



Veðurstofa Íslands Greinargerð

Barði Þorkelsson

Ósonmælingar í Reykjavík 1995-1998 og ástand ósonlagsins á norðurslóðum

**VÍ-G98048-JA10
Reykjavík
Desember 1998**

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	2
2	FRAMKVÆMD DOBSONMÆLINGA OG ÁSTAND TÆKIS	3
3	NÐURSTÖÐUR MÆLINGA	3
4	ÁSTAND ÓSONLAGSINS Á NORÐURSLÓÐUM	6
4.1	Árið 1995	6
4.2	Árið 1996	7
4.3	Árið 1997	9
4.4	Árið 1998	9
5	NÐURLAG	10
6	HEIMILDASKRÁ	12

1 INNGANGUR

Hér verður fjallað um niðurstöður mælinga á heildarmagni ósons í lofthjúpnum yfir Reykjavík á árunum 1995–1998. Jafnframt eru þær settar í samhengi við niðurstöður ósonmælinga almennt á norðurslóðum á sama tímabili og við ástand mála í lofthjúpnum, einkum í heiðhvolfinu.

Fyrstu mælingar á ósoni hér á landi voru gerðar á Veðurstofu Íslands í Reykjavík á árunum 1952–1955 og var notaður til þeirra Dobson litrófsljósmælir (*spectrophotometer*) nr. 37. Þessar mælingar voru nokkuð samfelldar, en notagildi þeirra er takmarkað, þar sem ekki eru til gögn um ástand tækisins og því illmögulegt að tengja þær seinni mælingum.

Í júlí 1957, þ.e. í upphafi alþjóðajarðeðlisfræðiársins, hófust ósonmælingar í Reykjavík með Dobson litrófsljósmæli nr. 50. Þetta tæki er enn í notkun og hefur nú þjónað Veðurstofunni í meira en fjóra áratugi. Mælingarnar hafa verið gerðar með reglubundnum hætti allt tímabilið. Þannig hefur að jafnaði verið gerð a.m.k. ein mæling á dag þegar aðstæður hafa leyft. Þær eru einnig allvel samfelldar. Þó var ekkert mælt 1960, á árunum 1965–1977 vantar stundum mælingar allmarga daga í röð, en eftir það heyrir það til undantekninga. Þá hafa mælingar þrívægis fallið niður um skeið þegar tækið hefur verið sent utan til prófunar og lagfæringa.

Um mánaðamótin október–nóvember 1991 var Brewer litrófsljósmælir settur upp á Veðurstofunni í samvinnu við Háloftaeðlisfræðistofu (Laboratory of Atmospheric Physics — LAP) háskóla Aristótelesar í Þessalóníku í Grikklandi. Brewertækið hefur verið í notkun síðan og mælir heildarmagn ósons í lofthjúpnum auk nokkurra annarra þátta. Séu niðurstöður Brewermælinganna bornar saman við Dobsonmælingarnar kemur í ljós að þær falla vel saman.

Veturinn 1993–1994 var Rasas rófgreinir (*spectrometer*) til ósonmælinga starfræktur á Veðurstofunni í Reykjavík af Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) í Madrid á Spáni, en í vetrarbyrjun 1994 var hann fluttur á Keflavíkurflugvöll. Síðan í byrjun vetrar 1991 hefur INTA í samvinnu við Veðurstofuna sent upp ósonnema með loftbelgjum frá Keflavíkurflugvelli til mælinga á lóðréttri dreifingu ósons í lofthjúpnum. Þeim mælingum hefur síðan verið framhaldið yfir vetrartímann. Þá sendu bandarískir aðilar einnig upp ósonnema með loftbelgjum frá Keflavíkurflugvelli í sama skyni um skeið síðsumars 1993 og vorið 1994.

Í þessari greinargerð verður byggt á niðurstöðum Dobsonmælinga Veðurstofunnar um heildarmagn ósons. Einnig eru notaðar niðurstöður mælinga INTA og Veðurstofunnar á Keflavíkurflugvelli, einkum um hitastig í efri loftlögum (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial og Veðurstofa Íslands 1996, 1997, 1998).

2 FRAMKVÆMD DOBSONMÆLINGA OG ÁSTAND TÆKIS

Eins og áður segir hefur að jafnaði verið gerð ein Dobsonmæling á dag þegar skilyrði hafa leyft. Mæliaðferðin byggist á því að bera saman bylgjur á útfjólubláa sviðinu og eru flestar bylgjulengdirnar á bilinu 305–340 nm. Mælingar er hægt að gera á nokkrum mismunandi bylgjulengdarpörum (A, C, C', D) og eru bylgjulengdir hvers pars valdar þannig að ósonið gleypi aðra þeirra mjög vel, en hafi mjög takmörkuð áhrif á hina. Grundvallarmælingin, og sú sem gefur nákvæmastar niðurstöður, er svokölluð AD-mæling beint á sól, en við hana eru notuð bylgjulengdarpörin 306 og 325 nm annarsvegar og 318 og 340 nm hinsvegar. Þessa mælingu er hægt að gera þegar sólar nýtur við og er a.m.k. 19° yfir sjóndeildarhring, en þegar sólin er í 14–19° hæð má notast við CD-mælingu beint á sól. Þegar sólin er á bak við ský eða of lágt á lofti er að jafnaði gerð CC'-mæling í hvirfilpunkt, þó verður sólarhæð að vera a.m.k. 12.5°. Þegar hún er 9–12.5° má gera CD-mælingu í hvirfilpunkt, en sú mæling er ónákvæmari. Það tímabil ársins sem sól nær ekki 9° hæð á sólarhádegis, þ.e. frá um 10. nóvember til 31. janúar, er engar mælingar hægt að gera að gagni nema hugsanlega beint á tungl. Slíkar mælingar hafa nánast ekkert verið gerðar hér í ljósi þess hversu stopular þær hljóta að vera og kostnaðarsamar.

