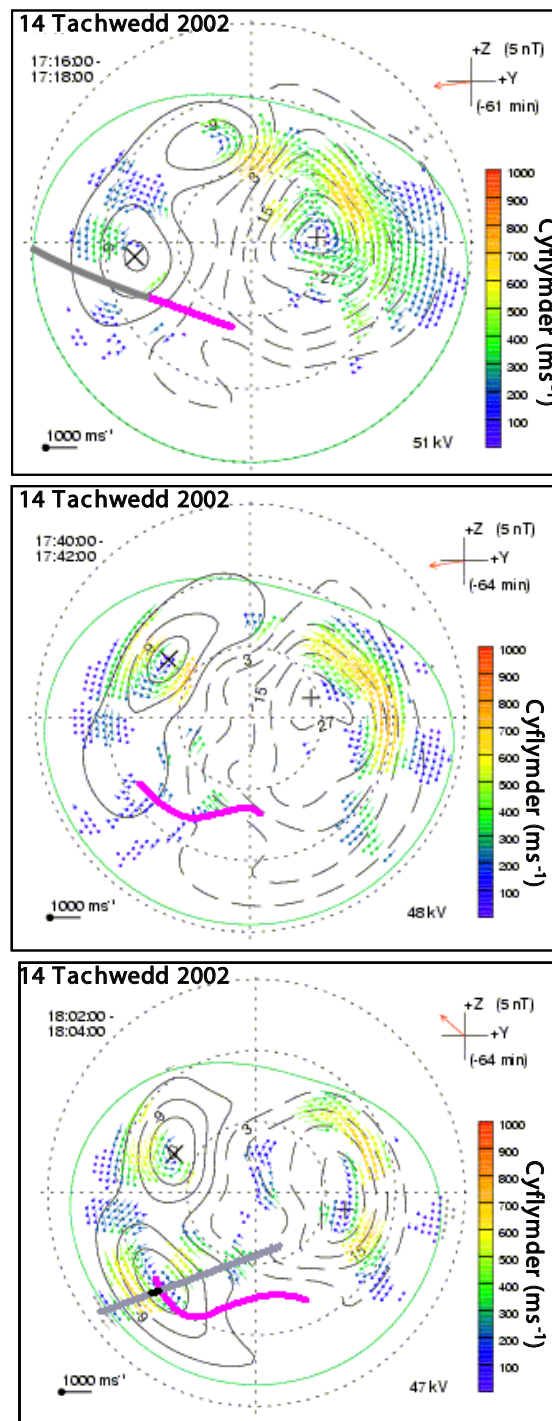
3.1.2 Patrwm y llif plasma 1716-1804UT

Dangosir amliniau potensial trydan a gaed gan system radar SuperDARN yn Ffigwr 6. Ym mhob panel edrychir i lawr ar begwn y gogledd magnetig, sydd yng nghanol y cylch. Mae amser lleol magnetig (MLT) ar y cylchedd gyda hanner dydd ar y top. Dengys y cylchoedd ledredau magnetig yn ymestyn o 60°MLAT ar y cylch allanol i 90°MLAT yn y canol. Dangosir hefyd fectorau cyflymder llorweddol y plasma a fesurwyd gan y rhwydwaith radar ac a ddefnyddiwyd i fowldio'r amliniau potensial trydan. Gan fod y plasma'n llifo ar hyd amliniau potensial trydan yn yr ardal yma o'r ionosffer, mae ffurf yr amliniau'n cyfateb i batrwm y llif plasma yn hemisffer y gogledd. Mae'r patrwm llif dwy gell yn amlwg ond heb fod yn gwbl gymesur, gyda'r llif yn ardal y pegwn wedi ei ddadleoli tuag at ochr min nos.

Mae amser y panel cyntaf (1716UT-1718UT) yn Ffigwr 6 yn cyfateb i arsylwad y cynnydd crynodiad electron mawr ar ochr dde Ffigwr 5, ychydig funudau cyn i'r lloeren groesi 75°Gog am 1720UT. Dangosir llwybr y pàs lloeren wedi ei fapio i uchder o 350km ar y panel. Mae'r llwybr yn sector yr hwyr, yn ymestyn o tua 60°MLAT i 80°MLAT. O ddiddordeb

penodol yw'r rhan binc sy'n cyfateb i amrediad lledred y crynodiad electron mawr. Gwelir fod y strwythur yma wedi ei leoli yn union yn y llif ar draws ardal y pegwn o'r dydd i'r nos.

Defnyddiwyd patrymau llif tebyg i'r rhai ym mhaneli Ffigur 6, a fesurwyd bob dau funud gan y system radar rhwng 1716UT a 1802UT, i dafluio safle'r cynnydd plasma ymlaen mewn amser.



