



Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu

Kortlagning ljósmengunar yfir Reykjavík og nágrenni

Snævarr Guðmundsson



Líf- og umhverfisvísindadeild
Háskóli Íslands
2011

Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu

Kortlagning ljósmengunar yfir Reykjavík og nágrenni

Snævarr Guðmundsson

10 eininga ritgerð sem er hluti af
Baccalaureus Scientiarum gráðu í landfræði

Leiðbeinendur
Dr Gunnlaugur Björnsson
Dr Guðrún Gísladóttir

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Reykjavík, 10. maí 2011

Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu
Kortlagning ljósmengunar yfir Reykjavík og nágrenni
10 eininga ritgerð sem er hluti af *Baccalaureus Scientiarum* gráðu í landfræði

Höfundarréttur © 2011 Snævarr Guðmundsson
Öll réttindi áskilin

Líf- og umhverfisvísindadeild
Verkfræði- og náttúruvísindasvið
Háskóli Íslands
Askja, náttúrufræðahús, Sturlugata 7
101 Reykjavík

Sími: 525 4000

Skráningarupplýsingar:
Snævarr Guðmundsson, 2011, *Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu*, BS ritgerð, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 53 bls.
2. útgáfa.

Prentun: Guðjón Ó prentsmiðja
Reykjavík, 10. maí 2011

Útdráttur

Ljósbjarmi yfir borgum og byggðarlögum er umhverfisvandi sem fylgir nútímasamfélögum. Hann er víða felldur inn í reglugerðir eða skilgreiningar yfir mengun (ljósmengun) því bjarminn dregur úr gæðum myrkurs og veldur neikvæðum áhrifum á vistkerfi, t.d. næturdýra. Það flækir málið að ljósmengun er hliðarverkun raflýsingar sem óumdeilanlega hefur aukið lífsgæði manna. Viðfangsefnið sem hér er kynnt lýtur að því að skoða hve mikil áhrif ljóshjúpurinn yfir höfuðborgarsvæðinu hefur haft á náttúrulegt myrkur og hversu víðtæk þessi áhrif eru. Niðurstöður mælinga sem voru gerðar veturinn 2009-2010 eru sýndar í myrkurkorti af Reykjavík og nágrannabyggðum. Eftir kortinu og öðrum gögnum er hægt að meta hve mikil ljósmengun ríkir á þéttbýlasta svæði landsins.

Abstract

Light pollution is a modern-day environmental problem on a global scale. In many countries this type of pollution is restricted by laws or regulations because it hinders darkness and has negative side-effects on ecosystems and animals. Complicating the picture, light pollution is a side effect of artificial illumination on various scales, from road lighting to large cities, which has without doubt enhanced the quality of life for most people. This essay focuses on the distribution of the sky glow above Reykjavík and its suburbs. The aim of the project was to answer fundamental questions about the sky glow and quantify the change of the night sky. Results of sky quality measurements from the winter of 2009-2010 are shown. Mapping with GIS software gives a thematic graphical overview of the distribution of light pollution in this most densely populated area in Iceland.

Efnisyfirlit

Myndir	vi
Töflur	vii
Þakkir	ix
1 Inngangur	11
2 Raflýsing og ljósmengun	12
2.1 Skilgreining á ljósmengun.....	13
2.2 Umhverfisáhrif ljósmengunar.....	14
2.3 Ljósmengun í umræðu hér á landi.....	16
3 Mæling á „gæðum“ myrkurs	19
3.1 Náttúrulegt myrkur	20
3.2 Mæling á stigi myrkursins	23
3.3 Mælikvarði sýndarbirtu stjarna	24
3.4 Tengsl sýndarbirtu stjarna og myrkurs	25
4 Aðferðir	28
4.1 Val mælipunkta	28
5 Niðurstöður.....	30
5.1 Ákvörðun viðmiðs náttúrulegs myrkurs.....	30
5.2 Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu	30
5.3 Tölugögn	31
6 Umræða og ályktanir	34
Viðauki A.....	37
Viðauki B.....	38
Viðauki C.....	39
Viðauki D.....	43
Viðauki E.....	44
Heimildir	46

Myndir

<i>Mynd 1. Raflýsing í næturumhverfi á höfuðborgarsvæðinu.</i>	12
<i>Mynd 2. Ljósabúnaður við Hafnarfjarðarkirkju.</i>	14
<i>Mynd 3a og 3b. Hvaleyrarskóli í Hafnarfirði.</i>	14
<i>Mynd 4. Jörðin að næturlagi.</i>	15
<i>Mynd 5a og 5b. Myrkvun Reykjavíkur, séð frá útvarpshúsinu í Efstaleiti.</i>	17
<i>Mynd 6. Ljóshjúpur Reykjavíkur séð frá Bláfjöllum.</i>	19
<i>Mynd 7. Tunglið og reikistjarnan Mars (t.h.).</i>	21
<i>Mynd 8. Norðurljós.</i>	22
<i>Mynd 9. Tvípyrpingin í Perseusi.</i>	22
<i>Mynd 10. Sverðbjarmi frá Paranal.</i>	23
<i>Mynd 11. Sambandið milli sýndarbirtu stjarna og bakgrunnsins.</i>	26
<i>Mynd 12. Samband birtustigs himins og birtustigs björtustu stjarna sem sjást.</i>	27
<i>Mynd 13. Reitun vettvangssvæðis og lega mælipunkta.</i>	28
<i>Mynd 14. Kortið sýnir birtu næturhimins í hvirfilpunkti.</i>	31
<i>Mynd 15a og 15b Meðaltalsbirta himins og íbúafjöldi:</i>	33
<i>Mynd 16a. Snið bæjarfélaga og mælipunktar.</i>	33
<i>Mynd 17. Ljósmengun í Bandaríkjunum (a) og Evrópu (b).</i>	37
<i>Mynd 18. Evrópa, birtumörk stjarna</i>	37
<i>Mynd 19. Meðaltalsbirta himins og íbúafjöldi.</i>	44

Töflur

<i>Tafla 1. Leiðréttingarstuðull SQM-L fyrir V-borða.</i>	24
<i>Tafla 2. Sýndarbirtustig stjarna og myrkuraðstæður.</i>	25
<i>Tafla 3. Birtustig himins og frávik frá meðaltali náttúrulegs myrkurs á Íslandi.</i>	30
<i>Tafla 4. Meðaltalsbirta himins eftir sveitarfélögum.</i>	32
<i>Tafla 5. Meðaltalsbirta himins og myrkurgæði í einstökum hverfum.</i>	32
<i>Tafla 6. Algengir ljósgjafar.</i>	38

Þakkir

Eftirtaldir aðilar lögðu höfundi til aðstoð meðan á samantekt ritgerðarinnar stóð. Þau gáfu góð ráð, bentu á gagnlegar upplýsingar eða beindu verkinu í réttan farveg þegar á þurfti að halda.

Gunnlaugur Björnsson, stjarnedlisfræðingur og aðalleiðbeinandi, hafði umsjón með verkefninu, lánaði ljósmæli, veitti ráðgjöf og las ritgerðina yfir.

Guðrún Gísladóttir, landfræðingur og leiðbeinandi, fór yfir ritgerðina og gagnrýndi á uppbyggilegan hátt.

Hilmar Jónsson, rafmagnstækni-fræðingur hjá Orkuveitu Reykjavíkur, veitti gagnlegar upplýsingar um lýsingamál borgarinnar, benti á heimildir og tók þátt í útreikningum.

Sérstakar þakkir fær Þorsteinn Sæmundsson stjörnufræðingur fyrir yfirlestur, mikilvægar athugasemdir um mælingar og leiðréttingar á sögulegum staðreyndum.

Þeim er þökkun vinsemdin og greiðvikni sem stuðluðu að því að bæta ritgerðina.

1 Inngangur

Flestir sem fara út fyrir Reykjavík að kvöldlagi eða nóttu þegar dimmt er kannast við bjarmann sem liggur yfir borgarsvæðinu. Götulýsing, lýsingar fyrirtækja og stofnana, iðnaðarsvæða og íbúðahverfa er það mikil að ljóshjúpur myndast og hvelfist yfir byggðina og sést langt að. Slíkar aðstæður eru alls ekki bundnar við Ísland. Ljóshjúpurinn er nefndur ljósmengun (enska: light pollution) og er þá átt við heildarbjarmann frá manngerðri lýsingu en ekki einstaka ljósglampa eða skær ljós sem þó leggja skerf til hennar (Crawford, 2000). Bjarminn myndast þegar ljós endurkastast af yfirborði, t.d. malbiki eða sameindum andrúmsloftsins, raka og sviffryki. Hver þessara þátta brýtur ljósið á mismunandi vegu en einnig gleypir efnið í sig ljósorku. Það flækir málið enn frekar að lýsingin stafar frá mismunandi ljósgjöfum, ýmist einlitu ljósi eða skini á fleiri bylgjulengdum.

Í þessari ritgerð er athygli beint að ljóshjúpunum yfir Reykjavík og nágrenni. Höfundur hefur í meira en 20 ár verið áhugamaður um ljósmyndun stjörnuhiminsins og norðurljósá en einnig stundað ljósmælingar á breytistjörnum. Bjarminn hefur áhrif á niðurstöður þessara athugana og því er höfundi hugleikið hvernig þessi fylgifiskur raflýsingar þróast í framtíðinni. Sambærilegar vangaveltur hafa komið upp meðal annarra sem vilja draga úr áhrifum ljósmengunar. Það hefur takmarkað umræður að tölulegar upplýsingar um ýmsa þætti þessarar mengunar hefur vantað. Til dæmis hefur ekki verið vitað hve bjartur næturhiminn verður af völdum ljóshjúpsins eða hvernig höfuðborgarsvæðið kemur út í samanburði við borgir með svipaðan íbúafjölda. Eins má spyrja hvort tengsl séu á milli stærðar bæja, íbúafjölda og ljósmengunar. Eða hvort raunverulega sé hægt að draga úr áhrifum lýsingar.

Spurningar sem hér verður einblínt á tengjast hins vegar stjörnuhimninum: 1) hvaða áhrif ljósmengunin hefur á stjörnu- og norðurljósaskoðun, 2) hve mikil áhrif ljóshjúpurinn hefur á sjónskoðun stjörnuhiminsins, og 3) hversu víðtæk þessi áhrif eru. Takmarkast áhrif ljósmengunar við borgarmörkin eða teygja þau sig lengra? Í ritgerðinni er komið tölum yfir ljóshjúpin. Kynntar eru niðurstöður úr mælingum sem gerðar voru í Reykjavík, á Seltjarnarnesi, Kópavogi, Garðabæ, Álftanesi og í Hafnarfirði veturinn 2009 til 2010. Ritgerðin er lokaverkefni höfundar til BS gráðu í landfræði. Markmiðið var tvíþætt: a) kortlagning ljóshjúpsins til að svara áðurgreindum spurningum og fá fram dreifingu ljóshjúpsins yfir höfuðborgarsvæðinu og b) gera myrkurkort sem sýnir þessi áhrif.

Ritgerðin skiptist í sex kafla, að inngangi meðtöldum. Fyrst er ljósmengun rædd og skilgreind og tæpt á stöðu mála hér á landi. Næsti kafli er fræðileg umfjöllun um náttúrulegt myrkur, mælitæki og grunninn að baki ljósmælingum. Fjórði kafli lýsir aðferðum og fimmti niðurstöðum. Í sjötta kafla ritgerðarinnar eru umræður og ályktanir. Auk þess eru í lokin nokkrir viðaukar, m.a. um mælipunkta og annað efni tengt ljósmengun. Vonast er til að niðurstöðurnar verði framlag til frekari umræðu um ljósmengun. Einnig að gögnin nýtist sem viðmið ef svipaðar mælingar verða endurteknar í sveitarfélögunum í framtíðinni en ekki síður til samanburðar við borgir erlendis.

2 Raflýsing og ljósmengun

Rökstyðja má að jafnskjótt og menn tóku að lýsa upp umhverfi sitt að kvöld- og næturlagi, fyrir um 130 árum, hafi fyrsti vísirinn af ljósmengun myndast, þó að í litlum mæli væri í byrjun. Stækkun og þétting byggða og útlýsing samhliða tækni framförum og ódýrari orku hefur skert næturmyrkrið sífellt meira og mest í iðnaðarhéruðum jarðar (IDA, 2009). Ljósmengunin er því afleiðing af iðnvæðingunni og hefur læðst yfir borgir og byggðarlög í takti við þjóðhagslega velsæld. Það er fyrst eftir miðja 20. öld sem samfélagsleg þróun, frá myrkum stígum og kertatýrum 19. aldar yfir í vel raflýsta byggðakjarna, (t.d. eins og á mynd 1), komst á það stig að útrýma næturmyrkrunu. Síðustu sex áratugi hefur eiginlegt myrkur víða horfið og lýsingin eykst enn ár frá ári (Hölker, Wolter, Perkin & Tockner, 2010).



Mynd 1. Raflýsing í næturuhverfi á höfuðborgarsvæðinu, Venus og Merkúrís á himni. Ljósmynd SG.

Óumdeilt er að raflýsingin, í híbýlum og utandyra, hafi aukið lífsgæði og sé jákvæður þáttur í nútíma lífnaðarháttum. Fólki líður almennt vel í manngerðri lýsingu. Það er ekki lýsingin sem er slæm heldur oflýsing (Hölker o.fl., 2010). Sífellt fleiri fræðigreinar og bækur fjalla um þetta afsprengi mannlegra framfara. Komið hefur í ljós að oflýsing ruglar lífverur í ríminu, einkum næturdýr. Rannsóknir á viðfangsefninu eru enn vart búnar að slíta barnsskónum en flestar niðurstöður benda til þess að mikil lýsing hafi neikvæð áhrif. Ljósmengun er fremur nýlegt hnattrænt viðfangsefni sem öll rafvædd samfélög þurfa að glíma við í einhverjum mæli. Áhyggjuefni er, að auðveldara er að benda á vandamálið en að koma með lausnir (Gallaway, Olsen & Mitchell, 2009).