Mælt er heildarmagn ósons í lofthjúpnunum, þ.e. magn ósons í loftsúlu sem nær allt frá jörð á mælistað og upp í gegnum lofthjúpin. Magnið er síðan sett fram í Dobsoneringum (*De*), en ein *De* samsvarar 1/1000 cm þykku ósonlagi við staðal-aðstæður (*STP*), þ.e. við 0°C og 1013 hPa þrýsting. Jafnframt skal ósonið að öllu óblandað öðrum efnum. Að gefnum þessum aðstæðum reynist ósonlagið aðeins 0.2–0.5 cm að þykkt.

Dobsontækið hefur þrisvar verið sent utan til lagfæringa og samanburðarprófana við staðaltæki, þ.e. árin 1977, 1990 og 1995. Við samanburð við staðaltæki í Boulder í Colorado 1977 kom í ljós að tækið sýndi niðurstöður ADDS-mælinga sem voru að jafnaði 7–8% of lágar, mismunandi eftir sólarhæð. Við samskonar samanburð í Arosa í Sviss 1990 reyndust þær að jafnaði 3.16% of lágar, en í Arosa 1995 0.87% of háar. Í öll skiptin var tækið leiðrétt í samræmi við staðaltækið. Stefnt er að því að tækið verði samanburðarprófað næst árið 2000.

3 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

Tafla 1 og mynd 1 sýna ósonmeðaltöl einstakra mánaða í *De* á því tímabili sem hér er til umfjöllunar. Tafla 1 sýnir jafnframt meðaltöl fyrir tímabilið 1978–1988. Tafla 2 og mynd 2 sýna síðan frávik einstakra mánaða 1995–1998 í % frá meðaltölunum 1978–1988. Ekki var talið rétt að taka tímabil fyrir 1978 til viðmiðunar í þessu samhengi með tilliti til niðurstaðna samanburðar við staðaltæki 1977. Engar marktækar breytingar urðu á ósonmagni í Reykjavík 1957–1977. Hinsvegar minnkaði magn þess um 0.5% á ári að meðaltali sumarmánuðina 1977–1990, en ekki með marktækum hætti á öðrum árstímum sem gögn ná til (Guðmundur G. Bjarnason o.fl. 1992). Viðmiðunartímabilið var valið með tilliti þess að það spannaði eitt sólblettatímabil.

Ár	Febr.	Mars	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	Sept.	Okt.
1995	366	394	369	355	321	333	298	291	294
1996	273	334	364	365	348	339	322	283	280
1997	355	370	367	368	354	334	320	308	256
1998	380	378	407	389	368	352	338	306	294
1978–1988	359	403	395	384	354	338	318	302	297

Tafla 1. *Meðaltöl magns ósons í De í einstökum mánuðum, febrúar–október 1995–1998, ásamt meðaltölum fyrir tímabilið 1978–1988.*

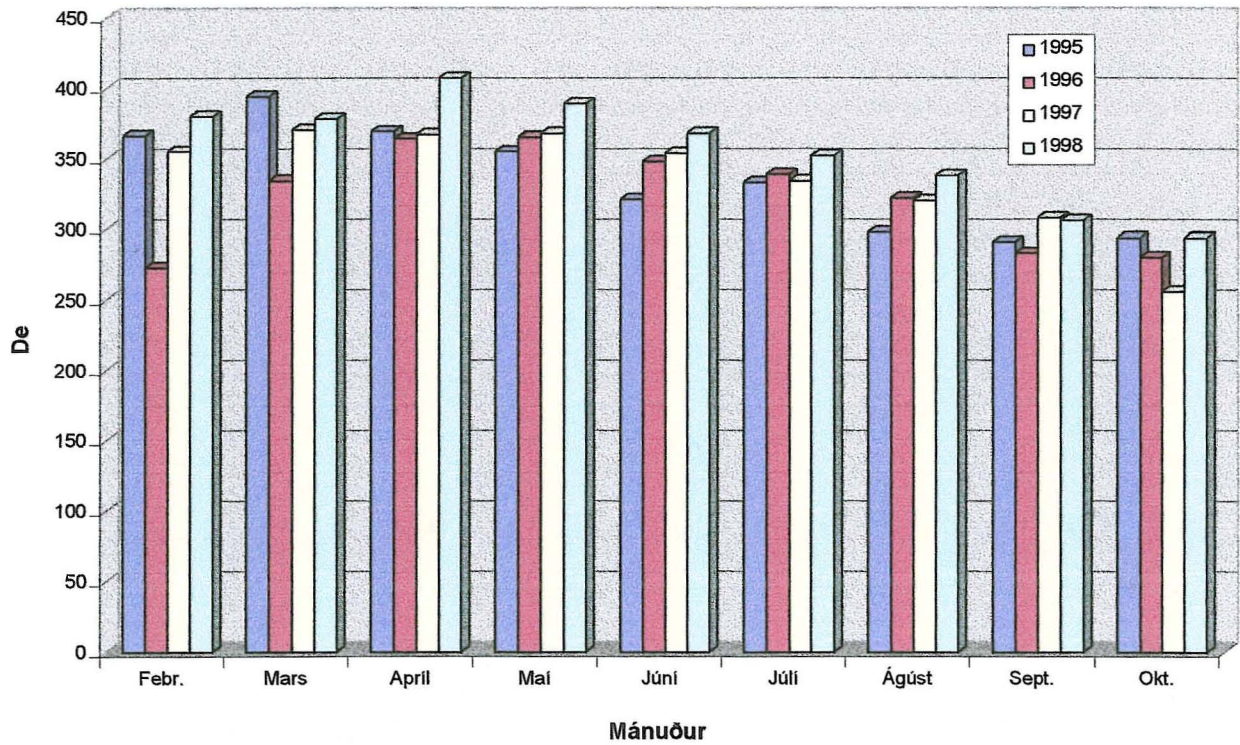
Ár	Febr.	Mars	Apríl	Maí	Júní	Júlí	Ágúst	Sept.	Okt.
1995	2	-2	-7	-8	-9	-2	-6	-4	-1
1996	-24	-17	-8	-5	-2	0	1	-6	-6
1997	-1	-8	-7	-4	0	-1	1	2	-14
1998	6	-6	3	1	4	4	6	1	-1