Ffigur 6: Patrymau potensial trydan a fectorau llif plasma a fesurwyd gan system radar SuperDARN am a) 1716UT, b) 1740UT a c) 1802UT ar 14 Tachwedd 2002. Mae pegwn

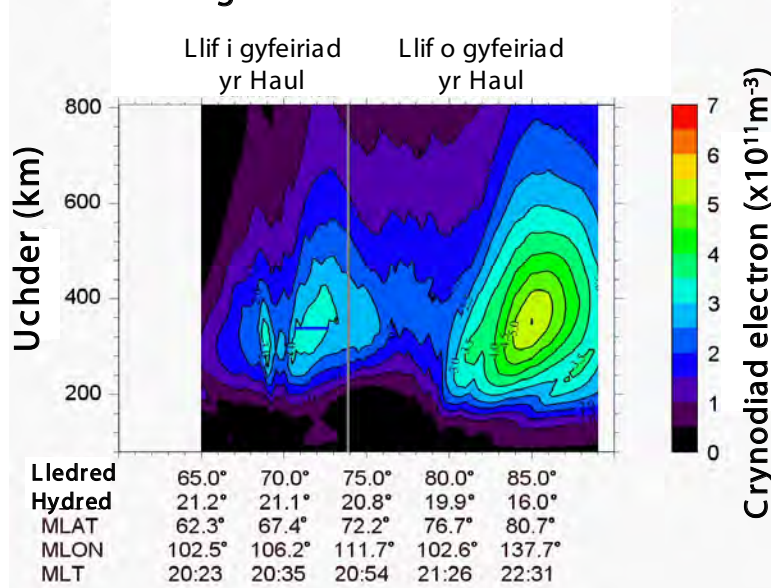
magnetig y gogledd yng nghanol pob cylch, amser lleol magnetig ar y cylchedd gyda hanner dydd ar y top, a lledred magnetig rhwng 60°MLAT a 90°MLAT ar hyd y radiws. Dangosir llwybr pàs lloeren 1720UT wedi ei fapio i uchder o 350km ar y panel cyntaf, a llwybr pàs lloeren 1802UT ar y trydydd panel. Mae'r llinell binc yn y panel cyntaf yn dangos amrediad lledred y crynodiad electron uchel yn Ffigwr 5, a gwelir ei dafluniad drwy amser yn y paneli sy'n dilyn. Nodir mewn glas ar lwybr y pàs yn y trydydd panel leoliad y strwythur plasma ar ledredau is yn Ffigwr 7 sydd yn y llif dychwelyd.

Amcangyfrifwyd cryfder a chyfeiriad y maes trydan ar bwyntiau ar hyd y llinell binc yn y panel cyntaf, a thafluniwyd lleoliad y strwythur ymlaen drwy ddau funud gan dybio ei fod yn symud ar gyflymder $(E \times B) / |B|^2$ (Hargreaves, 1992). Ail-adroddwyd y broses dros gyfnodau o ddau funud gan ddefnyddio'r patrwm llif cyfatebol tan 1802UT. Dengys y gromlin binc yn y panel canol leoliad y strwythur hanner ffordd drwy'r cyfnod amser, a'r gromlin yn y trydydd panel ei leoliad terfynol am 1802UT. Gwelir yn y panel olaf fod ochr ddeheuol y strwythur gwreiddiol yn y llif sy'n dychwelyd tuag at gyfeiriad yr Haul yng nghell y prynhawn, tra bod ei ben gogleddol yn ymestyn tua chell y wawr. Awgryma'r tafluniad y byddai'r strwythur yn cael ei ymestyn mewn hydred yn ystod y 46 munud rhwng 1716UT a 1802UT, gan orwedd ar ddiwedd y cyfnod yn y llif dychwelyd ar ledredau is.

3.1.3 Delwedd tomograffi 1802UT

Dangosir delwedd tomograffi ar gyfer pàs lloeren a groesodd ledred 75°Gog am 1802UT wrth deithio tua'r de yn Ffigwr 7. O ddiddordeb arbennig yw'r cynnydd crynodiad rhwng 68°MLAT a 70°MLAT a ddiffinnir gan amlin $3 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$. Dangosir ei groestoriad lledred gan y llinell las dywyll. Mae llwybr y pàs lloeren wedi ei fapio i uchder o 350 km ar y patrwm potensial trydan yn nhrydydd panel Ffigwr 6. Mae'r rhan las tywyll bychan ar y llinell lwyd yn cyfateb i'r croestoriad drwy'r cynnydd crynodiad. Gwelir fod y cynnydd crynodiad yn y llif sy'n dychwelyd tua'r dydd a'i fod wedi ei gydleoli'n agos â'r tafluniad pinc.