2.1 Skilgreining á ljósmengun

Ljósmengun verður til vegna dreifingar birtu frá manngerðri lýsingu (Benn & Ellison, 2007). Hún myndast þegar ljósi eða rafsegulbylgjum af ákveðinni tíðni er bætt í umhverfið þar sem dægursveiflur og árstíðabundin birtuhringrás ráða náttúrulegu ljósmagni (Hollan, 2009). Raflýsing sem nýtist ekki beinlínis á drjúgan þátt í ljósmengun. Slíkt gerist mest í þéttbýli og byggðakjörnum. Þar er um að ræða útilýsingu sem er beint í rangar áttir, staðsett ranglega, er óskermuð, óþarflega sterk eða óþörf og óumbeðin, en einnig innilýsingu sem leiðir til óþæginda á einhvern hátt. Í þessari ritgerð verður ekki fjallað frekar um síðasttalda þáttinn.

Alþjóðleg samtök um dimman himin, International Dark-Sky Association (IDA), skilgreina ljósmengun sem óæskileg áhrif af lýsingu, þar með talið ljóshjúpi, glýju, ósamþykktri nágrannalýsingu, auglýsingaskiltum eða ljósaóreiðu. Hollan (2009) segir ljósmengun breytingu á náttúrulegu ljósmagni (utandyra) af völdum manngerðrar lýsingar. Lýsingin veldur umframbirtu í allar áttir eða glýju (glampa) í sjónlínu að ljósgjafa eða nærri honum. Heildrænt myndast ljóshjúpur sem samtímis er bein vísbending um orkusóun. IDA og sambærilegum samtökum sem vinna gegn ljósmengun leggja áherslu á að þau amast ekki við útilýsingu heldur hvetja til skynsamlegrar notkunar ljósgjafa og eftirliti með því hvert lýsing er beint (IDA, 2009).

Útilýsing kemur frá þremur meginljósgjöfum: a) götulýsingu, b) fyrirtækjum, stofnunum og athafnasvæðum, t.d. íþróttavöllum og iðnaðarsvæðum og c) heimilum. Heildaráhrifin ráðast ekki eingöngu af ljósgjafa og styrkleika hans heldur líka endurkasti flata (Hilmar Jónsson, 2003). Forvígismenn IDA nefna fjóra megingalla í útilýsingu og segja að ekki myndi draga úr skyggni eða sýnileika sem lýsingunni er ætlað að veita þótt þessir gallar væru lagfærðir. Orka myndi hins vegar sparast og þar af leiðandi fjármunir (Crawford, 2000). Þessir gallar eru:

1. *Lýsing upp á við.* Viða eru veggir húsa lýstir upp, en ljósgjafarnir svo illa stilltir að ljóskeilan stefnir beint til lofts. Nýtist þá aðeins hluti hennar en hitt fer upp í næturhimininn engum til gagns. Þetta er ein meginástæða ljóshjúps yfir borgum, afleiðing óskipulegrar lýsingar og hrein orkusóun. (Crawford, 2000). Mynd 2. sýnir dæmi um lýsingu upp á við. Stefna og horn geisla hafa verð merkt til áherslu. Ljósastari lýsir kross á kirkjuturni en minna en 10% ljóssins nýtast.
2. *Óumbeðin birta.* Lýsing sem dreifist þangað sem hennar er ekki óskað. Birta sem dreifist frá götu- eða fyrirtækjalýsingu inn í híbýli, t. d. svefnrými, er dæmi um þetta. Sem sagt lýsing út fyrir tilætluð mörk.
3. *Glýja* er skilgreind sem skynjun af lýsandi fleti eða ljósgjafa umfram það sem augu geta aðlagast. Þetta veldur truflun, óþægindum eða óskýrleika í sjón.
4. *Oflýsing* er þegar lýsing fer yfir þarfamörk. Oflýsing er að sjálfsögðu ónauðsynleg en er stundum afleiðing þeirrar ímyndar að „meira sé betra“ eða er sprottin af athyglisþörf (IDA, 2009). Myndir 3a og 3b. sameina liði tvö, þrjú og fjögur um óþarfa lýsingu eftir greiningu IDA: glampa frá óvörðum ljóskeikjum, oflýsingu og óumbeðna birtu. Vel upplýst svæði og bjart endurkast af snjónum. Birtan frá skólasvæðinu dreifist inn í nálæg híbýli, óumbeðin. Samanburður mynda sýnir áhrif öflugra flóðljósa á nálægum íþróttavelli til vinstri.



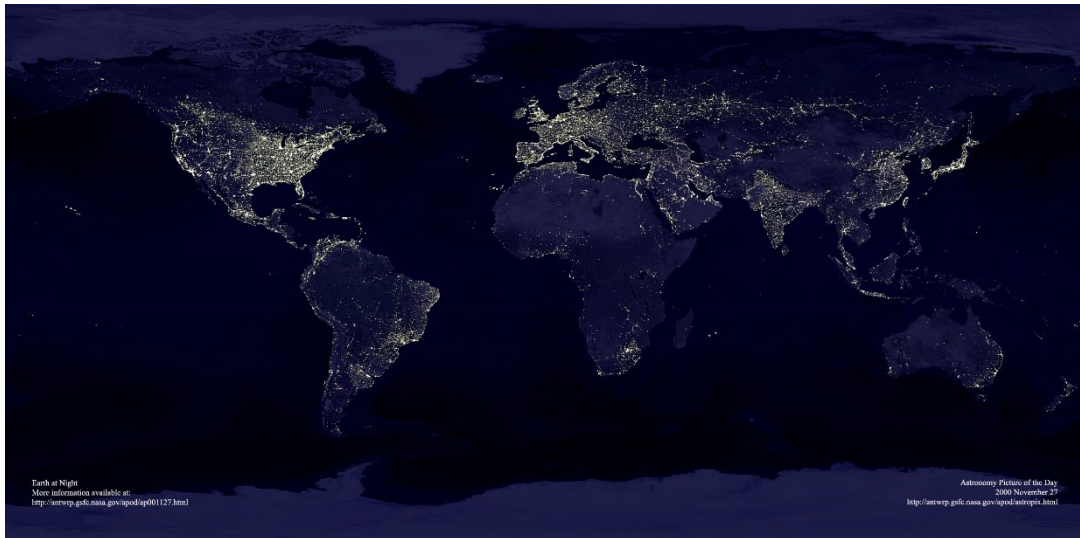
Mynd 2. Ljósabúnaður við Hafnarfjarðarkirkju. Dæmi um upplýsing sbr skilgreiningar IDA. Ljósmynd SG.



Mynd 3a og 3b. Hvaleyrarskóli í Hafnarfirði. Óumbeðin birta, glýja og oflýsing sbr IDA. Ljósmynd SG.

2.2 Umhverfisáhrif ljósmengunar

Cinzano, Falchi og Elvidge (2001) birtu fyrsta kortið sem sýnir hnattræna útbreiðslu ljósmengunar. Heimskort þeirra sýndi að áhrif lýsingar eru víðfeðm og ekki eingöngu bundin við iðnríkin eins og þá var almennt talið. Höfundar báru heimskortið við mannfjöldadreifingu og sýndu að nær 70% mannkyns búa við næturhimin þar sem lýsing er meiri en 10% umfram náttúrulegt myrkur. Nær öll ríki heims búa við ljósmengun en um 97% Bandaríkjamanna, 96% íbúa Evrópusambandsins og 40% af íbúum jarðar eru undir viðvarandi birtu á næturhimni í hvirfilpunkti (beint ofan við höfuð). Mynd 4 sýnir raflýst svæði á jörðinni en lýsir ekki áhrifum ljósmengunar í sömu mund. Við blasir hins vegar að víðfeðm svæði eru vel upplýst. Í viðauka A eru myndir DMSP gervitungla af þessum svæðum sem sýna áhrif ljósmengunar.



Mynd 4. Jörðin að næturlagi. Ljósmynd C. Mayhew & R. Simmo (NASA/GSFC), NOAA/NGDC, DMSP Digital Archive (birt 7. nóvember 2000).

Erlendis hafa fjölmargar rannsóknir verið gerðar til þess að kanna áhrif ljósmengunar á umhverfi og lífríki, svo og kostnaðinn sem henni fylgir. Spurt hefur verið hvort umhverfislýsing geti haft áhrif á heilsu manna vegna frávíks frá náttúrulegri dægursveiflu og breytinga á svefnvenjum (Schernhammer o.fl., 2006; Avivi o.fl., 2001; Björg Þorleifsdóttir, 1999; Cohen o.fl., 1978). Bent hefur verið á ýmsa vanlíðan eins og svefntruflanir og skammdegisþunglyndi og jafnvel enn alvarlegri líkamlega kvilla (Bedrosian o.fl., 2011; Stevens, 2009; Cos o.fl., 2006; Björg Þorleifsdóttir, 1999).

Rannsóknir sýna að raflýsing hefur neikvæð áhrif á lífríkið, ekki síst næturdýr, því dýpt og litur næturmyrkursins breytist. Bent er á tvenns konar neikvæðar afleiðingar: a) lýsing dregur að sér dýr, afvegaleiðir þau eða ruglar áttum (Hölker o.fl., 2010; Bourgeois o.fl., 2009; Karnad o.fl., 2009; Stone, Jones & Harris, 2009; Tuxbury & Salmon, 2005; Yurk & Trites, 2000; Kochevar, 1998; Mortimer, 1979); b) náttúrulegu umhverfi dýra er raskað og það veldur breyttri hegðun. Sem dæmi má nefna skordýr, froskdýr, leðurblökur og skjaldbökur sem leita í ljóskeilur (Depledge o.fl., 2010; Deda o.fl., 2007). Áhyggjuefni höfunda er gjarnan að hin sívaxandi næturlýsing trufla land- og vatnadýr og dragi úr lífsgæðum á kjörlandi þeirra. Hér á landi hafa engar rannsóknir verið gerðar á áhrifum raflýsingar á lífríkið.

Í auðugum ríkjum þar sem orkunotkun er mikil, sóast milljarðar dollara ár hvert í oflýsingu (Terna, 2011, 2009; Gallaway o.fl., 2009; Hänel, 2000; Isobe & Hamamura, 2000). Þá eru ótalin óbein áhrif eins og mengun, en orkan er framleidd með bruna kola og olíu. Slík umfjöllun veltir upp þeirri spurningu hvað spara mætti hérlandis ef gert sé ráð fyrir svipaðri soun og erlendis. Hänel (2000) gerði ráð fyrir að 15% raforku, sem notuð var í næturlýsingu í Þýskalandi árið 1991, tapaðist sem ljósmengun. Útreikningar hans bentu á að árlegt tap smáborgarinnar Osnabrück (160 þús. íbúar) næmi 100 þúsund dollurum (>11 milljón íkr).

Kostnaður af götulýsingu í Reykjavík á hverja 1000 íbúa árið 2007 var 2,1 milljónir króna (Haraldur Sigbórsson o.fl., 2009). Í Reykjavík voru íbúar 187 þúsund þetta ár (Hagstofan, 2011). Kostnaður götulýsingar samkvæmt því hefur þá verið um 390 milljónir króna. Ef miðað er við sömu 15% soun var tapið 59 milljónir. Engar athuganir hafa verið gerðar á þessu en dæmið sýnir samt að töluverðar upphæðir má spara með skynsamlegri notkun ljósa. Á tíu árum gæti sparnaðurinn numið hálfum milljarði króna.

2.3 Ljósmengun í umræðu hér á landi

Hérlendis hefur lítil umræða farið fram um ljósmengun. Þorsteinn Sæmundsson stjórnufræðingur varð fyrstur til að vekja máls á þessu vandamáli í útvarpsviðtali árið 1996. Í janúar 1997 fór hann ásamt Gunnlaugi Björnssyni stjarnaðlisfræðingi á fund borgarstjóra til að ræða hugsanlegar úrbætur. Borgarstjóri sýndi málinu skilning, en ekkert varð úr framkvæmdum. Þeir Þorsteinn og Gunnlaugur fjölluðu síðar um málið í blaðagrein (2003). Fleiri áhugamenn um stjórnuskoðun og norðurljósaathuganir hafa látið frá sér heyra. (Kristján Jónsson, 1997, Ágúst H. Bjarnason, 2000, Þorsteinn Vilhjálmsson og Sævar Helgi Bragason, 2003, Sævar Helgi Bragason, 2008, Sverrir Guðmundsson, 2009) Stjórnuskoðunarfélag Seltjarnarness hefur fjallað um málið, enda á það hagsmuna að gæta vegna versnandi aðstæðna til stjórnuathugana (<http://www.astro.is>). Ljóstæknifélag Íslands hefur einnig tekið málið fyrir á vefsvæði sínu (<http://www.ljosfelag.is>). Stjarnvísindafélag Íslands ritaði rektor Háskóla Íslands bréf árið 2000 og mæltist til þess að Háskólinn sýndi gott fordæmi og drægi úr flóðlýsingu á háskólalóðinni. Þeirri ósk var hafnað.