Tafla 2. *Frávik einstakra mánaða, febrúar–október 1995–1998, í % frá meðaltölum sömu mánaða 1978–1988.*

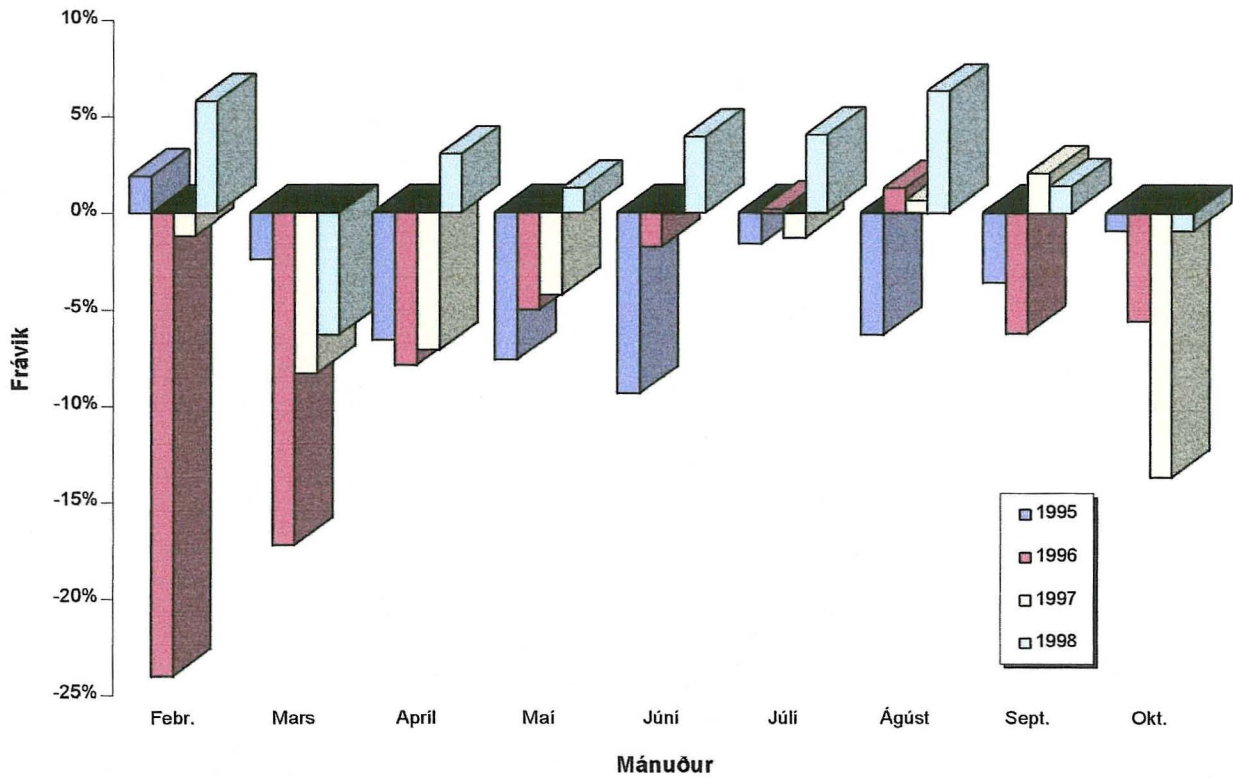
Eins og áður segir er engar marktækar mælingar hægt að gera meiri hluta nóvembermánaðar og er honum því sleppt hér.

Heildarmagn ósons í lofthjúpnunum á okkar breiddargráðum er mjög breytilegt eftir árstíma. Því veldur einkum mismikið aðstreymi ósons í háloftunum frá svæðunum kringum miðbaug, þar sem myndun þess í heiðhvolfinu á sér að mestu leyti stað. Mest er ósonmagnið síðla vetrar, nánar tiltekið eftir miðjan mars, en minnkar síðan jafnt og þétt er líður fram á vor og sumar og allt fram í október–nóvember og hefur þá minnkað um 25–30%. Síðan tekur það að aukast lítillega uns verulegur vöxtur kemur í það í febrúar og áfram fram yfir miðjan mars (tafla 1 og mynd 1). Frávik frá meðaltali, jákvæð eða neikvæð, eru að jafnaði mest á tímabilinu frá febrúar og fram í apríl þar sem þá er aðstreymi ósons frá miðbaug mest og breytileiki þess mikill frá degi til dags vegna lægðagangs og umhleypingasams veðurfars. Það dregur úr aðstreyminu þegar vorar og í enn ríkari mæli þegar kemur fram á sumar. Veður gerast þá ennfremur stöðugri og gæflyndari svo frávikin verða mun minni. Þrátt fyrir haust- og vetrarkomuna með tilheyrandi vályndari veðrum á ný aukast þau lítið þar sem aðstreymi ósons er þá í lágmarki (tafla 2 og mynd 2).