Delwedd Tomograffi: 14 Tachwedd 2002 18:02 UT



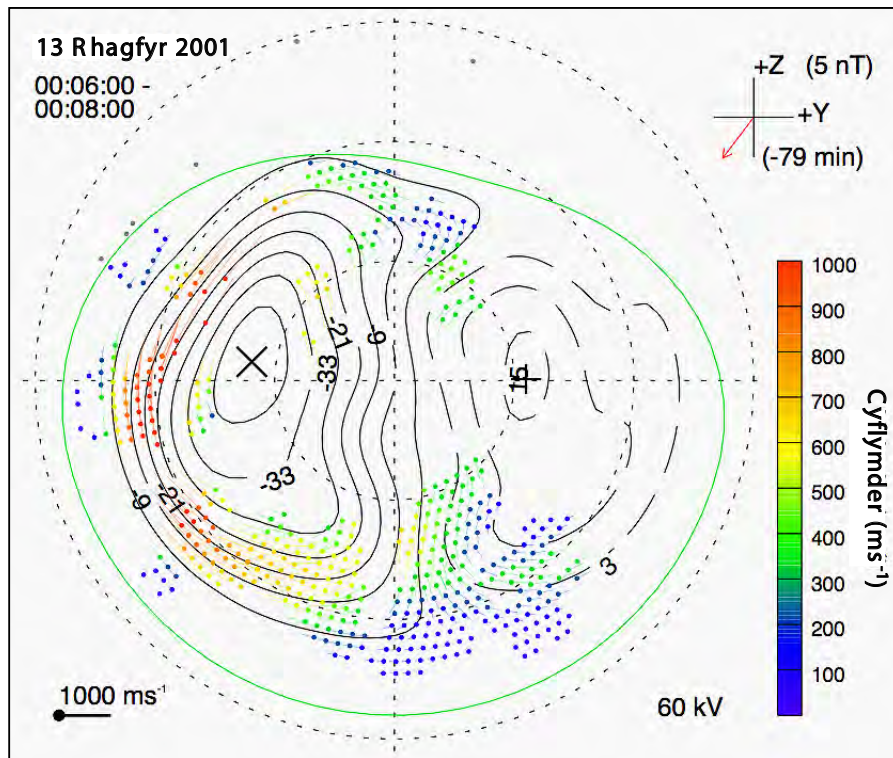
Ffigwr 7: Delwedd tomograffi ar gyfer pàs lloeren a groesodd ledred 75°Gog am 1802UT wrth deithio tua'r de ar 14 Tachwedd 2002. Dengys y llinell las lorweddol (68°-70°MLAT) amrediad lledred y cynnydd crynodiad electron yn y llif dychwelyd. (MLAT: lledred magnetig, MLON: hydred magnetig, MLT: amser lleol magnetig)

Mae'r ddelwedd tomograffi yn Ffigwr 7, felly, yn cefnogi'r dehongliad fod y crynodiad uchel a welwyd yn y llif dros y pegwn wedi ei ad-strwythuro fel bod ei ochr ddeheuol yn cael ei thynnu yn y llif dychwelyd ym min nos. Mae'n debygol fod pen gogleddol y cynnydd pegynol wedi cael ei dynnu yn llif dychwelyd cell y wawr, ond yn anffodus nid oedd pàs lloeren a delwedd tomograffi ar gael i gadarnhau hyn.

3.2 Wedi canol nos: 12-13 Rhagfyr 2001

3.2.1 Patrwm y llif plasma 0006-0008UT

Mae'r ail enghraifft hefyd o gyfnod pan oedd y llif plasma yn gyson ar draws pegwn y gogledd o ochr y dydd i'r nos. Dangosir yn Ffigwr 8 y potensial trydan a fectorau cyflymder llif a fesurwyd gan SuperDARN am 0006-0008UT ar 13 Rhagfyr 2001. Mae'r patrwm dwy gell a welir yma yn gynrychioliadol o'r mesuriadau drwy gydol y cyfnod o ddiddordeb rhwng 2305UT ar 12 Rhagfyr a 0243UT ar 13 Rhagfyr.