Á Alþingi kom ljósmengun til umræðu árið 2005 þegar Mörrður Árnason alþingismaður hóf umræður um vandamálið. Mörrður tók málið upp aftur árið 2006 og mætti jákvæðu viðmóti þáverandi umhverfisráðherra, Sigríðar A. Þórðardóttur. Mælt var til að staðið yrði fyrir rannsóknum á ljósmengun hér á landi (Mörrður Árnason, 2006; Sigríður A. Þórðardóttir, 2006). Hilmar Jónsson, rafmagnstæknifræðingur hjá Orkuveitu Reykjavíkur (OR) hefur bent á lausnir til þess að lágmarka ljósmengun og ritað greinar þess efnis (m.a. Hilmar Jónsson, 2003, 2005). OR vinnur eftir stöðlum um lýsingarkröfur þar sem reynt er að draga úr ljósmengun eftir fremsta megni (Hilmar Jónsson, tölvuskeyti, 19. apríl 2011). Í viðauka B eru upplýsingar um heiti þessara staðla.

Haraldur Sigþórsson o.fl. (2002) unnu skýrslu um gagnsemi veglýsingar yfir Hellsisheiði. Kom þar fram að ekki væri ástæða til uppsetningar vegljósa. Í mati á umhverfisáhrifum veglýsingar Þrengslavegar voru gerðar mælingar á ljósmengun árið 2009 á afmörkuðum skikum við Suðurlandsveg. Lagt var mat á gagnsemi mæliaðferða en þær þóttu seinlegar (Haraldur Sigþórsson o.fl, 2009). Vísað skal í skýrsluna sjálfa til frekari fróðleiks. Veglýsing á Reykjanesbraut virðist ekki hafa minnkað slysatíðni, ef marka má rannsókn Haralds Sigþórssonar og Ingvars R. Gunnarssonar (2002). Í viðtali við aðstoðar-vegamálastjóra (DV, 4. apríl 2001) í framhaldi af niðurstöðum Haralds og Ingvars kemur fram að lýsing brautar dragi ekki úr slysum heldur sé fyrst og fremst til þæginda fyrir vegfarendur.

Eitt sveitarfélag, Borgarbyggð, hefur sett ákvæði til að draga úr ljósmengun. Það er gert í ljósi *staðardagskrár 21* sem er verkáætlun sveitarfélaga um sjálfbæra þróun. Í umhverfisstefnu segir: „Við uppsetningu og endurnýjun götulýsingar verður þess gætt að ljósmengun utan svæðis verði í lágmarki.“ (Borgarbyggð, 2000). Norðurál hefur sagt það stefnu fyrirtækisins að draga úr ljósmengun á lóð álverksmiðjunnar í Hvalfirði og beina lýsingu niður með stefnuvirkum kösturum. Kom sú yfirlýsing vegna athugasemda við umhverfisáhrif af rekstrinum. Auk þess yrði eldri lýsingu skipt út fyrir hina nýrri gerð í framtíðinni (Norðurál, 2002; Hollustuvernd Ríkisins, 2002).

Nefna verður merka tilraun sem var gerð 28. september 2006. Þá var Reykjavík myrkvuð, þ. e. slökkt á götuljósum í 30 mínútur. Þetta var gert að undirlagi Andra Snæs Magnasonar rithöfundar (Sigríður V. Jónsdóttir, 2006), en þeir Þorsteinn Sæmundsson og Gunnlaugur Björnsson höfðu komið hugmyndinni á framfæri í tilefni af áætluninni „Reykjavík

menningarborg 2000“ þótt ekki yrði af framkvæmdum í það skipti. Tilraunin leiddi í ljós, þvert á viðteknar skoðanir, að götulýsingin væri aðeins hluti af vandanum. Önnur lýsing, síst minni, stafaði frá fyrirtækjum, stofnunum og íbúðarhúsnæði. Þetta má sjá á myndum 5a og 5b. Hlutfallið milli götulýsingar og annarrar lýsingar var ekki athugað við þetta tækifæri. Erlend rannsókn hefur sýnt að áhrif götulýsingar getur verið um 40% af heildarlýsingu bæja (Crawford, 2000). Staðreyndin er að ljósmengun er flóknara viðfangsefni en svo að kenna megum um einum orsakavaldi.



Mynd 5a og 5b. Myrkvun Reykjavíkur, séð frá útvarpshúsinu í Eyfstaletti. Ljósmyndir SG.

Ljósmengun er útbreitt vandamál af tveim ástæðum: a) lítið bæjarfélag getur lýst upp og haft áhrif á mörg hundruð ferkílómetra svæði og b) heildarbjarminn hverfur ekki þó einstaka íbúi minnki lýsinguna (Berry, 1976). Vandamálið flækist vegna þess að óþörf lýsing í huga eins er eftirsóknarverð í huga annars. Nefna mætti auglýsanda sem vill áberandi lýsingu í óþökk annarra. Sama gildir um skemmtistaði eða listamenn sem setja upp ljóskastara og lýsa upp í himininn til að ná athygli fólks en framtakið er öðrum til ama (Hänel, 2000). Tengsl nútímamannsins við raflýsingu eru afar sterk og flókin. Djúpstæður ótti við myrkur og það að lýsing vekur öryggiskennd hefur til dæmis ýtt undir þá skoðun að aukin birta verði til að fækka glæpum (Smith, 2009). Aðrar heimildir benda til þess að ekki séu bein tengsl milli ljósmagns og glæpatíðni. Glæpir séu einnig framdir um hábjartan dag og hljóti að ráðast af fleiri þáttum (Smith, 2009; Clark 2002).

Í júní 1992 var haldin ráðstefna í París um áhrif umhverfismengunar á stjörnufræði. Að ráðstefnunni stóð menningar- og vísindastofnun Sameinuðu þjóðanna, UNESCO, ásamt Alþjóðasambandi vísindafélaga, Alþjóðasambandi stjörnufræðinga og Alþjóðanefnd um geimrannsóknir. Erindi og niðurstöður ráðstefnunnar voru gefin út í bókformi undir heitinu *The Vanishing Universe*, eða Alheimurinn er að hverfa. Nafnið segir sína sögu og það er óhætt að segja að þessi bók er enginn skemmtilestur (Þorsteinn Sæmundsson stjörnufræðingur, minnisblöð fyrir fund Ljóstæknifélagsins, 3. desember 1997). Nú er svo komið að ljósmengun er víða viðurkennt umhverfisvandamál sem mörg borgarsamfélög erlendis vilja af fremsta megni vinna bug á. Ekki eingöngu vegna sjónrænna áhrifa heldur einnig vegna kostnaðar sem hlýst af oflýsingu og umhverfissjónarmiða. Í Bandaríkjunum hafa sveitarfélög og fylki sett reglugerðir og lög um ljósmengun (Hilmar Jónsson, 2003).

Svipaða sögu má segja frá Evrópu og Japan svo fátt eitt sé nefnt (Isobe & Hamamura, 2000). Á eyjunum Tenerife og La Palma í Kanaríeyjaklasanum, þar sem fjöldi stjörnuathugunarstöðva er staðsettur, hafa verið sett lög beinlínis til þess að vernda næturmyrkrið.

Víða í hinum vestræna heimi eru samtök að berjast gegn aukinni lýsingu sem bætir sífellt í ljósmengun. Alþjóðleg samtök um dimman himin (IDA) sem áður voru nefnd hafa verið starfandi í 20 ár. IDA er staðsett í Bandaríkjunum en er með meðlimi í fjölmörgum löndum. Samtökin eru með góða vefsíðu sem kynnir vandamál tengd ljósmengun um allan heim og lausnir á þeim (IDA, 2009). Dark Sky Society (DSS) eru önnur samtök, einnig staðsett í Bandaríkjunum, og helga sig sömu málaflokkum.

3 Mæling á „gæðum“ myrkurs

Áhugi almennings á norðurljósa- og stjörnuskoðun hefur aukist á síðustu áratugum. Gerist það samhliða uppgötvunum og aukinni þekkingu á alheiminum og auðveldu aðgengi að upplýsingum. Þessi náttúruskoðun er stunduð hérlandis á heiðríkum vetrarkvöldum. Ljósmengun dregur úr myrkrinu svo daufar stjörnur og vetrarbrautin tapa fljótt í samkeppninni. Norðurljósinn dofna og sjást jafnvel ekki innan borgar. Fyrir vikið þarf að fara út fyrir borgarmörk til þess að njóta stjarna og norðurljósa. Það nægir samt ekki því ljóshjúpurinn rís svo hátt að hann sést langt út fyrir borgina. Mynd 6. er tekin frá Bláfjöllum og sýnir að bjarminn frá Reykjavík er áberandi úr mikilli fjarlægð.



Mynd 6. Ljóshjúpur Reykjavíkur séð frá Bláfjöllum. Ljósmynd SG.

Hér má setja fram þrjár spurningar: 1) Af hverju er ljósmengun svona óheppileg fyrir stjörnu- og norðurljósaskoðun? 2) Hve mikil áhrif hefur ljóshjúpurinn? 3) Hversu víðtæk eru áhrifin? Tvær skýringar svara fyrstu spurningunni: a) Bjarmi drepur niður skilin milli stjarna og myrkursins, hann veldur því að himinn verður jafnbjartur stjörnum sem hverfa þá sjónum. b) Myrkuraðlögun mannsaugans er seinvirk. Hún er eiginleiki sem hjálpar okkur að sjá í daufri skímu og nýtist til að greina fleiri stjörnur og dauf fyrirbæri á næturhimni. Aðlögunin er tvíþætt. Í fyrsta lagi víkka sjáöldur þegar ljós dofna og hleypa þannig meira ljósi inn í augu. Í öðru lagi eykst næmni augans fyrir birtu í daufu ljósi en full aðlögun tekur allt að 45 mínútur (Crawford, 2000). Ekki þarf annað til en ljós eða glampa í augu til þess að skemma aðlögunina og sjáöldur dragast saman. Ljósbjarmi, jafnvel í mikilli fjarlægð, hefur neikvæð áhrif á myrkuraðlögun. Við síbjarna næst hún aldrei.

Ljósmengun getur orðið afar mikil í stórborgum. Viðamikil rannsókn var gerð í Hong Kong (sjö milljón íbúar) 2008 – 2009, í tilefni *Árs stjörnufræðinnar 2009*. Niðurstöður sýndu að himinninn yfir borginni er 100 falt bjartari en náttúrulegt myrkur og sumstaðar allt að 500 sinnum bjartari. Ástandið er svo slæmt að á heiðskírustu nóttum sjást varla stjörnur (Kwok, 2009). Einungis nokkrar stjörnur eru eiginlega nógu skærar til að sjást. Til samanburðar má ætla að 1500 – 2000 stjörnur sjáist frá óbyggðum svæðum við sjávarmál. Höfundar segja áhyggjuefni að í framtíðinni verði tunglið eina stjarnfyrirbærið sem börn eigi eftir að sjá úr stórborgum (Pun & So, 2009). Með skynsamlegri næturlýsingu þarf slík framtíðarsýn ekki að verða að raunveruleika.

Seinni spurningunum tveimur verður ekki svarað án örlítills aðdraganda. Áður en hægt er að fullyrða um áhrif ljósmengunar þarf að skoða fyrst hversu dimmt verður af náttúrulegum orsökum. Sömuleiðis þarf aðferð til þess að mæla ljósið og mælikvarða til að gera samanburð við náttúrulegt myrkur.

3.1 Náttúrulegt myrkur

Myrkrið dreifist ekki jafnt á jörðinni og fyrir því eru nokkrar ástæður. Fyrst skal nefna birtusveiflu sólarhringsins sem stýrist af sólarljósi, hnattstöðu og möndulsnúningi jarðar (dægursveiflan). Þar við bætist árstíðabundin sveifla vegna möndulhalla jarðar og breytilegri fjarlægð jarðar frá sól. Þessar sveiflur þýða að birta getur verið 10 milljón sinnum meiri að degi heldur en nóttu á tilteknum stað (Benn & Ellison, 2007). Aðrir mikilvægir þættir sem hafa áhrif á hversu dimmt verður skulu nú skoðaðir en taka þarf tillit til þeirra í öllum mælingum á myrkri.

Á næturhimni má sjá að myrkrið dreifist ekki jafnt en er sýnu meira í hvirfilpunkti en við sjóndeildarhring. Í hvirfilpunkti er þykkt lofthjúpsins ein loftmassaeining en þegar nær dregur sjóndeildarhring er horft gegnum sífellt þykkari lofthjúp. Ljós stjörnu sem fer í gegnum loftmassa deyfist vegna ljósdreifingar og gleypni. Deyfingin er mest við sjóndeildarhring og þar er næturhiminninn jafnframt bjartastur (Henden & Kaitchuck, 1990). Manngerð birta verður einnig mest áberandi þar af sömu ástæðu. Í hvirfilpunkti er því myrkrið mest og gefur besta mynd af því hve dimmt getur orðið á tilteknum stað. Þar er eðlilegur viðmiðunarpunktur fyrir náttúrulegt myrkur.

Að fleiru þarf að hyggja sem hefur staðbundin áhrif á myrkrið. Ryk og mengun bæði gleypir ljós og dreifir því. Endurkast tunglskins og manngerð lýsing getur sömuleiðis aukið birtuna (Krisciunas & Schaefer, 1991). Áhrif tunglskins (mynd 7) á næturhiminninn er breytileg. Á fyrsta kvartil lýsir það himinninn upp svo að hann verður 2,5 sinnum bjartari en þegar tungl sést ekki á himni. Á fullu tungli er munurinn fertugfaldur (Benn & Ellison, 2007). Snjóþekja endurkastar miklu ljósi og dregur því úr myrkri. Magnast áhrifin enn ef tungl er á himni. Ofangreindir þættir hafa áhrif á viðmiðið – skerða náttúrulegt myrkur. Til þess að geta lýst myrkri sem best á tilteknum stað þarf að forðast slíkar breytur en einnig hafa í huga þá þætti sem nú verður lýst.