Þegar lítið er nánar á mæliniðurstöðurnar sést að í febrúar og mars 1995 er ósonmagnið í meðallagi, en athyglisverð eru hin allmiklu neikvæðu frávik í mánuðunum apríl–júní. Sérstaklega á þetta við um júní, en ósonmagnið hefur aldrei mælst jafn lítið í þeim mánuði. Mælingar lágu niðri frá 13. júlí til 16. ágúst vegna samanburðarprófana á mælitæki. Skal það haft í huga þegar meðaltöl þessara sumarmánaða eru metin.



Mynd 1. Meðaltöl magns ósons í De í einstökum mánuðum, febrúar–október 1995–1998.



Mynd 2. Frávik einstakra mánaða, febrúar–október 1995–1998, í % frá meðaltölum sömu mánaða 1978–1988.

Ágúst og september 1995 eru nokkuð undir meðallagi. Á árinu 1996 stinga stórfelld neikvæð frávik í augun. Í febrúar og mars hefur ósonmagnið aldrei frá upphafi mælinga reynst viðlíka lítið. Meðaltal aprílmánaðar er einnig verulega undir meðallagi og er hann í röð hinna ósonsnauðustu frá upphafi. Sumarið er við meðallag, en september og október talsvert undir því. Mæliárið 1997 hefst á fjórum mánuðum undir meðallagi, og eru frávikin talsverð í mars og apríl. Sumarið er í meðallagi en aldrei hefur minna mælt af ósoni í október. Árið 1998 gefur allt aðra mynd. Allir mánuðirnir eru yfir meðallagi nema mars og október og sumarmánuðirnir, júní–ágúst, eru allir í röð hinna ósonríkustu frá upphafi mælinga.

4 ÁSTAND ÓSONLAGSINS Á NORÐURSLÓÐUM

Hér verður lítið á ástand ósonlagsins á norðurslóðum á því tímabili sem hér er til umfjöllunar. Með norðurslóðum er sérstaklega átt við svæðið milli 50°N og 80°N þótt stundum verði vikið þar suður fyrir. Einkum verður hugað að ástandi lofthjúpsins á því tímabili á hverju ári þegar eyðing ósons vegna athafna manna getur átt sér stað, þ.e. af völdum mikils magns klór- og brómsambanda sem jarðarbúar hafa látið frá sér og borist hefur upp í heiðhvolfið. Þetta tímabil getur náð frá mánaðarmótum nóvember–desember og fram í apríl. Þá verður lítið frekar á niðurstöður mælinganna í Reykjavík og þær settar í samhengi við heildarástandið á svæðinu.

Staða og útbreiðsla pólhvirfilsins (*polar vortex*) í efri hluta veðrahvolfsins og heiðhvolfinu hefur mikil áhrif á ósonmagnið. Pólhvirfillinn er mjög kaldur loftmassi sem er í mjög litlu sambandi við loftmassa af suðlægari breiddargráðum, en því valda öflugir vestlægir vindar, þ.á.m. skotvindurinn (*jet stream*), en hans gættir helst í um 10 km hæð, rétt við veðrahvörfin. Staðsetning hvirfilsins er breytileg, en yfirleitt er hann að finna norðan 60°N. Samspil nokkurra þátta, svo sem þegar sól rís aftur upp fyrir sjóndeildarhring eftir vetrarmyrkrið og að veðurkerfi veðrahvolfsins brjóta sér leið norður, leysa að lokum upp pólhvirfilinn. Hvenær hvirfillinn hverfur er mjög breytilegt frá ári til árs, en hans getur gætt fram í apríl (European Ozone Research Coordinating Unit 1995).

Eins og áður segir er pólhvirfillinn mjög kaldur loftmassi. Hitastigið í efri hluta veðrahvolfsins og í heiðhvolfinu, á þeim svæðum þar sem hann ríkir og í grennd við þau, fer einnig niður fyrir -78°C og skapast þá skilyrði til myndunar pólskýja (*polar stratospheric clouds*). Nærværa þeirra auk mikils magns af ósoneyðandi efnum, klór- og brómsamböndum, og geislun frá hækkanði sól myndar aðstæður fyrir ósoneyðingu sem verður því umfangsmeiri eftir því sem styrkur þessara efnasambanda vex.

4.1 Árið 1995

Sé ástand ósonlagsins 1995 skoðað kemur í ljós að ósoneyðingin þá var sú mesta sem sést hafði til þess tíma. Mælingar veturinn 1994–1995 voru mun umfangsmeiri en oftast áður og kom þar ekki síst til SESAME–verkefnið, en það var tveggja ára fjölpjódlegt samvinnuverkefni styrkt af Evrópusambandinu. Þannig leiddu mælingar í ljós að ósoneyðing innan pólhvirfilsins í 18 km hæð eða svo náði 1.5% á dag á tveimur 10 daga tímabilum, öðru í janúarlök og hinu um miðjan mars. Ósonstyrkurinn í þessari hæð í mars mældist aðeins um helmingur þess sem verið hafði árin á undan. Þetta frávik má að mestu skýra sem eyðingu af völdum klór- og brómsambanda (European Ozone Research Coordinating Unit 1995).