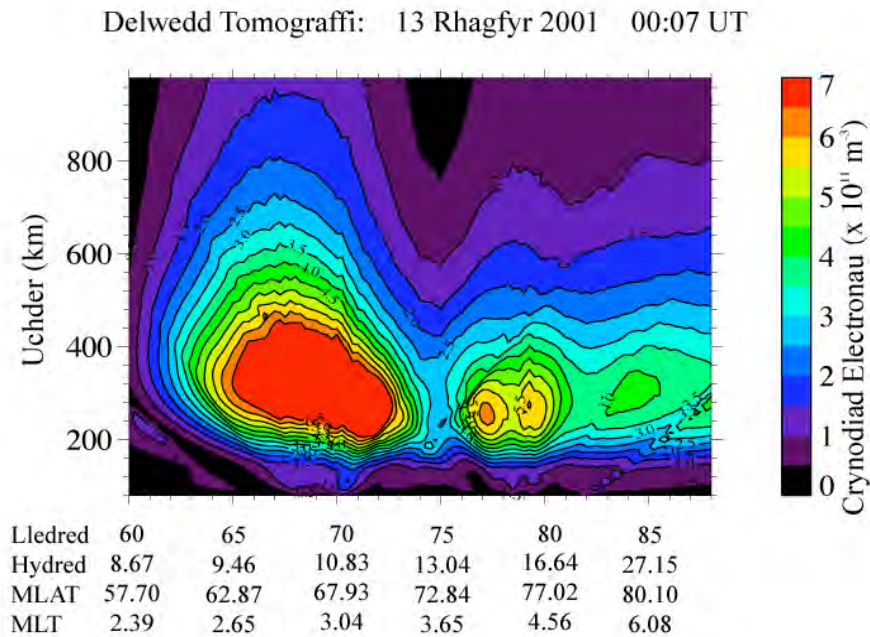


Ffigwr 8: Patrwm potensial trydan a fectorau llif plasma a fesurwyd gan system radar SuperDARN am 0006UT ar 13 Rhagfyr 2001. Mae pegwn magnetig y gogledd yng nghanol y cylch, amser lleol magnetig ar y cylchedd gyda hanner dydd ar y top, a lledred magnetig rhwng 60°MLAT a 90°MLAT ar hyd y radiws.

3.2.2 Delwedd tomograffi 0007UT

Dangosir y ddelwedd tomograffi ar gyfer pàs lloeren a groesodd ledred 75°Gog am 0007UT yn Ffigwr 9. Gwelir yma, unwaith eto, fod ionosffer y nos yn llawn strwythur. O brif

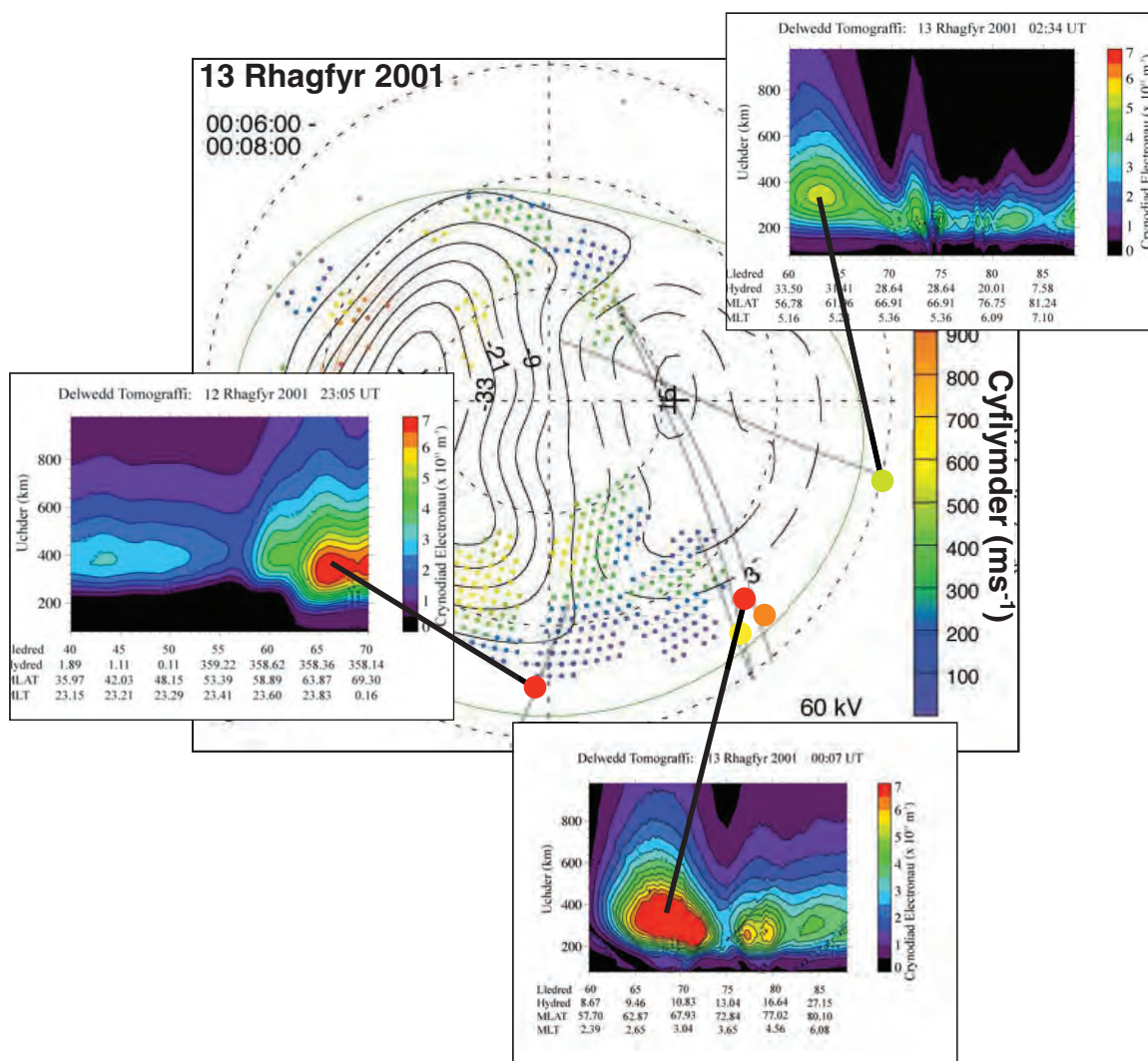
ddiddordeb yw'r cynnydd crynodiad yn rhan ddeheuol y ffigwr gyda chrynodiad electron o fwy na $7 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$ rhwng 62°MLAT a 70.5°MLAT . Gan fod y strwythur yma yn y nos, nid yw wedi cael ei greu'n uniongyrchol gan belydriad yr Haul yn safle'r arsylwad. I'r gogledd o'r cynnydd a hefyd oddi isod iddo ceir casgliad o strwythurau sy'n llai o faint, yn is mewn uchder ac yn llai o ran crynodiad. Mae'r rhain yn fwy cydnaws ag ìoneiddiad sydd wedi ei greu gan ronynnau egnïol yn cael eu cyflymu i mewn i'r atmosffer.