Mynd 7. Tunglið og reikistjarnan Mars (t.h.). Áhrif tunglbirtu á næturmyrkur. Ljósmynd SG.

Næturljómi er dauft skin sem verður til í rafhvolfi jarðar vegna jónunar á frum- og sameindum fyrir tilverknað útfjólublárrar sólgeislunar (Mason, 1987). Ljóminn hefur mikil áhrif á náttúrulegt myrkur hér á landi og lýsir á bylgjulengdum sem eru einnig bjartastar í norðurljósum. Styrkur næturljómans eykst með vaxandi fjarlægð frá hvirfilpunkti og nær hámarki um 80° frá honum. Þaðan yfirtekur deyfing og gleypni lofthjúpsins ljómann þegar nær dregur sjóndeildarhring. Jónun á sér stöðugt stað, hún er virkari sólmegin (dagljóminn er meira en 1000 sinnum bjartari en næturljóminn) en vegna dagsbirtu sést skíman ekki (Benn & Ellison, 2007). Styrkur ljómans er mjög breytilegur eftir hnattstöðu og sveiflukenndur yfir daginn, árstíðabundið og til lengri tíma litið. Næturljómi er háður virkni sólar og fylgir styrkurinn sólblettasveiflunni, sem tekur um 11 ár (Shepherd o.fl., 2006). Næturljómi eykst þegar nær dregur segulskautunum og er tvisvar sinnum bjartari við 70° breiddarbaug en 20° breiddarbaug.

Norðurljós myndast í rafhvolfinu eins og næturljómi. Þau verða til af völdum rafhlaðinna agna sem berast frá sólu og hafa áhrif á atóm og sameindir lofthjúpsins. Hversu algeng norðurljós eru ræðst af: a) sólvirkni (Þegar sólblettir eru í lágmarki eru norðurljósín það einnig), b) hnattstöðu (norðurljós eru algengust 2-3000 km frá segulskautum jarðar) og c) árstíma (norðurljós eru tíðari nærri jafndægum en á öðrum árstímum) (Henden & Kaitchuck, 1990).

Mynd 8 sýnir mismunandi liti norðurljósa í miklu norðurljósaflóði fyrir nokkrum árum. Slíkir atburðir eru eftirsóknarverð sýn á næturhimni fyrir náttúruskoðara en fara þarf út fyrir þéttbýlið til þess að njóta fegurðarinnar til fullnustu. Norðurljós eru að staðaldri yfir Íslandi, stundum svo dauf að þau sjást varla en greinast engu að síður með mælitækjum. Þau geta því haft áhrif á viðmiðunargildi náttúrulegs myrkurs.



Mynd 8. Norðurljós. Ljósmynd SG.

Stjörnuskin hefur áhrif á náttúrulegt myrkur. Stjörnur sem sjást ekki með berum augum leggja mest til bakgrunnsins vegna fjöldans. Mynd 9 sýnir stjörnuþyrpingar í vetrarbrautinni. Næstum allar eru of daufar til að sjást með berum augum. Birtan er samt staðreynd en framlagið leggst til heildarbirtu himins. Samanlögð skíma þeirra leggur töluvert til en dreifist ójafnt því fleiri stjörnur eru í vetrarbrautarbeltinu en beggja vegna þess. Stjörnuskin sem brotnar á milligeimsryki myndar daufan ljóma í vetrarbrautarsléttunni (Benn & Ellison, 2007). Skin frá fjarlægum vetrarbrautum, langt utan okkar eigin vetrarbrautar, er afar lítið eða $\sim 1\%$ af heildinni (Henden & Kaitchuck, 1990). Ekki verður fjallað frekar um þennan áhrifapátt vegna þess hve lítil áhrif hann hefur á ljósmælingarnar sem hér er greint frá.



Mynd 9. Tvíþyrpingin í Perseusi. Stjörnuskin leggur til náttúrulegs myrkurs. Ljósmynd SG.

Sverðbjarmi (mynd 10) stafar frá sólarljósi sem brotnar á rykögnum sem sveima umhverfis sólu. Fíngert ryk situr í sporvölulaga belti út frá miðbaugi sólar og hallar um 7° frá sólbraut. Sverðbjarmi sést um sólsetur (á vesturhimni) eða fyrir sólarupprás (á austurhimni). Frá jörðu sést daufur keilulaga bjarmi, 20° - 30° breiður næst sólu, en dofna og þynnist út þegar fjær dregur (Livesey, 1987a). Næst sólu er sverðbjarmi bjartari en vetrarbrautin (Henden & Kaitchuck, 1990). *Gagnskin* (gegenchein) myndast vegna endurkast sólarljóssins af rykögnum utan við braut jarðar, þ.e. fjær sólu (Livesey, 1987b). Nauðsynlegt er að huga að sverðbjarma og gagnskini þegar meta skal myrkur hvort sem er í dægur- eða árstíðasveiflu. Að sumri til við miðnæturbil er sólbraut lægra á himni en að vetri. Birtuaukning um einhver brot úr prósentu má rekja til dreifðs ljóss frá sverðbjarma og stjörnum (Benn & Ellison, 2007).

Mynd 10. Sverðbjarmi frá Paranal. Ljósmynd Y.Beletsky.Wikipedia.



3.2 Mæling á stigi myrkursins

Ef hægt er að ákvarða hversu dimmt er á tilteknum stað eða svæði, með hliðsjón af ofangreindum þáttum, er einnig unnt að meta áhrif raflýsingar. Þegar manngert ljós sleppur út í lofthjúpin dregur það úr náttúrulegu myrkri eða gerir himin bjartari. Áhrif lýsingar ná ekki eingöngu beint upp því að ljósum er stefnt í allar áttir. Síðan brotnar það og dreifist af loftsameindum og svifryki. Ljósmaelar nema þetta og því er hægt að kortleggja styrk endurkastsins og hve langt frá uppsprettu það nær. Við vinnslu þessa verkefnis var birta himinsins mæld með SQM-L ljósmæli (Sky Quality Meter). Ljósmaelirinn (Unihedron) nemur ljósið með sérstökum kísil-ljóstvisti (díóðu) eftir að það hefur farið gegnum linsu og ljóssíu. Tvisturinn nemur ljós með bylgjulengdunum 320 -1050 nanómetrar (nm) en er síað gegnum ljóssíu sem útilokar bylgjulengdir hærri en 740 nm (TAOS, 2009). Hiti hefur ekki áhrif á mælingarnar.

Ljósmaelirinn nemur birtu frá hringlaga ljóskeilu með 10° geisla (radíus). Flatarmál hringsins er því 314 fergráður. Næmni mælisins yfir sviðið breytist og er næstum 100 falt minni við jaðar en í miðju flatarins. Innan slíks hringflatar er fjöldi stjarna en SQM-L mælir vegið meðaltal af birtu himinsins. Ætla má að hverju sinni sé jafnmikið af stjörnum innan flatarsins og frá þeim stafi jafnmikil heildarbirta. Áhrif stjarna af birtustigi fimm bætir 6% við heildarbirtu náttúrulegs myrkurs (Cinzano, 2005). Ljósmaelirinn gefur gildi í einingunni birtustig/ferbogasek¹. Einingin lýsir því hve mikið ljós berst frá einni ferbogasekúndu. Birtustigskvarðinn er lógaritmískur þar sem mikill birtumunur er lesinn í litlum tölubreytingum (birtustigum, hér stytt í bst). Mælieiningin tengist því beint sýndarbirtustigi stjarna. Bogi hrings er mældur í gráðum (360° í hring). Hverri gráðu er skipt í 60

¹ Kandela/fermetra (cd/m^2) sem er mælieining fyrir geislunarstyrk er einnig notuð til þess að lýsa ljósmengun. Til að umbreyta gildum bst/bogasek² í cd/m^2 er eftirfarandi jafna notuð: $[\text{gildi í } \text{cd}/\text{m}^2] = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(x)}$. Veldisvísirinn $x = (-0,4[\text{gildi í bst/bogasek}^2])$.

bogamínútur og bogamínútunni í 60 bogasekúndur. Fleti kúlulaga yfirborðs má lýsa í fer[nings]gráðum, ferbogamínútum eða ferbogasekúndum (hornflatareining: bogasek²). Þegar ljósmælirinn sem dæmi gefur gildið 20,00 samsvarar það að punktbirtu stjörnu af birtustigi tuttugu væri dreift á ferbogasekúndu flöt. Því hærra gildi sem lesið er, því dimmari er himinn.

SQM-L ljósmælirinn er einfaldur að gerð og notaður mjög víða. Bera má mælingar saman milli staða. Mæliaðferðin er að mæla í hvirfilpunkt, þar sem myrkrið er mest. Framleiðandinn fullyrðir að skekkjumörk mælanna séu $\pm 0,1$ bst/bogasek². Samanburður við aðrar gerðir ljósmæla er hins vegar vandasamari og þarfnast þá leiðréttinga (Cinzano, 2005). Leiðarvísir segir hita geta haft áhrif á mælingar þó innbyggður hitanemi vegi á móti. Prófun staðfesti þetta og sýndi örlítinn mun, hærri gildi við meiri hita. Þótt munurinn sé lítill, er réttast að gera mælingar við sem jafnastar hitaáðstæður. Ljósmælirinn gefur upp hitastig eftir mælingu svo að fylgjast má með breytingum.

Viðbrögð SQM-L við ljósi, sem og annarra ljósmæla, ræðst af gerð ljósnemans. Því þarf leiðréttingarstuðul til samanburðar við aðrar gerðir. Mælingin er miðuð við svonefndan V-borða sem eru bylgjulengdir milli 500 og 570 nm. Hámarksnæmni augans liggur á því bili. Um 90% af bylgjulengd 522 nm sleppa gegnum síuna. Cinzano (2005) mælir með því að taka tillit til óvissu í mæligildum og leiðrétta niðurstöðurnar eftir því hvert umhverfið er til að jafna breytilega svörun SQM-L þegar miðað er við V-borða (sjá töflu 1). Í lið 2. er horft til næturhimins sem er lýstur upp af ljósi frá háþrýstu natríum, háþrýstu kvikasilfri (sjá ljósgjafa í viðauka B), tungsten-birtu og tungsljósi (Cinzano, 2005).

Tafla 1. Leiðréttingarstuðull SQM-L fyrir V-borða.

SQM mæligildi	Leiðrétting (SQM – V)	Óvissa
1. Náttúrulegt myrkur eða loftmengun	SQM – 0,17	$\pm 0,07$
2. Ljósker, tungsten og tungsljós	SQM – 0,11	$\pm 0,14$

Heimild: Cinzano, 2005.

3.3 Mælikvarði sýndarbirtu stjarna

Algengustu gildi sem SQM-L ljósmælirinn nemur af himni eru frá 16 í 22 bst/bogasek². Stjörnur af þeim styrk eru of daufar til að sjást í litlum sjónaukum, hvað þá berum augum. Mælikvarði á sýndarbirtuna byggist á gömlum viðmiðum sem rekja uppruna til Grikkja fyrir um 2100 árum. Enskur stjörnufræðingur, Norman Pogson (1829 – 1891) að nafni, fastmótaði kerfið seinna meir. Stjarna af fyrsta sýndarbirtustigi er skilgreind 100 falt bjartari en stjarna af birtustigi sex (Jones, 1968). Hvert birtustig svarar því til 2,512 falds birtumunar. Í tíð Pogsons voru sjónaukar komnir til sögunnar og sáust þá margfalt daufari stjörnur en mögulegt var að sjá fyrr. Kvarðinn nær til eins daufra stjarna (eða geimfyrirbæra) og verkast vill eða greinast með öflugustu sjónaukum.

Nú er sýndarbirtukvarðinn miðaður við Blástjörnuna (Vega í Hörpunni) sem er stöðug meginraðarstjarna. Birtustig hennar er 0,03 (Bright Star Catalogue, 2011). Sírius, bjartasta fastastjarnan, er enn bjartari og fær neikvætt formerki. Sýndarbirta hennar er -1,5. Birtustig tungls í fyllingu er -12,7 og sólar -26,7 (Williams, 2004). Þar sem mælikvarðinn er

lógaritmískur þjappast tölurnar býsna mikið. Daufustu fyrirbæri sem Hubble geimsjónaukinn hefur myndað mælast af birtustigi 30 (Villard & Williams, 1996). Spönn birtukvarðans, frá birtu sólar til þessara daufustu stjarna er því 56,7 birtustig. Birtuhlutfallið er þó talsvert meira eða 1 á móti $5 \cdot 10^{22}$ (Kitchin, 1995). Þegar sýndarbirtustig er mælt er ekki tekið tillit til fjarlægðar fyrirbærisins og því segir gildið ekkert um raunbirtuna.

3.4 Tengsl sýndarbirtu stjarna og myrkurs

Samband er á milli þess hve daufar stjörnur sjást með berum augum og birtu bakgrunns. Því hafa Schaefer (1990) og Carlin (1998) lýst. Hér skal hafa hugfast að a) stjarna sem greinist, sama hver sýndarbirta hennar er, sést ekki nema hún sé bjartari en bakgrunnurinn og b) bakgrunnurinn milli stjarnanna er ekki dimmur vegna þess að ekkert ljós sé þar heldur vegna þess að þaðan stafar minni skímu (frá fjölda daufari stjarna og vetrarbrautum) en frá stjörnum í forgrunni. Myrkrið á milli þeirra ræðst af því hve dauft ljós eða bylgjulengdir rafsegulrófsins er unnt að nema. Það skin má hugsa sér sem birtu af safni óteljandi daufra stjarna sem mynda samfelldan bakgrunn sem er daufari en stjörnurnar sem sjást.