Heildarmagn ósons í lofthjúpnunum á hærri breiddargráðum var undir meðallagi frá miðjum janúar og fram á vor og það víða verulega. Í mars var ósonmagnið í pólhvirflinum 20–30% undir meðallagi og einstaka daga þegar hann lá yfir Síberíu var það allt að 35–40% undir meðallagi, sem var met á þeim slóðum. Utan hvirfilsins var ósonmagnið víða 10–20% undir meðallagi í mars á hærri breiddargráðum (European Ozone Research Coordinating Unit 1995; National Oceanic and Atmospheric Administration 1995).

Mæliniðurstöður voru í samræmi við viðtekinn skilning á þeim ferlum sem valda ósoneyðingu á heimskautasvæðum. Lægstu mældu hitastigsgildi í heiðhvolfinu í desember 1994 og janúar 1995 voru jafnframt þau lægstu frá upphafi mælinga, þ.e. í 29 ára sögu þeirra. Þetta er talin afleiðing náttúrulegra loftslagsbreytinga, en hitastig hafði farið lækkanði í heiðhvolfinu um nokkurra ára skeið. Hlýtt var í febrúar, en mjög kalt í mars og var eyðingin þá mjög áberandi þar sem áhrifa sólar var farið að gæta mjög (European Ozone Research Coordinating Unit 1995; National Oceanic and Atmospheric Administration 1995).

Daglegar niðurstöður mælinga í Reykjavík leiða ekki í ljós eyðingu af völdum ósoneyðandi efna nema þá hugsanlega í mjög litlum mæli. Ekkert bendir til hennar í mæligildum frá því í febrúar og mars. Lægstu mæliniðurstöður fyrri hluta ársins eru frá 7. og 8. apríl, en þá er ósonmagnið mjög lítið eftir árstíma eða 286 og 298 *De*. Ósennilegt er að orsökina sé af völdum ósoneyðandi efna. Pólhvirfilinn hafði þá að líkindum leyst upp og líkur á svo lágu hitastigi í heiðhvolfinu að pólský gætu myndast hverfandi.

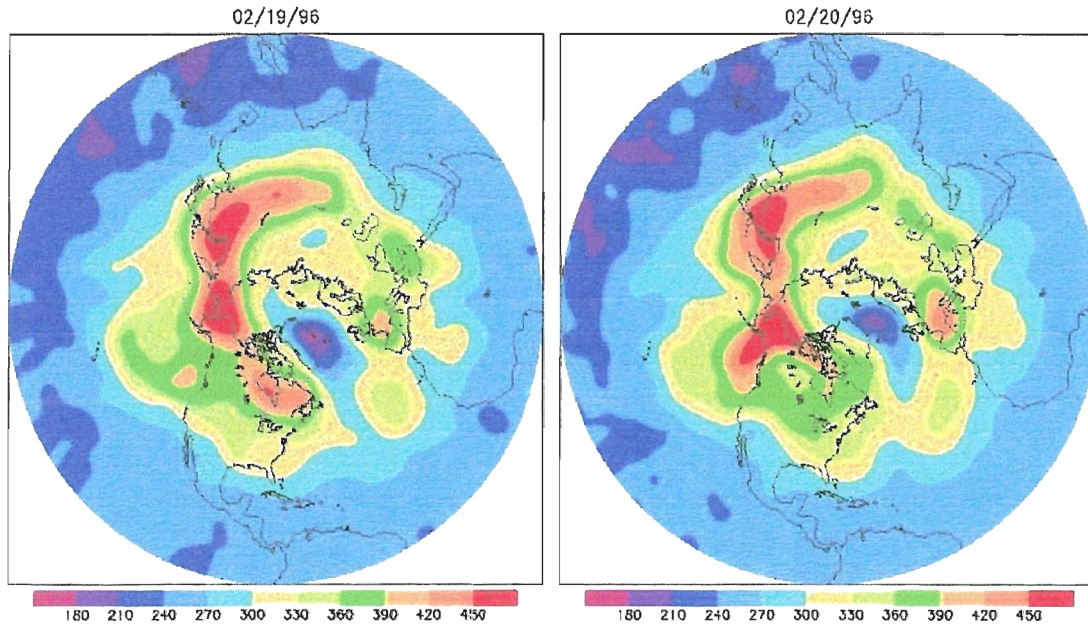
4.2 Árið 1996

Á tímabilinu desember 1995 til febrúar 1996 var ósonmagnið um 10% undir meðallagi á hærri breiddargráðum og pólsvæðum norðurhvelsins. Var það í góðu samræmi við spár um langtímaminnkun ósons af völdum ósoneyðandi efna (World Meteorological Organization 1996; National Oceanic and Atmospheric Administration 1996a).