Ffigwr 9: Delwedd tomograffi ar gyfer pàs lloeren a groesodd lledred 75° Gog am 0007UT ar 13 Rhagfyr 2001. (MLAT: lledred magnetig, MLT: amser lleol magnetig)

3.2.3 Cymharu delweddau tomograffi â'r llif plasma

Gwelwyd y cynnydd crynodiad electron mawr a ddangoswyd yn Ffigwr 9 mewn pum delwedd tomograffi dilynol rhwng 2305UT ar 12 Rhagfyr a 0243UT ar 13 Rhagfyr, tri ohonynt wedi eu monitro gan y gadwyn tomograffi yn Llychlyn a'r ddau arall wedi'u monitro gan gadwyn tomograffi ym Mhrydain. Dangosir llwybrau'r lloerennau wedi'u mapio ar y patrwm llif yn Ffigwr 10, a nodir ar bob un leoliad crynodiad mocsimwm y cynnydd. Awgrymir fod y cynnydd wedi ei leoli yn y llif a ddaeth dros y pegwn ac sy'n dychwelyd tuag at y dydd, ar ochr y wawr yn bennaf yn yr achos yma. Mae maint y crynodiad mocsimwm yn gostwng tua'r wawr wrth i'r ìonau positif a'r electronau gyfuno gyda threigl amser. Roedd y cynnydd crynodiad ar uchder o $\sim 350\text{km}$ - 400km hefyd yn glir yn y mesuriadau a wnaed gan radar UHF EISCAT yn Tromsø, Gogledd Norwy (Middleton et al., 2005).



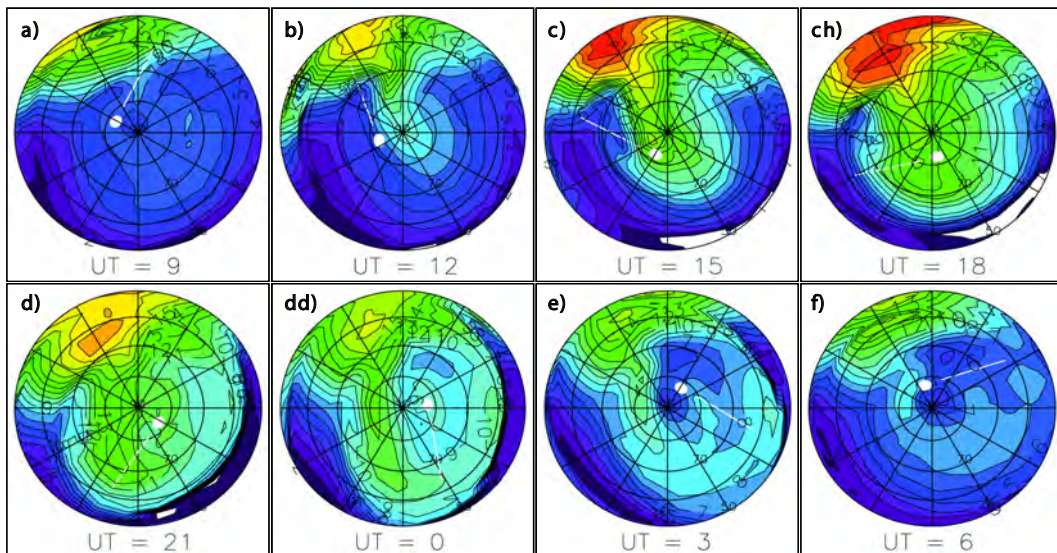
Ffigwr 10: Delweddau tomograffi rhwng 2305UT ar 12 Rhagfyr 2001 a 0243UT ar 13 Rhagfyr 2001. Dangosir lleoliad y crynodiad macsimwm ym mhob achos ar batrwm y potensial trydan (llef plasma) a fesurwyd gan system radar SuperDARN. Dangosir hefyd lleoliad y crynodiad macsimwm ar ddwy ddelwedd tomograffi arall a fesurwyd yn ystod y cyfnod. (MLAT: lledred magnetig, MLT: amser lleol magnetig)