Tafla 2. sýnir hversu daufar stjörnur greinast með berum augum miðað við bakgrunn. Í fyrsta dálki eru nöfn stjarna, þá sýndarbirtustig, birtustig himins þegar stjörnur sjást fyrst og loks lýsing himins. Sem dæmi: Í ljósaskiptum þegar fyrstu stjörnur sjást er birta himins milli 12,5 - 14,0 bst/bogasek². Þegar birta himins mælist nærri 21,0 eru daufustu stjörnur sem sjást af bst 6,0.

Tafla 2. Sýndarbirtustig stjarna og myrkuraðstæður.

Dæmi	Birtustig	Bst himins (bst/bogasek ²)	Himinn
Sólin	-26,7	—	Dagsbirta
Tungl í fyllingu	-12,7	—	
Venus (björtust)	-4,9	—	
	—	13,2	Björtustu svæði í Hong Kong
Blástjarnan (Vega)	0,03	14,4	Ljósaskipti, sól undir sjóndeildarhring.
	—	15,2	Meðalþéttbýli í Hong Kong.
Daufustu stjörnur	2,2	16,0	Afar slæmt, síbjarmi.
Daufustu stjörnur	3,2	17,0	Slæm borgarlýsing
Daufustu stjörnur	4,0	18,0	Borgarlýsing, slæmur úthverfahiminn
Daufustu stjörnur	4,8	19,0	Viðunandi úthverfahiminn
Daufustu stjörnur	5,5	20,0	Mjög góður úthverfahiminn
Daufustu stjörnur	6,0	20,7	Meðalgóð skilyrði
	—	21,1	Góð skilyrði fjarri byggðum
Daufustu stjörnur	6,5	21,7	Afar góð skilyrði
	—	22,0	Dimmasti himinn

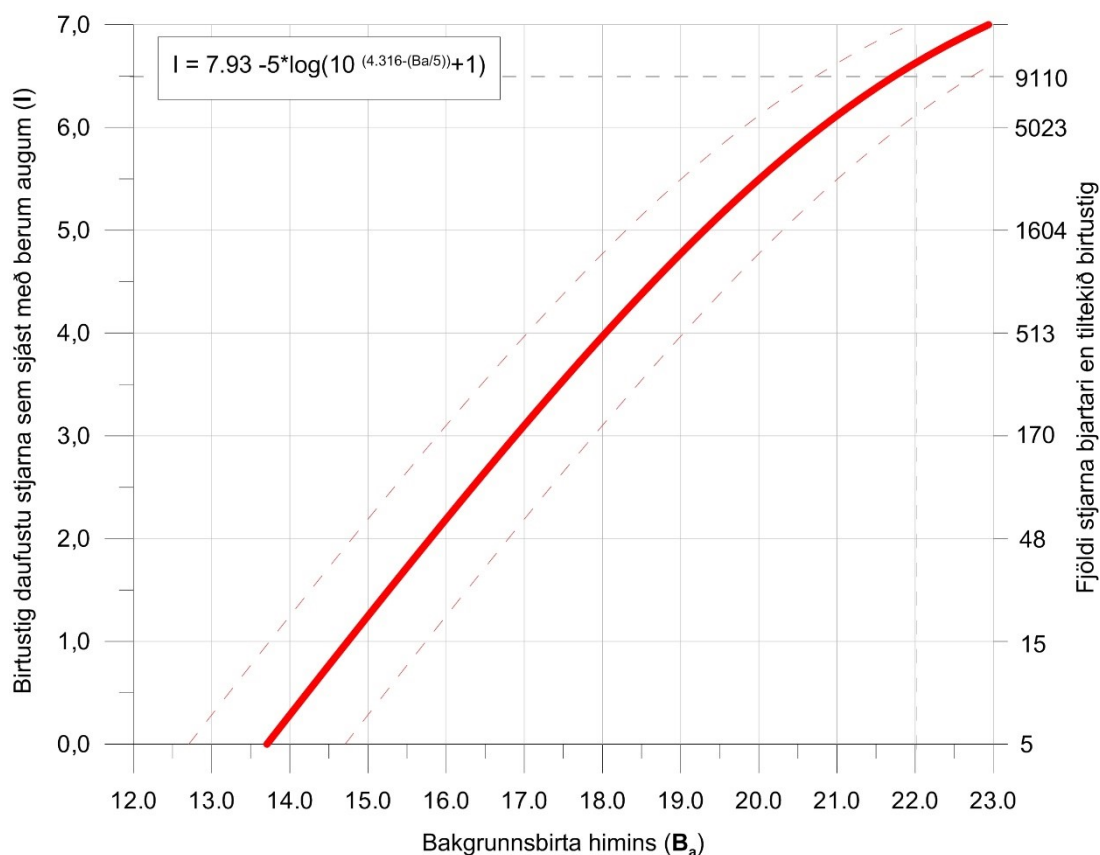
Heimild: Bortle, 2001; Crawford, 2000; Garstang, 2000; Kwok 2009

Samkvæmt Carlin (1998) gildir eftirfarandi jafna sem sýnir sambandið milli sýndarbirtu daufustu stjörnu sem unnt er að greina (**I**) og birtu bakgrunns (**B_a**)

$$I = 7.93 - 5 \cdot \log(10^{(4.316 - (B_a/5))} + 1)$$

Hvorn þáttinn sem er, **I** eða **B_a**, má laga með sjónaukum, þ.e. auka sýndarbirtu stjörnnunnar en deyfa bakgrunninn með mikilli stækkun, sem hefur áhrif vegna ljósdreifingar. Bakgrunnurinn er víðfeðmastur séð með berum augum og þá er birta himinsins mest. Sjónaukar hafa hins vegar þröngt sjónsvið. Á fullkomnlega myrkum himni væri daufasta stjarna sem unnt væri að sjá af birtustigi 7,93. Garstang (1986) hefur reiknað út að mesta mögulega myrkur sem finna má á V-ljósborða sé 22,01 bst/bogasek². Hann nefnir að í Santa Lucia fjöllum í Kaliforníu (um 1500 metra yfir sjávarmáli) hafi náttúrulegt myrkur mælst 21,9 bst/bogasek².

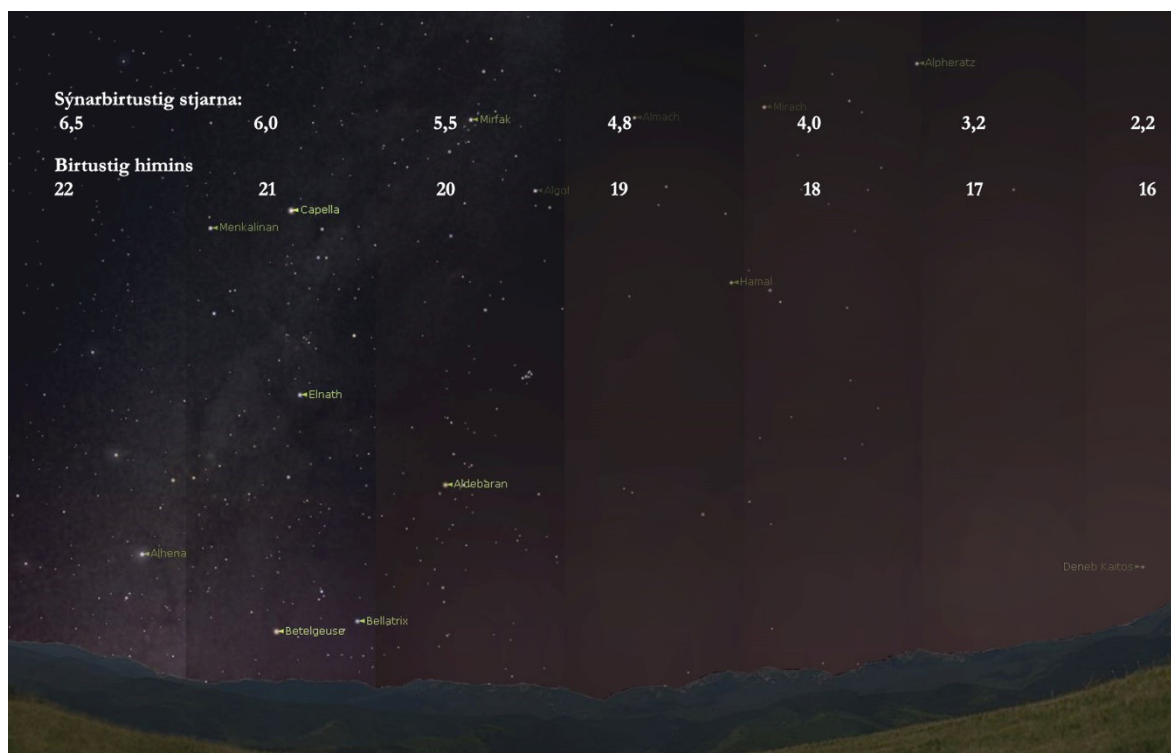
Mynd 11 er fengin með útreikningum á breytilegum gildum frá ofangreindri jöfnu Carlins. Á lóðrétta ásnum, vinstra megin, má lesa hve daufar stjörnur sjást með berum augum miðað við bakgrunnsbirtu himins. Í raunveruleikanum er þetta ekki svo einfalt vegna þess að sjáöldur eru misstór eftir einstaklingum, aldri og myrkuraðlögun (ljósopið er ~5-7 mm). Auk þess erum við misnæm gagnvart litum og stjörnurnar og bakgrunnurinn misdimmur eftir bylgjulengdum (Benn & Ellisson, 2007). Brotalínurnar gefa því sveigjanleika til kynna; mat flestra athugenda myndu lenda innan þeirra en heila línar er meðaltalið. Á lóðrétta ásnum hægra megin sést hve margar stjörnur eru bjartari en tiltekin birtustig. Dæmi: 15 stjörnur eru bjartari en birtustig 1,0 en 5023 eru bjartari en birtustig 6,0. Birta himins er síðan lesin af láréttum ás (x-ás).



Mynd 11. Sambandið milli sýndarbirtu stjarna og bakgrunnsins. Eftir Schaefer (1990) og Carlin (1998).

Stjörnuathugunarstöðvar eru reistar þar sem himinn er mjög dimmur, á háum fjöllum ofan við mestan hluta loftmassans og fjarri byggðum. Norræni stjörnufræðingurinn er á fjallinu Roque de los Muchachos (Strákaklettur) á La Palma, í 2400 m hæð. Þar mælist himinninn 21,6 á V-borða (Pedani, 2004). Af línunni á mynd 11 ættu stjörnur af birtustigi nærri 6,5 að greinast, jafnvel daufari. Að auki sést vetrarbrautin sem þétt mjólkurlitað ský.

Til frekari skýringa má bera saman hve margar stjörnur sjást frá La Palma og í Reykjavík. Bright Star Catalogue (2011) skráir 9110 stjörnur bjartari en 6,5. Ef meðaldreifing stjarna yfir himinhvelfinguna væri jöfn og engin deyfing í lofthjúpnunum ætti um helmingur þessara stjarna að sjást frá La Palma á hverjum tíma. Í borg við sjávarmál, með svipaða ljósmengun og Reykjavík, sjást 5% þeirra. Þetta má einnig skoða sjónrænt á mynd 12 sem er byggð á ofangreindum forsendum. Við hvert birtustig sem himinninn verður bjartari fækkar stjörnunum sem sjást. Við sjávarmál nær himinninn aldrei sama myrkri og á háfjöllum, jafnvel þó manngerð lýsing sé fjarri, því að lofthjúpurinn hefur þar meiri áhrif.



Mynd 12. Samband birtustigs himins og birtustigs björtustu stjarna sem sjást. Eftir Naturhistoriska Riksmuseet (2006).

Í upphafi kaflans var nefnt dæmi um næturhimin Hong Kong. Þar mældist bjarminn árin 2008 – 2009 vera 15,2 bst/bogasek² að meðaltali en 13,2 þar sem verst var (Pun & So, 2009). Einungis sjást björtustu stjörnur víðast hvar í borginni. Kwok (2009) segir þó ástandið svo slæmt að á heiðskírustu nóttum sjáist ekki stjörnur. Náttúrulegt myrkur á svæðum utan við borgina mælist 20,1 bst/bogasek².