Um miðjan janúar og aftur frá miðjum febrúar og lengst af marsmánaðar mældist ósonmagnið um 20–30% minna en að jafnaði allt frá Grænlandi, austur um N–Atlantshaf og Skandinavíu og heimskautasvæði Rússlands, en þá var pólhvirfillinn ráðandi yfir þessu svæði. Í nokkra daga mældist sumstaðar allt að 45% minna ósonmagn en að jafnaði og höfðu svo lág mæligildi aldrei sést áður á þessum árstíma. Þannig mældist allt niður í 200 *De* sumstaðar í norðanverðri Evrópu einstaka daga í mars. Hitastig neðan til í heiðhvolfinu á norðurhveli jarðar í heild þessa mánuði var það lægsta frá upphafi mælinga. Á hærri breiddargráðum var það viðvarandi undir -78°C og stuðluðu þessar aðstæður að myndun pólskýja, sem í tengslum við klór- og brómsambönd og geislun frá hækkanði sól ollu geysimikilli ósoneyðingu. Hinsvegar reyndist ósonmagnið yfir N–Ameríku, N–Kyrrahafi og A–Síberíu á sama tíma aðeins rétt undir meðallagi, enda var hitastigið í heiðhvolfinu hærra þar (World Meteorological Organization 1996; National Oceanic and Atmospheric Administration 1996a).

Sé lítið á ástandið hér á landi sérstaklega kemur í ljós að pólhvirfillinn lá yfir landinu stuttan tíma skömmu fyrir jól og tvívegis í kringum miðjan janúar. Síðan var hann hér nær samfelld til staðar mestallan febrúarmánuð og loks um mjög skamman tíma fyrir

miðjan mars. Hitastigið í heiðhvolfinu fór einatt niður fyrir -78°C allt frá miðjum desember og fram í marsbyrjun. Lægst mældist það -88°C þann 20. febrúar (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial og Veðurstofa Íslands 1996).



Mynd 3. Ástand ósonlagsins á norðurhveli dagana 19. og 20. febrúar 1996. Sérstaka athygli vekur hversu magn ósons er lítið yfir N-Atlantshafi og ekki síst yfir Íslandi og í grennd, þannig að jafnvel má tala um svokallað ósongat í því sambandi. Astæðan er mikil ósoneyðing sakir mjög lágs hitastigs í heiðhvolfinu, myndunar pólskýja og nærveru ósoneyðandi efna. Seinni daginn hefur gatið færst nokkuð til austurs. Benda má einnig á lítið ósonmagn yfir heimskautasvæðum Rússlands, en hinsvegar er ósonlagið í góðu horfi yfir N-Ameríku, N-Kyrrahafi og A-Siberíu. Lág ósongildi á svæðinu frá 0°N til 25°N eru í góðu samræmi við langtímameðaltöl, en minnkunar ósons til lengri tíma hefur minnst gætt í hitabeltinu (National Oceanic and Atmospheric Administration 1996b).

Mæligildi fyrir febrúar og mars sýna að ósonmagnið reyndist 24% og 17% undir meðallagi þessa mánuði og hefur það aldrei áður mælst viðlíka lítið á þessum árstíma. Kemur þetta mjög vel heim og saman við hið lága hitastig í heiðhvolfinu, skilyrði voru óvenju góð til myndunar pólskýja og eyðingar ósons. Lengst af frá 12. febrúar til 6. mars mældist ósonið mjög lítið og telja má víst að eyðingin hafi þá verið veruleg á stundum. Sérstaklega á þetta við dagana 19. og 20. febrúar, en fyrri daginn mældust aðeins 197 *De* sem er minnsta ósonmagn sem mælst hefur með óyggjandi hætti í Reykjavík frá upphafi mælinga. Seinni daginn mældust 215 *De* (mynd 3). Meðaltal aprilmánaðar reyndist ennfremur verulega lágt, en þótt ósonmagnið hafi mælst lítið síðustu dagana í mars og fram í byrjun apríl voru engin skilyrði til eyðingar, hitastigið var herra en svo.

4.3 Árið 1997

Síðustu vikur ársins 1996 var ósonmagn á hærri breiddargráðum og pólsvæðum norðurhvelsins 5–8% undir meðallagi, þ.e. í samræmi við spár um langtímaminnkun ósons af völdum ósoneyðandi efna. Ástand ósonlagsins á sömu slóðum fram yfir miðjan febrúar 1997 var allgott, þ.e. um meðallag eða eilítið undir því. Á þessum tíma var útbreiðsla pólhvirfilsins minni en að jafnaði. Síðan breiddi hann verulega úr sér og í byrjun mars var hann orðinn útbreiddari en nokkru sinni síðasta áratuginn og stóð svo fram í miðjan apríl. Frá marsbyrjun og fram í miðjan apríl, með vaxandi sólgeislun, reyndist ósonmagnið að jafnaði yfir 30% undir meðallagi á pólsvæðunum og suður eftir M–Síberíu, og um stundarsakir jafnvel 35–40%. Pólhvirfillinn lá þarna yfir og mjög góð skilyrði sköpuðust til ósoneyðingar. Kuldinn í hvirflinum sló öll fyrri met um þetta leyti og var hitastig í neðri lögum heiðhvölsins þar tíðum 12–15°C undir meðallagi. Á sama tíma mældist ósonmagnið í V– og M–Evrópu og meginhluta Síberíu 10–22% minna en að jafnaði, en í N–Ameríku 5–10%. Stærð þess svæðis sem ósonmagnið reyndist 15% eða meira undir meðallagi á þessu tímabili var helmingi stærra en pólhvirfillinn, þannig að veruleg ósonminnkun var síður en svo bundin við hann (World Meteorological Organization 1997; National Oceanic and Atmospheric Administration 1997).

Yfir sumartímamann og um haustið reyndist ósonmagnið 3–6% undir meðallagi á norðurhveli utan hitabelisins og er það í góðu samræmi við það sem búast mátti við skv. spám um langtímaminnkun (World Meteorological Organization 1998).