4. Trafodaeth

Mae dwy enghraifft o gynnydd sylweddol yn y crynodiad electron ar ochr y nos wedi'u cyflwyno. Yn yr achosion hyn nid oedd pelydriad yr Haul wedi creu'r strwythurau'n uniongyrchol yn safleoedd yr arsylwadau. Roedd uchder y plasma (~350km-400km) yn awgrymu fod gan yr ïoneiddiad oes hir o sawl awr. Byddai hyn yn caniatáu i'r strwythur gael ei greu ar ochr y dydd cyn amser yr arsylwadau, ac yna i lifo i ochr y nos. Ar uchderau is, lle mae amlder gwrthdrawiadau rhwng gronynnau yr atmosffer yn fwy, byddai'r ïoneiddiad wedi'i ddinistrio. Nid oedd gronynnau egniol yn cyfrannu'n sylweddol at y strwythurau mawr o ddiddordeb, a chefnogwyd hyn gan fesuriadau system radar EISCAT (Pryse et al., 2006; Middleton et al., 2005). Awgryma'r mesuriadau

llif a chrynodiad fod yr ïoneiddiad wedi llifo drwy ranbarth y pegwn a chael ei dynnu i sector y nos lle y cafodd ei adffurfio a'i ymestyn yn y llif dychwelyd ar ledredau is, naill ai yn y gell ar ochr y prynhawn neu yn y gell ar ochr y wawr.

Elfen bwysig i'w hystyried yw'r hyn sy'n digwydd i'r cynnydd ïoneiddiad wedi iddo lifo i sector y nos. Mae hyn o ddiddordeb i ddefnyddwyr systemau cyfathrebu, gan y gall ymylon serth y strwythurau a ffurfir fod yn andwyol i ledaeniad tonnau radio. Modelwyd trawsgludiad yr ïoneiddiad gan fodel CTIP (Coupled Thermosphere Ionosphere Plasmasphere) Prifysgol Sheffield. Gwelir allbwn ar gyfer 12-13 Rhagfyr 2001 yn Ffigwr 11 ar ysbeidiau o dair awr amser cyffredinol (Universal Time, UT). Mae'r cyfnod hyn yn cyd-fynd ag amser y delweddau tomograffi yn Ffigwr 10. Ym mhob panel edrychir i lawr ar begwn y gogledd magnetig, sydd yng nghanol y cylch. Dengys y cylchoedd ledredau magnetig yn ymestyn o 50°MLAT ar y tu allan i 90°MLAT yn y canol. Mae amser lleol magnetig ar bob cylchedd gyda chanol dydd ar y top, canol nos ar y gwaelod, min nos ar y chwith a'r wawr ar y dde. Mae Cymru ar ledred ger 50°MLAT, ac ar ochr y dydd tua 12UT a'r nos tua 00UT. Dengys y cylch bychan gwyn leoliad y pegwn geograffig. Mae'r llinell wen sy'n ymestyn i'r de o'r cylch yn dangos lleoliad hydred 18°Dw, yn agos i'r gadwyn tomograffi yn Llychlyn. O ddiddordeb arbennig yw'r amliniau sy'n dangos crynodiad yr electronau. Ym mhob panel gwelir y crynodiad mwyaf ar ochr y dydd lle mae pelydriad yr Haul yn creu electronau ac ïonau positif. Gwelir yn amlwg yn y paneli rhwng 12UT a 03UT y tafod-ïoneiddiad sy'n cael ei dynnu gan gylchrediad y llif o ochr y dydd tua'r nos ar draws y lledredau pegynol. Mae'r tafod ar ei fwyaf tua 18-21UT pan yw Ewrop ar ochr y nos ac ar ei leiaf tua 06UT-09UT. Rhwng 00UT a 03UT mae'n ymestyn drwy ranbarth y pegwn ac yn cael ei dynnu i ochr y wawr, yn unol â'r arsylwadau.



Ffigwr 11: Yr ïonosffer a fodelwyd gan CTIP fel ffwythiant o ledred magnetig (MLAT) ar y radiws ac amser lleol magnetig (MLT) ar y cylchedd. Mae canol dydd ar dop pob cylch a chanol nos ar y gwaelod, gyda min nos ar yr ochr chwith a'r wawr ar y dde. Mae'r raddfa lledred yn ymestyn o 50°MLAT i'r pegwn magnetig yn y canol, ac mae'r paneli ar ysbeidiau dair awr o amser cyffredinol (UT).