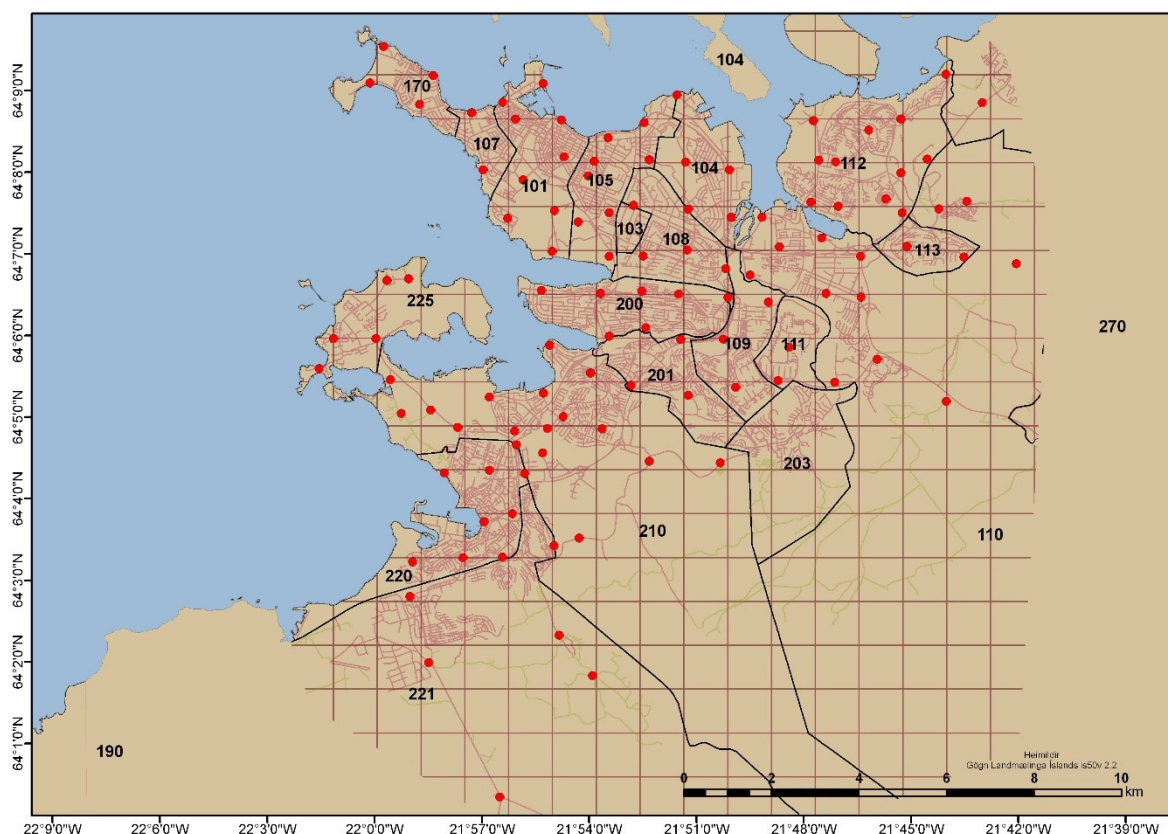
Í stuttri samantekt: Til þess að mæla áhrif ljósmengunar þarf að skilgreina náttúrulegt myrkur, mæla það og bera saman við núverandi bjarma eða ljóshjúp yfir byggðum.

4 Aðferðir

Einn af kostum SQM-L ljósmælisins er að hann er mjög fljótvirkur og hentar því afar vel í verkefni af þessu tagi. Hér á landi er nauðsynlegt að nota hraðvirka aðferð ef safna á gögnum af víðfeðmu svæði því veðurskilyrði, tungsljós, næturljómi og norðurljós geta sett strik í reikningin og tafið mælingar ella. Skamman tíma tekur að ná inn mæligildum og því hægt að kemba stór svæði tiltölulega hratt með góðri nákvæmni.

4.1 Val mælipunkta

Vettvangssvæðið var reitað niður eins og sést á mynd 13. Flatarmál þess er um 210 km² og tekur yfir Reykjavík, Seltjarnarnes, Kópavog, Garðabæ, Álftanes og Hafnarfjörð. Val mælipunkta var ákveðið frá eftirfarandi forsendum: Bil milli punkta skyldi vera um einn km og þeir valdir af hendingu (slembipunktur) en ekki fyrirfram ákveðnir. Fyrst var búið til reitanet með 1x1 km ferningum í landupplýsingaforritinu ArcMap og netið lagt yfir kort af áður nefndu svæði. Markmiðið var að mæla í hvern krosspunkt ferninganna eða því sem næst. Forritið ræður grunnviðmiðunarpunktum í heildarfleti sem er valinn eftir stærðarkvarða og endamörkum svæðisins.



Mynd 13. Reitun vettvangssvæðis og lega mælipunkta. Svartar linur eru hverfamörk. Kortagrunnur Landmælinga Íslands (is50v). Kortagerð SG.

Þegar reitanetið var fellt yfir borgina réð hending hvar krosspunktur (mælistaðir) lentu. Reitanetið var einungis nálgun því að raunverulegt bíl mælipunkta takmarkast af landi, gatnakerfi og húsum. Á vettvangi var reynt að komast eins nærri krosspunktunum og aðstæður leyfðu. Sumir lentu á byggingum, stoðbrautum eða jafnvel úti í sjó. Þá voru mælistaðir fluttir til. Allar mælingar voru gerðar úr bíl og því háðar gatnakerfi borgarinnar. Hver mælipunktur var valinn eins fjarri ljósastaurum og hægt var til að fyrirbyggja áhrif beinnar geislunar í ljósmælinn. Misjafnt var hversu langt frá krosspunktum þurfti að hnika mælipunktum; gat það numið tugum metra og meira en 500 m í nokkrum tilfellum.

Auk ljósmælis var notað GPS tæki (Garmin 420) sem var sett upp í bifreið. Á vettvangi voru stöðuhnit mælistaðar skráð í tölvu ásamt auðkenni, hæð og GPS-skekkju í metrum, tíma og ljósmælingu. Stöðuhnit voru skráð í gráðum og gráðubrotum. Einnig athugasemdir, t.d. ef ljósastaur var nærri og slíkt. Skrá yfir mælipunkta er í viðauka C. Meðaltal þriggja mælinga var reiknað og leiðrétt sbr. Cinzano (2005).

Mælingar fóru fram í nóvember 2009 og apríl 2010. Dagana 15. – 16. nóvember voru mældir 39 punktar í Reykjavík og Seltjarnarnesbæ, frá Gróttu og austur fyrir Grafarholt, frá kl 19:23 að kvöldi til kl 01:56 að morgni. Að kvöldi 16. nóvember, frá 22:33 – 23:26, voru mældir sjö punktar í Hafnarfirði og austan bæjarins. Loks voru 39 punktar mældir í Kópavogi, Garðabæ og austurhverfi Reykjavíkur, 22. – 23. nóvember, auk punkta utan við byggðamörkin í austri, frá kl 18:34 að kvöldi til 01:23 að morgni. 27 mælipunktar á svæði í Hafnarfirði, Garðabæ og Álftanesi voru teknir 4. apríl 2010 frá kl 23:22 að kvöldi til kl 02:34 að morgni 5. apríl. Fjöldi mælipunkta varð 113 talsins. Jafnframt voru mældir punktar suðaustan við þéttbýlisvæðið utan raflýsingar en ekki í grennd við álverið í Straumsvík.

Sambærilegar aðstæður, þ. e. veðurlag og hitastig, voru alla mælidagana. Norðanátt var ríkjandi og hiti undir frostmarki í Reykjavík. Þess var gætt sérstaklega að norðurljós væru ekki á himni. Næturljómi var ekki metinn sérstaklega en mikil kyrrð var í sólvirkni og hafði verið um langt skeið. Mælingar hófust ætíð eftir myrkur og var lokið áður en lýsti aftur af degi. Tunglbirta hafði ekki áhrif enda einungis mælt nærri nýju tungli. Jafnframt var mælt þegar snjólaust var til þess að fyrirbyggja áhrif endurkastsins. Þess var gætt að ský hefðu ekki áhrif á mælingar. Að kvöldi 16. nóvember birtust góðviðrisbólstrar og var mælingum þá hætt.

Gögnin voru síðan flutt inn í landupplýsingaforritið ArcMap þar sem þau voru felld yfir kortagrunn Landmælinga Íslands (is50v) af svæðinu. Af því loknu voru unnin lýsigögn um „gæði“ myrkurs, m.a. með hliðsjón af íbúafjölda. Tölur um mannfjölda veturinn 2010 voru fengnar á vef Hagstofu Íslands (Hagstofan, 2011). Línurit og punktrit voru unnin í forritinu Grapher að loknum útreikningum og leiðréttingum.

5 Niðurstöður

Úr mæligögnum fengust niðurstöður til ákvörðunar náttúrulegs myrkurs og til þess að útbúa myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu og meta áhrif ljósmengunar. Sjá má meðaltalsbirtu hvers sveitarfélags og einstakra hverfa og hvert þeirra leggja mest til ljóshjúpsins. Einnig sjást tengsl íbúafjölda og athafnastarfsemi við ljósmengun.

5.1 Ákvörðun viðmiðs náttúrulegs myrkurs

Við nokkur tækifæri veturinn 2009 – 2010 voru gerðar mælingar fjarri mannabyggðum. Niðurstöður þeirra gefa hugmynd um hversu myrkt verður þar sem ljósmengun hefur engin áhrif. Meðaltal mæligildanna eru notuð hér sem viðmið (núllpunktur) um náttúrulegt myrkur á Íslandi. Meðaltal þeirra gaf 20,97 bst/bogasek². Undir slíkum næturhimni eru stjörnur af birtustigi sex sjálfgefín sýn, sömuleiðis vetrarbrautarslæðan, ef næturljómi og aðrar truflanir eru í lágmarki. Aftur er bent á myndir 11 og 12 til samanburðar. Tafla 3 sýnir mælistaði, birtustig himins, þá leiðrétt birtustig og að lokum frávik einstakra mæligilda frá meðaltali.

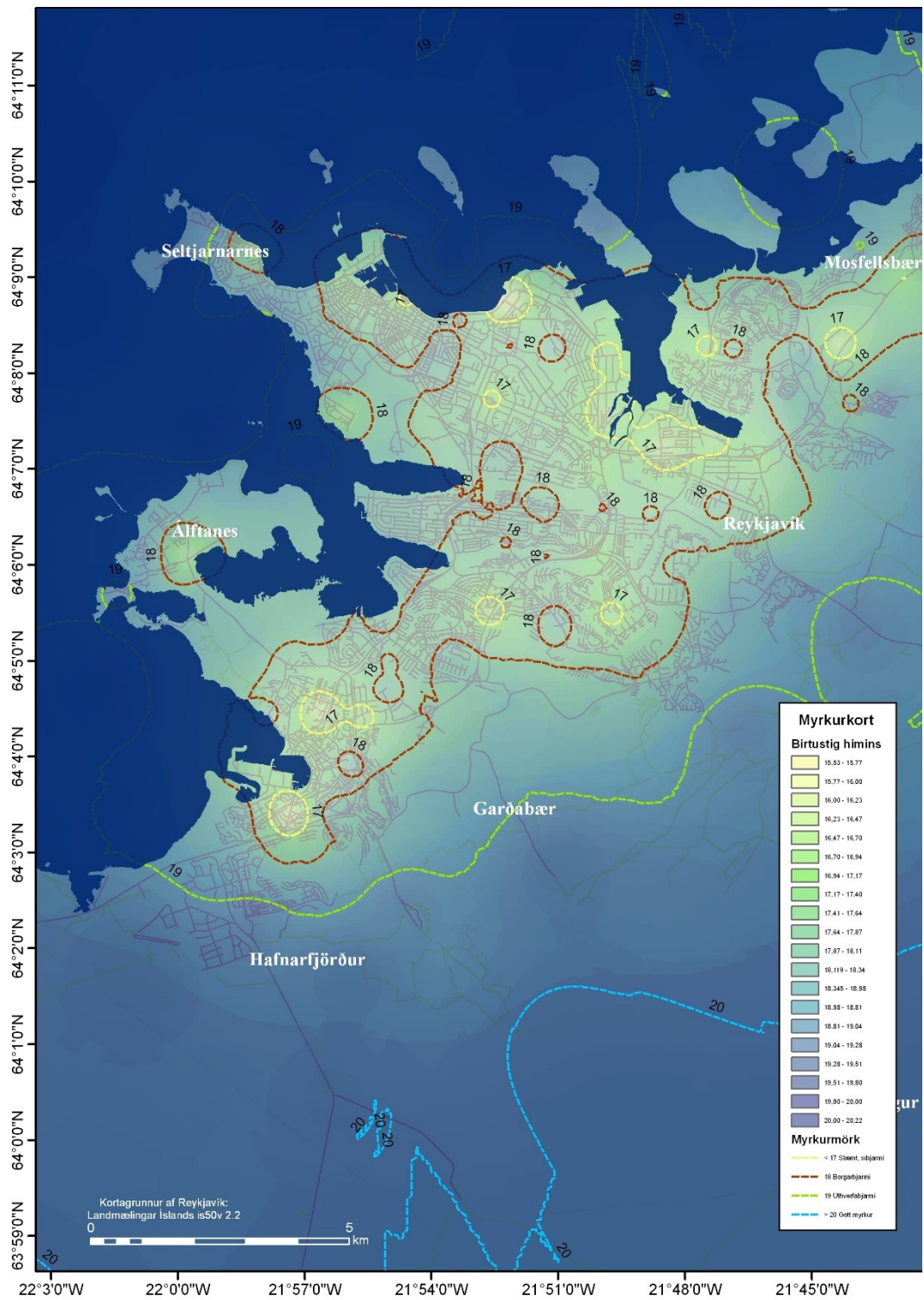
Skýringin á því hvers vegna himinninn mældist svo bjartur stafar án vafa frá áhrifum sem lýst var í síðasta kafla, t.d. næturljóma. Betra hefði verið að hafa enn stærra safn mælinga til ákvörðunar, tekið yfir nokkur ár og víðar af landinu, til þess að nálgast meðalgildi náttúrulegs myrkurs betur.

Tafla 3. Birtustig himins og frávik frá meðaltali náttúrulegs myrkurs (m_n) á Íslandi.