Hingað til lands náði pólhvirfillinn rétt eftir miðjan janúar, um 10. febrúar og í byrjun mars, en um mjög skamma hríð í hvert sinn. Lengur lá hann hinsvegar yfir landinu um skeið eftir miðjan febrúar. Hitastig í heiðhvölfinu var tíðum undir –78°C, frá 5. til 20. janúar og frá 10. til 25. febrúar. Lægst reyndist það 15. janúar, líklega –85°C (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial og Veðurstofa Íslands 1997).

Ósonmagnið í febrúar mældist lítillega undir meðalagi, en bæði í mars og apríl reyndist það allnokkuð undir meðallagi, þ.e. 8% og 7%. Sé litið á einstaka daga mældist ósonið minnst þann 18. mars, 298 *De*, og tíu dögum áður mældust 309 *De*. Engar líkur eru þó á að ósoneyðing hafi orðið þarna af völdum klór- og bróm-sambanda, þar sem hitastig var fremur hátt í heiðhvölfinu. Þá var ósonmagnið lítið dagana 10.–17. apríl.

Athyglisvert er að í október var magn ósonsins 14% undir meðallagi og hefur það aldrei mælst minna í þeim mánuði. Skýringin á þessu er einkum staða veðurkerfanna í mánuðinum, en ekki áhrif ósoneyðandi efna.

4.4 Árið 1998

Pólhvirfillinn var hlýrri og óstöðugri á þessu ári en árin á undan, en hitastig í neðri hluta heiðhvölsins á norðurhveli utan hitabeltisins reyndist lægra í nóvember og desember 1997 en áður frá upphafi mælinga. Sérstaklega kalt mældist um miðjan desember. Hitinn var hins vegar mun hærri fyrstu fjóra mánuðina 1998 en árin á undan, hann var í meðallagi á pólsvæðunum, en lítið eitt undir því þar fyrir sunnan. Kaldast var í janúarlok og í kringum miðjan febrúar (World Meteorological Organization 1998; National Oceanic and Atmospheric Administration 1998).

Fyrstu þrjú mánuði ársins var ósonmagnið að jafnaði nærri meðallagi yfir Síberíu, en víða í N–Ameríku, Evrópu og á pólsvæðunum mældist það 3–6% undir meðallagi. Á einstökum svæðum á norðurhveli utan hitabeltis mældist það þó allt að 8% yfir meðallagi. Sé litið á febrúar og mars saman reyndist ósonmagnið um 10% undir meðallagi á pólsvæðunum, um Grænland til N–Evrópu og N–Síberíu, en í mars var ósonmagnið allt að 10% meira en að jafnaði í austanverðri Evrópu og A–Síberíu og um 5% í vestanverðri N–Ameríku. Sé aftur á móti litið á skemmri tímabil reyndist ósonmagnið 15–20% undir meðallagi í Evrópu og á pólsvæðinu þar fyrir norðan í byrjun árs, seinni hluta febrúar mældist það 10–15% undir meðallagi í Evrópu, Síberíu og á pólsvæðunum þar fyrir norðan, og fyrri hluta mars vantaði 10–15% upp á ósonmeðaltalið yfir Grænlandi og N–Kanada. Mestu neikvæðu frávikin voru þar sem kaldasta loftið í heiðhvolfinu innan pólhvirfilsins var að finna (World Meteorological Organization 1998; National Oceanic and Atmospheric Administration 1998).

Tæpast er hægt að merkja að pólhvirfillinn hafi náð hingað til lands þetta árið, en þó bryddar á honum seint í desember 1997 og í nokkra daga eftir 10. mars. Hitastigið í heiðhvolfinu var undir -78°C frá nóvemberlokum 1997 og fram yfir jól og aftur um allnokkurt skeið um mánaðamótin janúar–febrúar, en 2. febrúar mældist lægsti hiti vetrarins -87°C . Þá fór hitastigið niður í -80°C upp úr 10. mars (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial og Veðurstofa Íslands 1998).

Í febrúar mældist ósonmagnið í Reykjavík 6% yfir meðallagi, mars reyndist jafn mikið undir meðallagi, en apríl var í ríflegu meðallagi. Meðaltal þessara þriggja mánaða saman reyndist eilítið hærra en að jafnaði og hefur ekki verið hærra síðan 1994. Það var 3% hærra en 1995, 20% hærra en 1996 og 7% hærra en 1997. Minnst mældist nú dagana 11.–13. mars, 261, 266 og 278 *De*. Verulegar líkur eru á að um áhrif ósoneyðandi efna hafi verið að ræða í því tilviki.

Athyglisvert er hversu mikið óson mældist um vorið og sumarið, í maí hafði það ekki mælst meira síðan 1989, í júní síðan 1994, í júlí síðan 1980 og ekki í ágúst síðan 1991.

5 NIÐURLAG

Þegar litið er í samhengi á ástand ósonlagsins á norðurslóðum árin 1995–1998 kemur í ljós að það er mjög slæmt yfir vetrartímann. Síðasta árið er þó nokkur undantekning í þessu sambandi.

Árið 1995 var ástandið það lakasta sem sést hafði fram að því, enda metkuldi í heiðhvolfinu um alllangt skeið. Árið 1996 var hitinn þar enn lægri og ósoneyðingin meiri. Framan af næsta vetri var ástandið mun skárri, en er á leið dapraðist það mjög og sló lágt hitastig fyrri met með tilsvaramandi ósoneyðingu. Síðasta veturinn var mjög kalt framan af, en þegar kom fram yfir áramótin 1997–1998 var hitastigið í heiðhvolfinu talsvert hærra en árin á undan og heilsufar ósonlagsins í góðu samræmi við það.