Dangosa'r modelu fod y llif plasma ar draws y pegwn yn dibynnu ar amser UT. Y rheswm am hyn yw'r gwahaniaeth lleoliad rhwng y pegwn geograffig a'r pegwn magnetig. Er mwyn egluro, mae'n rhaid cadw mewn cof fod y plasma sy'n cael ei greu gan belydriad yr Haul yn ddibynnol ar y system geograffig, ond llif y plasma yn cael ei reoli yn y system geomagnetig. Felly, pan fo'r pegwn magnetig yn nes at yr Haul na'r pegwn geograffig mae mwy o'r patrwm llif plasma dwy gell yng ngoleuni'r Haul. Digwydd hyn pan fo'r Unol Daleithiau yn sector y dydd, ac mae'r effaith ar ei fwyaf tua 18UT. O ganlyniad bydd mwy o ïoneiddiad a grëwyd gan belydriad yr Haul yn cael ei dynnu tuag at y pegwn nag ar amserau UT eraill. Yn ei dro caiff yr ïoneiddiad ei dynnu dros ledredau pegynol ac i mewn i Ewrop yn sector y nos. Yn gyferbyniol, pan yw Ewrop yn sector y dydd mae'r pegwn geograffig yn nes at yr Haul na'r pegwn magnetig, ac nid oes gymaint o'r patrwm llif yng ngoleuni'r Haul. Yma caiff llai o ïoneiddiad ei ysgubo tua'r pegwn a sector y nos.

Mae tystiolaeth eisoes fod y crynodiad a fesurir ar ochr y dydd, ble mae'r ïoneiddiad yn cael ei dynnu tua'r pegwn, yn llai yn Ewrop nag yn sector yr Unol Daleithiau (Pryse et al., 2004). Dangosodd modelu (Bowline et al., 1996) effaith UT ar safle yr arsylwad gan nodi y disgwyliad i'r ïoneiddiad a dynnwyd dros y pegwn fod yn gymharol uchel yn Ny-Ålesund pan yw yn sector y nos. Mae'r arsylwadau a gyflwynir yn y papur hwn yn cadarnhau fod lefelau crynodiad uchel i'w cael yn Ewrop yn ystod oriau'r nos. Byddai archwiliadau tebyg mewn sectorau hydred eraill yn fuddiol er cymhariaeth. Gwnaed archwiliad cynnar i gymharu effaith hydred drwy ddefnyddio mesuriadau cyfyngedig gan systemau radar gan de la Beaujardière et al. (1985), ond mae cyfle yn awr i ehangu ar hyn drwy ddefnyddio cadwyni tomograffi yr IITC (International Ionospheric Tomography Community). Mae gan y gymuned tomograffi ryngwladol dderbynyddion yn Alaska, yr Ynys Werdd, Norwy, Ffindir a Rwsia, sy'n gwneud mesuriadau o'r ionosffer yn rheolaidd. Egyr hyn y posibilid o gymharu strwythurau crynodiad mewn sectorau hydred gwahanol.

Ystyriwyd dwy enghraifft, lle roedd llif y plasma drwy ranbarth y pegwn o'r dydd i'r nos. Mae angen ymestyn yr archwiliadau i ystyried patrymau llif eraill, a dibyniaeth strwythur y plasma ar y rhyngweithio rhwng y maes magnetig rhyngblanedol a maes magnetig y Ddaear. Yn y modd hwn gellir defnyddio arsylwadau o ad-strwythuro ïoneiddiad yn sector y nos i ddeall effaith y prosesau sy'n cyplysu'n hamgylchfyd â'r gofod.

5. Casgliad

Cyflwynwyd arsylwadau tomograffi radio a SuperDARN sy'n dangos fod strwythurau mawr o ïoneiddiad yn cael eu cludo o ardal pegwn y gogledd i sector y nos. Mae'n debygol fod y plasma wedi ei greu yng ngoleuni'r dydd gan belydriad yr Haul. Yn yr enghraifft gyntaf gwelwyd plasma yn y llif ar draws y pegwn yn cael ei ad-ffurfio yn sector y nos, ac yn cael ei dynnu'n ôl tua'r dydd yn llif dychwelyd cell min nos. Yn yr ail enghraifft roedd y plasma'n dychwelyd tua'r dydd yn bennaf yn llif cell y wawr. Cefnogwyd y dehongliad gan allbwn model CTIP a ddangosodd yr ïoneiddiad yn cael ei dynnu mewn tafod ar draws y pegwn pan yw Ewrop ar ochr y nos. Awgryma'r model na fyddai arsylwadau yn ystod y nos yn yr Unol Daleithiau yn debygol o weld crynodiad mor uchel ag a welir yn Ewrop. Mae'r maes o ddi-ddordeb i ddeall natur y prosesau sy'n cyplysu'r Ddaear â'r gofod, a hefyd i ddefnyddwyr systemau radio ymarferol.

Cydnabyddiaeth

Derbyniwyd nawdd gan yr UK Particle Physics and Astronomy Research Council (PPARC) drwy'r grant PPA/G/O/2003/00017. Gwerthfawrogir cymorth Prifysgol Tromsø, Norwy, a'r Norwegian Polar Research Institute gyda'r mesuriadau tomograffi. Ariennir system radar SuperDARN gan raglenni ymchwil cenedlaethol Awstralia, Canada, Ffindir, Ffrainc, DU, Japan, De'r Affrig, Sweden ac UDA. Cydnabyddir cymorth yr Athro Mark Lester, Prifysgol Caerlŷr, gyda data SuperDARN a gyflwynir yma. Mae AGW yn fyfyrwr ymchwil sy'n cael ei gynnal gan grant PPARC.