Mæling	bst/bogasek ²	Leiðrétt	Frávik
Víðivörðuháls	20,5	20,3	0,03
Skagafjörður	21,1	21,0	< 0,01
Öxnadalshéiði	21,1	20,9	< 0,01
Þórshöfn	21,3	21,1	- 0,01
Brekknahéiði	21,4	21,2	- 0,01
Langanesströnd	21,4	21,2	- 0,01
Bakkafjörður, NV þorps	21,0	20,8	0,01
Bakkafjörður, S þorps	21,4	21,3	- 0,01
Norðurdalur	21,1	20,9	< 0,01
Meðaltal (m_n)		20,97	

5.2 Myrkurkort af höfuðborgarsvæðinu

Mynd 14 sýnir birtu himins í hvirfilpunkti veturinn 2009 - 2010. Af kortinu má meta gæði myrkurs hvaðanæva á höfuðborgarsvæðinu og með hliðsjón af mynd 11 finna hve daufar stjörnur eru sjáanlegar. Minnt skal á að mæling í hvirfilpunkti segir ekkert til um staðbundnar aðstæður eins og skyggni í átt til sjóndeildarhrings eða truflun af nálægri lýsingu. Fyrirfram var reiknað með dvínandi áhrifum ljóshjúpsins í vaxandi fjarlægð frá borginni. Hvert þrep í ljósdreifingu er 0,4 b.stig/bogasek². Brotalínur sýna myrkurmörk við > 17, 18, 19, og < 20 til einföldunar.



Mynd 14. Kortið sýnir birtu næturhimins í hvirfilpunkti. Brotalínur fyrir myrkurmörk heilla birtustiga dregnar til einföldunar. Kortagerð Snævarr Guðmundsson.

5.3 Tölugögn

Til þess að skoða framlag sveitarfélaga og einstakra hverfa til ljóshjúpsins í gögnunum voru punktar flokkaðir og birtumeðaltal reiknað. Tölur 4 og 5 sýna íbúafjölda, meðaltalsbirtu

sveitarfélags, hnignun, og meðallúmen á íbúa. Hnignun ($2,512^x$) segir hve margfalt rýrari „gæði“ næturhiminsins eru miðað við náttúrulegt myrkur. Fyrst er birtustigsmunur (x) núverandi ástands og náttúrulegs myrkurs einfaldlega fundinn ($m_n - b_m = x$) en það er veldisvísir birtustigsbreytingarinnar. Þarna merkir m_n birtustig náttúrulegs myrkurs og b_m birtustig núverandi manngerðs bjarma. Lúmen segir til um meðalbirtunotkun á íbúa í sveitarfélagi. Einungis eru sýndar tölur fyrir svæði Orkuveitu Reykjavíkur. Lítið bæjarfélag (Þórshöfn) er tekið með til samanburðar.

Tafla 4. Meðaltalsbirta himins eftir sveitarfélögum.

Sveitarfélag	Íbúar	Birtustig himins	hnignun ($2,512^x$)	Lúmen*
Reykjavík	118326	17,8	18	2807
Kópavogur	30357	17,7	20	2460
Hafnarfjörður	25913	18,1	14	—
Garðabær	10643	18,2	13	3140
Seltjarnarnes	4395	18,5	10	2158
Álftanes	2523	18,3	12	—
Þórshöfn	390	19,7	3	—

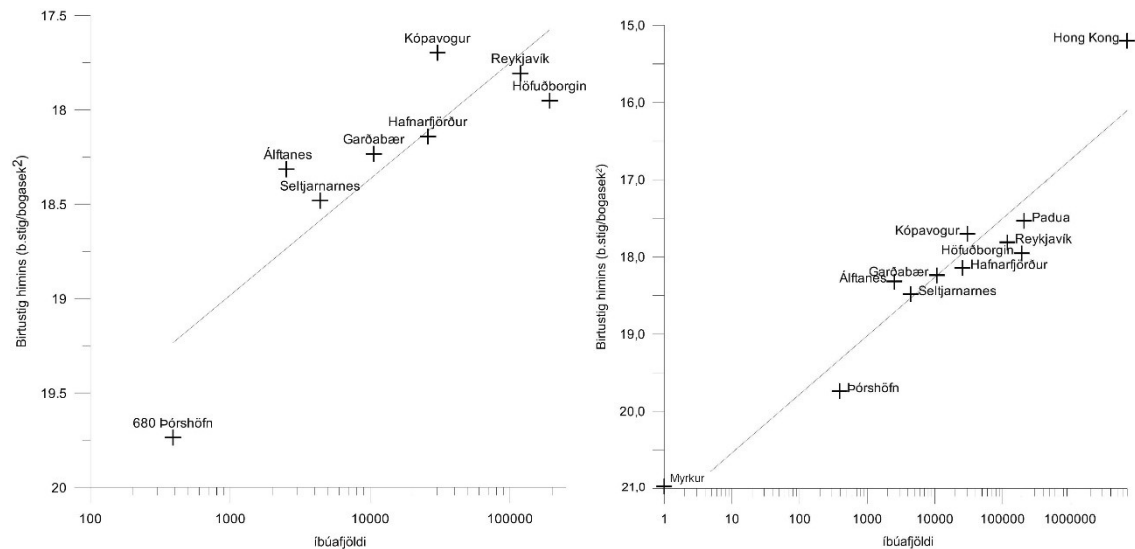
*Heimild: Hilmar Jónsson, tölvuskeyti, 19. apríl 2011.

Tafla 5. Meðaltalsbirta himins og myrkurgæði í einstökum hverfum.

Hverfi	Íbúar	Birtustig himins	hnignun ($2,512^x$)
Breiðholt	20675	17,6	23
105, 103	17567	17,7	21
112	17244	18,0	15
220 Hafnarfj.	16336	17,7	20
200 Kópavogur	16264	17,8	19
101	15054	17,7	21
201 Kópavogur	14093	17,6	22
Seltj. nes og 107*	13649	18,6	9
108	12079	17,5	25
110	10975	17,8	18
210 Garðabær	10643	18,2	12
104	9047	17,3	29
221 Hafnarfj.	9577	19,3	5
113	5487	18,6	9

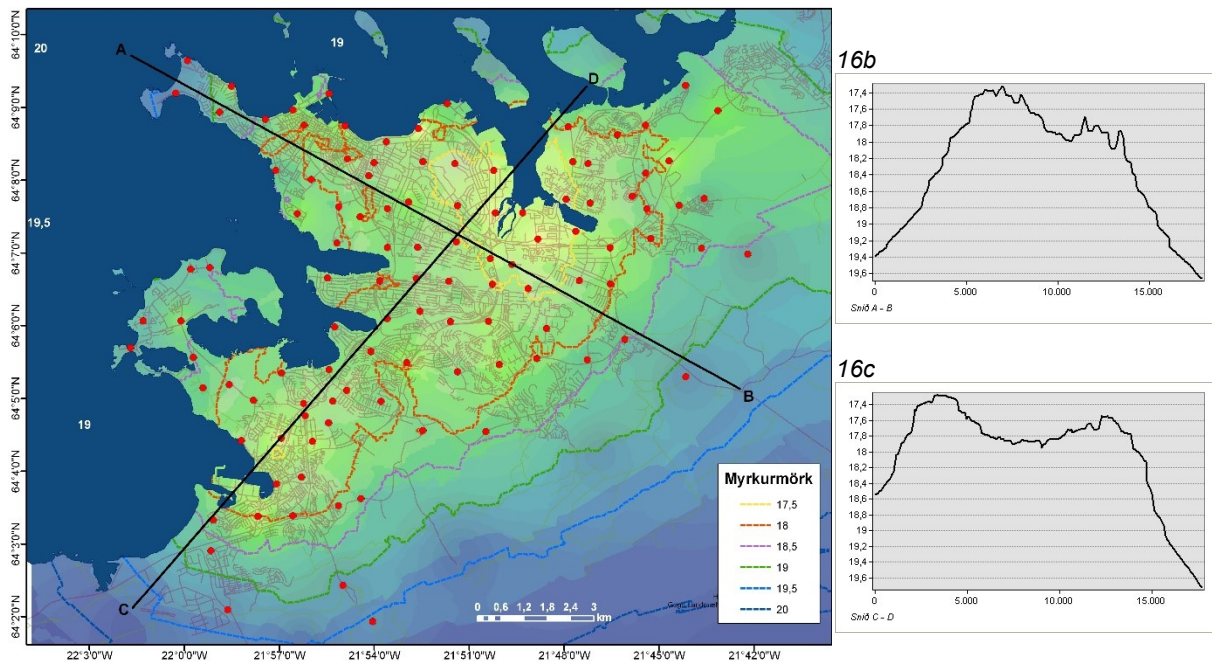
* Seltjarnarnes og hverfi 107 sameinuð.

Mynd 15a sýnir dreifingu sveitarfélaga eftir íbúafjölda og birtustigi. Kvarði á x – ás, er í lógaritma. Aðhvarfslína lýsir sambandi ljósmengunar við mannfjölda. Til frekari samanburðar voru borgirnar Padua og Hong Kong settar á dreifirit (mynd 15b).



Mynd 15a og 15b Meðaltalsbirta himins og íbúafjöldi: a) sveitarfélög og b) ásamt Padua og Hong Kong. Punktur merktur Höfuðborgin er sameinuð meðaltalsbirta allra sveitarfélaga í töflu 4, utan Þórshafnar.

Mynd 16a sýnir tvö snið af ljóshjúpunum yfir höfuðborgarsvæðinu. Snið A – B liggur vestur frá Gróttu og austur fyrir Rauðhóla um 17,5 km leið. Snið C – D fer í gegnum bæjarfélögin, suður frá Hafnarfirði gegnum Garðabæ, Kópavog og yfir Elliðavog í Reykjavík. Lengd sniðsins er einnig 17,5 km. Myndir 16b og 16c lýsa lögun ljóshjúpsins gegnum þau snið.



Mynd 16a. Snið bæjarfélaga og mælipunktar. Mynd 16b. Þverskurður A – B. Mynd 16c. Þverskurður C – D.

6 Umræða og ályktanir

Hér að framan hefur verið tæpt á áhrifum ljósmengunar og kynntar niðurstöður mælinga á næturmyrkrinu yfir höfuðborgarsvæðinu. Í samantekt var ljósmengun rædd í kafla 2 og dæmi sýnd af óvarlegri ljósanotkun sem dregið hefur úr „gæðum“ næturmyrkurs (myndir 2, 3a og 3b á bls. 14). Drepið var á tilraunamyrvun Reykjavíkur til vitnis um að rótin liggur ekki eingöngu í götulýsingu heldur einnig annarri ljósanotkun. Sömuleiðis var bent á að margt er órannsakað hér á landi og þar erum við eftirbátar margra þjóða. Umræða er ekki heldur mikil og má t.d. nefna að engar reglugerðir takmarka ljósanotkun. Lýsingu má nota eins og hver vill án skilgreininga né kvaða. Dæmi um árekstur sem af því getur hlotist birtist í klausu í Morgunblaðinu fyrir níu árum. Íbúar í Hveragerði kvörtuðu undan raflýsingu gróðurhúsa. Heilbrigðiseftirlit Suðurlands gat lítið gert því að engin lög ná yfir ljósmengun, og kvartanir voru nýmæli. Gróðurhúsabóndi nokkur, velktist ekki í vafa og sagði eðlilegustu lausnina vera að fólk fengi sér gluggatjöld (Morgunblaðið, 31. janúar 2002).

Í upphafi kafla 3 var lítilliga minnst á aukinn almennan áhuga á stjörnu- og norðurljósaskoðun. Síðasta áratug hafa norðurljósaferðir verið meðal haldreipa margra ferðaskrifstofa yfir vetrartímann. Fjöldi erlendra ferðamanna koma í þeim erindagjörðum að skoða norðurljósinn því þau sjást ekki að staðaldri nema á norðlægum slóðum og Suðurskautslandinu. Venja er að fara með þá út úr bænum því að ekki fæst góð sýn í höfuðborginni. Má velta því upp hvort ekki sé tekjumissir af því að skilyrði og aðstöðuleysi innan borgarmarka bjóði ekki upp á annað. Í kaflanum var jafnframt spurt af hverju ljósmengun sé óheppileg fyrir stjörnu- og norðurljósaskoðun, hve mikil áhrif ljóshjúpsins séu og hversu víðtæk. Fyrstu spurningunni var strax hægt að svara en hinar kölluðu á fræðilega umfjöllun og mæliniðurstöður (rakið í köflum 3 – 5). Mælingar fjarri byggð gáfu upplýsingar um náttúrulegt myrkur á Íslandi og út frá þeim var metin hnignun eða áhrif ljóshjúpsins í þéttbýlinu.

Myrkurkortið (mynd 14) sýnir heildardreifingu bjarmans á höfuðborgarsvæðinu. Hann er mestur yfir austurhluta borgarinnar til suðvesturs í Hafnarfjörð. Á þeim svæðum er nokkur atvinnustarfsemi og upplýstar umferðaræðar. Svæði umhverfis Elliðavog sker sig úr, einnig hluti Hafnarfjarðar. Frá svæðum þar sem birta himins er $>18,0$ bst/bogasek² sjást 10% - 15% stjarna sem annars sæjust ef tekið er mið af mynd 11. Austan Rauðhóla og suðaustan borgarsvæðisins batna aðstæður og birtustig himins verður um 19,5. Þaðan er hægt að sjá vetrarbrautina, þrátt fyrir sexfalda hnignun á „gæðum“ myrkurs. Slíkum himni lýsa Cinzano & Elvidge (2004) sem dæmigerðum, rýrum úthverfahimni.