Hið slæma ástand yfir vetrartímann staðfestist ennfremur í langtímabreytingu ósonmagnsins. Á 60°N var ósonminnkunin að jafnaði meiri en 6% á áratug í desember–maí á tímabilinu 1979–1994, en um 4% í júní–nóvember (World Meteorological Organization 1995). Þegar síðustu árunum er bætt við er ljóst að þessar tölur hafa hækkað verulega yfir vetrartímann. Séu mælingar frá Reykjavík skoðaðar sérstaklega, hafði ekki orðið um minnkun að ræða á útmánuðum 1977–1990,

gagnstætt því sem víðast annarstaðar hafði reynst á norðurslóðum (Guðmundur G. Bjarnason o.fl. 1992). Ljóst er að þessi mynd hefur breyst verulega síðan og færst í sömu átt og annarstaðar á hærri breiddargráðum.

Hitastigið er lægst í pólhvirflinum, en lega hans og útbreiðsla er breytileg frá einu ári til annars. Hvilfillinn var ráðandi hér við land um langt skeið á útmánuðum 1996 og í samræmi við það var þá stundum um verulega ósoneyðingu að ræða af völdum klór- og brómsambanda. Jafnvel má segja að dagana 19. og 20. febrúar hafi verið svokallað ósongat yfir Íslandi, svo lítið var ósonmagnið þá (mynd 3). Hinsvegar gætti eyðingar af völdum ósoneyðandi efna lítt hin árin.

Sem fyrr segir er breytileiki ósonmagnsins mikill frá degi til dags á tímabilinu febrúar–apríl og helgast hann af miklu háloftaaðstreymi ósons frá miðbaug og hröðum breytingum á stöðu veðurkerfanna. Ef mjög lítið ósonmagn mælist í Reykjavík á þessum árstíma vaknar sú spurning hvort ósoneyðandi efni séu sökudólgurinn í viðkomandi tilviki. Oftast kemur þó í ljós að svo getur ekki hafa verið, nægilega hátt hitastig í heiðhvolfinu útilokar það. Hinsvegar eru allar forsendur fyrir því að ástandið á útmánuðum 1996 geti endurtekið sig hér á næstu árum og áratugum. Magn klór- og brómsambanda í heiðhvolfinu á enn eftir að aukast að einhverju marki næstu árin, en í byrjun næstu aldar er því spáð að það hafi náð hámarki. Þetta hámark getur varað í nokkur ár, en síðan fer að draga úr vegna þeirra takmarkana á notkun ósoneyðandi efna sem alþjóðasamningar kveða á um. Samt má reikna með að liðið geti meira en hálf öld uns magn efnanna verði komið niður í það sama og var áður en eyðing af völdum þeirra hófst (World Meteorological Organization 1995).

Þakkarorð

Flosi Hrafn Sigurðsson og Ragnar Stefánsson lásu greinargerðina yfir og bentu á sitt hvað sem betur mátti fara. Eru þeim færðar þakkir fyrir.

6 HEIMILDASKRÁ

- European Ozone Research Coordinating Unit 1995. *Reinforcement of European research activities following the large Arctic ozone depletion observed during SESAME last winter*. Press release, 3 bls.
- Guðmundur G. Bjarnason, Örnólfur E. Rögnvaldsson, Þorsteinn I. Sigfússon, Þór Jakobsson & Barði Þorkelsson 1992. Analysis of total ozone data from Reykjavík for the period 1957–1991. *Report RH92-3*. Science Institute, University of Iceland, 47 bls.
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial & Veðurstofa Íslands 1996. *Individual report on ozonesounding flight at Keflavík carried out in the frame of agreement IMO–INTA*. Madrid, 115 bls.
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial & Veðurstofa Íslands 1997. *The campaign OSDOC over Keflavík — winter 1996-97. Report on ozonesounding flights at Keflavík carried out in the frame IMO–INTA*. Madrid, 136 bls.
- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial & Veðurstofa Íslands 1998. *The campaign Mini Match 1998 over Keflavík — winter 1998. Report on ozonesounding flights at Keflavík carried out in the frame IMO–INTA*. Madrid, 80 bls.
- National Oceanic and Atmospheric Administration 1995. *CPC — stratosphere: northern hemisphere winter summary — 1994–95*.
Vefsíða: nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_94-95/
- National Oceanic and Atmospheric Administration 1996a. *Northern hemisphere winter summary — 1995-96*.
Vefsíða: nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_95-96/
- National Oceanic and Atmospheric Administration 1996b. *TOVS total ozone analysis*.
Vefsíða: nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/tovsto/archive/np/1996/
- National Oceanic and Atmospheric Administration 1997. *Northern hemisphere winter summary — 1996–97*.
Vefsíða: nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_96-97/
- National Oceanic and Atmospheric Administration 1998. *Northern hemisphere winter summary — 1997–98*.
Vefsíða: nic.fb4.noaa.gov/products/stratosphere/winter_bulletins/nh_97-98/
- World Meteorological Organization 1995. Scientific assessment of ozone depletion: 1994. *Global ozone research and monitoring project — report no. 37*.
- World Meteorological Organization 1996. *Stronger ozone decline continues*. Press release, 2 bls.
- World Meteorological Organization 1997. *Update on the state of the ozone in 1996 until April 1997*. Geneva, 1 bls.
- World Meteorological Organization 1998. *Update on the state of the ozone layer in 1997 until April 1998*. Geneva, 2 bls.