Llyfryddiaeth

Anderson, D.N., Buchau, J., a Heelis, R.A., (1988), 'Origin of density enhancements in the winter polar cap ionosphere', *Radio Science*, 23, 515–19.

Bowline, M.D., Sojka, J.J., a Schunk, R.W., (1996), 'Relationship of theoretical patch climatology to polar cap patch observations', *Radio Science*, 31, 635–44.

Buchau, J., Weber, E.J., Anderson, D.N., Carlson, Jr., H.C., Moore, J.G., Reinisch, B.W., a Livingston, R.C., (1985), 'Ionospheric structures in the polar cap: their origin in relation to 250-MHz scintillation', *Radio Science*, 20, 325–38.

Cowley, S.W.H., Morelli, J.P. a Lockwood, M., (1991), 'Dependence of convective flows and particle precipitation in the high-latitude dayside ionosphere on the X and Y components of the interplanetary magnetic field', *Journal of Geophysical Research*, 96, 5557–64.

Crowley, G., (1996), 'Critical review of ionospheric patches and blobs', Stone, W. R. (gol.), *URSI Review of Radio Science 1993–96*, 619–48.

de la Beaujardière, O., Wickwar, V.B., Caudal, G., Holt, J.M., Craven, J.D., Frank, L.A., Brace, L.H., Evans, D.S., Winningham, J.D., a Heelis, R.A., (1985), 'Universal time dependence of night-time F region densities at high latitudes', *Journal of Geophysical Research*, 90, 4319–32.

Greenwald, R.A., Baker, K.B., Dudeney, J.R., Pinnock, M., Jones, T.B., Thomas, E.C., Villain, J-P., Cerisier, J-C., Senior, C., Hanuise, C., Hunsucker, R.D., Sofko, G., Koehler, J., Nielsen, E., Pellinen, R., Walker, A.D.M., Sato, N., ac Yamagishi, H., (1995), 'Darn/Superdarn: A global view of the dynamics of high-latitude convection', *Space Science Review*, 71, 761–96.

Hargreaves, J.K., (1992), 'The solar-terrestrial environment', Cambridge atmospheric and Space Science Series (Cambridge, Cambridge University Press).

McEwen, D.J., a Harris, D.P., (1996), 'Occurrence patterns of F layer patches over the north magnetic pole', *Radio Science*, 31, 619–28.

Middleton, H.R., Pryse, S.E., Dewis, K.L., Wood, A.G., a Balthazor, R., (2005), 'Signatures of space weather processes in the northern polar ionosphere: Radio Tomography and the

CTIP model', 2nd European Space Weather Week, ESWW-II, ESA-ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, Tachwedd 2005 (poster).

Pryse, S.E., Wood, A.W., Middleton, H.R., McCrea, I.W., a Lester, M., (2006), 'Reconfiguration of polar-cap plasma in the magnetic midnight sector', *Annales Geophysicae*, 24, 2201–08.

Pryse, S.E., Sims, R.W., Moen, J., Kersley, L., Lorentzen, D., a Denig, W.F., (2004), 'Evidence for solar-production as a source of polar-cap plasma', *Annales. Geophysicae*, 22, 1093–102.

Pryse, S.E., (2003), 'Radio tomography: A new experimental technique', *Surveys in Geophysics*, 24, 1–38.

Robinson, R.M., Tsunoda, R.T., a Vickrey, J.F., (1985), 'Sources of F-region ionisation enhancements in the nighttime auroral zone', *Journal of Geophysical Research*, 90, 7533–46.

Rodger, A.S., Pinnock, M., Dudeney, J.R., Baker, K.B., a Greenwald, R.A., (1994), 'A new mechanism for polar patch formation', *Journal of Geophysical Research*, 99, 6425–36.

Ruohoniemi, J.M., a Baker, K.B., (1998), 'Large-scale imaging of high-latitude convection with Super Dual Auroral radar Network HF radar observations', *Journal of Geophysical Research*, 103, 20797–806.

Sims, R.W., Pryse, S.E., a Denig, W.F., (2005), 'Spatial structure of summertime ionospheric plasma near magnetic noon', *Annales Geophysicae*, 23, 25–37.

Sojka, J.J., Bowline, M.D., Schunk, R.W., Decker, D.T., Valladares, C.E., Sheehan, R., Anderson, D.N., a Heelis, R.A., (1993), 'Modelling polar-cap F-region patches using time-varying convection', *Geophysical Research Letters*, 20, 1783–6.

Valladares, C.E., Basu, S., Buchau, J., a Friis-Christensen, E., (1994), 'Experimental evidence for the formation and entry of patches into the polar cap', *Radio Science*, 29, 167–94.

Weber, E.J., Buchau, J., Moore, J.G., Sharber, J.R., Livingston, R.C., Winningham, J.D., a Reinisch, B.W., (1984), 'F-layer ionization patches in the polar cap', *Journal of Geophysical Research*, 89, 1683–94.