Tafla 4 sýnir að gæði myrkurs hafa hnignað mest í Reykjavík (18 falt) og Kópavogi (20 falt). Útskýrt var í kafla 5.3 hvernig hnignunin er fundin. Tafla 5 lýsir framlagi einstakra hverfa Reykjavíkur og nágrennabyggða. Hnignun á gæðum myrkurs er meiri en 20 föld í helmingi þeirra. Norðurhluti Reykjavíkur, frá höfninni og Granda austur á Ártúnsholt, leggja mest til, ásamt athafnasvæði við Smáralind og miðbæ Hafnarfjarðar. Umframbirtan skýrist af mikilli lýsingu á athafna- og verslunarsvæðum. Hverfi 104 og Breiðholt skera sig líka úr. Úr tölugögnum (viðauki C) má lesa oflýsta „bletti“ sem vega þungt í heildarútkomu hverfa. Við Korputorg mældist bjarmi himins 16,2. Í nágrenninu er mun myrkara og ljóst að skynsamleg lýsing myndi breyta miklu fyrir heildarútkomu hverfisins.

Fram kom í kafla 2.3 að OR, sem sér flestum fyrir rafmagni á borginni, styðst við lýsingarstaðla í ljósaönnun. Borgin er hins vegar ekki öll í umsjá OR. Óvíst er hvernig

málum er háttað annars staðar. Hilmar Jónsson (tölvuskeyti, 19. apríl 2011) hefur bent höfundum á staði sem eru ekki í umsjá OR. Nefna má bílastæði við Smáralind og Lindir, Kringluna og Korputorg. Þessi svæði eru mikið upplýst. Þá má nefna athafnasvæði á Ártúnshöfða, t.d. bílasölur á Kletthálsi, B&L húsið og Míla við Stórhöfða. Hafnarsvæði Eimskips eru ekki heldur í umsjá OR. Óskermuð lýsing er á íbúðablokkum í Grafarholti og Breiðholti (Æsufelli) og á Básun í Grafarholti. Þegar Grafarholt var mælt var slökkt á Básun. Því koma áhrif golfsvæðisins ekki fram á kortinu. Þessir staðir eru allir innan björtustu svæða á mynd 14.

Falchi & Cinzano (2000) lýstu tengslum íbúafjölda og ljósmengunar á Ítalíu og skýrðu að meðaltalsbirta stærri borga ætti að vera meiri vegna aukinnar athafnasemi. Það er þó ekki lögmál því að dæmi sýna að skipulag ræður miklu. Tucson í Arizona, Bandaríkjunum (íbúafjöldi 800 þús.), hefur vaxið hratt. Samt hefur ljóshjúpur borgarinnar ekki aukist mikið eftir að skipulagsreglur voru settar um lýsingu árið 1970. Innan borgarmarka er enn hægt að sjá vetrarbrautina (Crawford, 2000). Mynd 15a og 15b styðja þá skoðun að beint samband sé milli íbúafjölda og ljóshjúpsins. Á mynd 15b var tveimur erlendum borgum bætt á punktritid og það styður enn frekar slík tengsl. Borgirnar eru Padua á Ítalíu (210 þús. íbúar, 17,53 bst/bogasek²) og Hong Kong (7 milljón íbúar, 15,2 bst/bogasek²). Padua varð fyrst ítalskra borga til að setja lög um ljósmengun (Favero, Federici, Blanco & Stagni, 2000). Meðalmyrkur Reykjavíkur er örlitlu skárri, 17,8 bst/bogasek². Bent skal á viðauka E þar sem bætt hefur verið við ennfremur mælingum í Evrópu sumarið 2011.

Tafla 4 sýnir einnig meðalljósflæði, mælt í lúmen/íbúa. Athygli vekur að mikil ljósnotkun er í Garðabæ samanborið við Reykjavík og Kópavog, en minni ljósmengun. Í Garðabæ er minni athafnastarfsemi en í öðrum bæjarfélögum og lágreist byggð. Birta himins yfir smærri bæjarfélögum er svipuð en Seltirningar eru högværari í ljósnotkun og þar er hnignunin minnst. Samtals er meðaltalsljósflæði sveitarfélaganna 2900 lúmen/íbúa. Það er umtalsvert meira samanborið við Padua þar sem meðalljósflæðið var um 1200 lúmen/íbúa (Favero o.fl. 2000).

Mynd 16a sýnir legu tveggja sniða gegnum borgarsvæðið. Myndir 16b og 16c lýsa lögun ljóshjúpsins í sniðunum. Snið A – B lýsir vexti bjarmans frá Gróttu uns kemur austur fyrir Ártúnshöfða en þá tekur bjarminn að hníga aftur. Snið C –D lýsir tveim toppum, öðrum í Hafnarfirði og hinum við Elliðavog. Jafn bjarmi er í gegnum Garðabæ og íbúðahverfi Kópavogs en ætíð > 18,0 bst/bogasek². Sterk tenging toppanna við athafnasvæði verður þó augljóslega ráðin af sniðunum.

Raflýsing höfuðborgarsvæðisins dreifist langt út fyrir byggðir eins og sést á mynd 14. Ljóshjúpurinn sést úr tuga km fjarlægð, sbr mynd 6 á bls. 18, frá Bláfjöllum. Nær borginni eykst bjarminn og litblær hans verður gulleitur eins og sést best undir bjarma skýjaðs himins. Sjónrænum áhrifum náttúrulegs myrkurs má lýsa, en reynslan segir tengsl vera á milli ljósmagns og íbúafjölda. Þeim er lýst með jöfnu Walkers í líkani Garstangs (1986):

$$\Delta I = 0,01 * P * r^{-2,5}.$$

(ΔI) er þarna aukningin á bjarma í 45° hæð ofan sjóndeildarhrings eftir íbúafjölda P og vegalengdinni r, til borgar. Talan 0,01 er fasti, sem ræðst af notkun lýsingar og gæðum. Jafnan á best við þegar meðalljósflæði á íbúa er 500 – 1000 lúmen (Crawford, 2000). Vorið 2011 bjuggu um 200 þúsund manns í þéttbýli Reykjavíkur (Hagstofan, 2011). Séð frá Hellisheiði, um 35 km frá miðborginni, mun bjarmi í 45° hæð ofan borgar vera 27% umfram

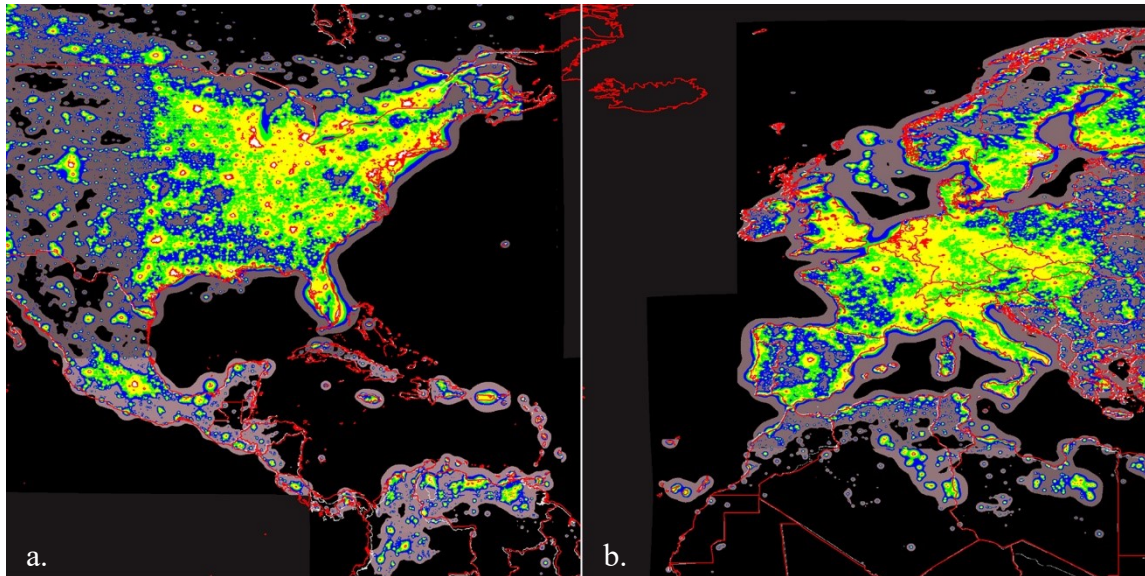
náttúrulegt myrkur samkvæmt jöfnunni. Frá skíðasvæði Bláfjalla er umframlýsingin komin í 70%.

Svörin við spurningunum um áhrif ljóshjúpsins og hve víðtæk þau eru því þessi: Næturmýrkrið yfir höfuðborginni er við góð skilyrði að meðaltali 17,8 bst/bogasek². Áhrifin eru breytileg á milli hverfa en vart sjást fleiri stjörnur en sem nemur 10% - 15% þess fjölda sem sést á ómenguðum, náttúrulega myrkum himni. Hnignun næturhiminsins er 18 föld en jafnvel verri í einstökum hverfum. Áhrif af ljóshjúpnunum eru einnig víðtæk vegna þess að bjarminn rýrir næturhimin í tuga km fjarlægð og er mælanlegur í hvirfilpunkti langt út fyrir borgina. Mikil ljósanotkun (mæld í lúmen/íbúa), miklu hærri en í samanburðarborg, vekur ekki aðeins spurningu um tilganginn heldur einnig hvernig aðstæður væru ef mikil loftmengun væri í Reykjavík.

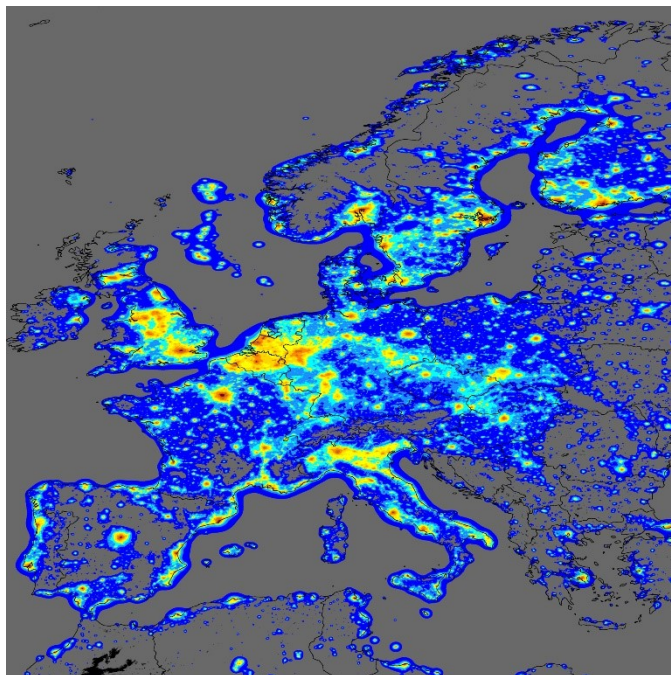
Margt fólk hefur áhuga á stjörnuskoðun en veitir sér fá tækifæri til þess að njóta stjörnuhiminsins vegna ljósmengunar á heimaslóðum (Hänel, 2000). Nú á dögum þekkja börn ekki vetrarbrautarslæðuna vegna yfirgnæfandi himinbjarna. Áhyggjuefni er að nútíminn tekur frá okkur sjálfsagða náttúrusýn sem hefur mótað heimsmynd og hugmyndaheim allra menningarsamfélaga, í vísindum, heimspeki og trúarbrögðum, í allri skráðri sögu mannkyns. Það er kaldhæðnislegt að á tímum þekkingar og velmegunar er þessi menningararfleifðin smám saman kæfð og heimurinn verður fátækari fyrir vikið.

Viðauki A

Ljósmengun í Bandaríkjunum og Evrópu



Mynd 17. Ljósmengun í Bandaríkjunum (a) og Evrópu (b). Hvít, rauð og gul svæði eru mest menguð en svört ómenguð. Grátt merkir að nær hvergi finnst ómengað náttúrulegt myrkur í Evrópu. Cinzano, F. Falchi (U. of Padova), C. D. Elvidge (NOAA National Geophysical Data).



Mynd 18 sýnir birtumörk daufustu stjarna sem sjást frá Evrópu.

Birtustig	Litakóði fláka
> 6,0	Svart
5,75 - 6,0	Grátt
5,5 - 5,75	Blátt
5,25 - 5,5	Ljósblátt
5,0 - 5,25	Himinblátt
4,75 - 5,0	Gult
4,5 - 4,75	Gullin
4,25 - 4,5	Appelsínugult
4,0 - 4,25	Rautt

Heimild: Cinzano & Elvidge, 2004.

Mynd 18. Evrópa, birtumörk stjarna . Cinzano, F. Falchi (University of Padova), C. D. Elvidge (NOAA National Geophysical Data Center, Boulder). Copyright Royal Astronomical Society.

Viðauki B

Ljósstaðlar og algengir ljósgjafar

Til þess að draga úr ljósmengun er mikilvægt að fylgja skilgreiningum yfir lýsingarkröfur í hönnunarferli. Lýsingahönnuðir þurfa að huga vel að endurkasti yfirborðs við hönnun lýsinga því það er veigamikilið framlag í ljósmengun. Eftirfarandi staðlar hafa verið notaðir af ljósaönnuðum en þar eru skilgreind lágmarksgildi til þess að draga úr ljósmengun (Hilmar Jónsson, tölvuskeyti, 19. apríl 2011).

- CEN/TR 13201-:2004 Tækniskýrsla. Val á lýsingarflokkum (íslenskað rit).
- ÍST EN 13201-2:2003 Road lighting – Part 2: Performance requirements.
- ÍST EN 13201-3:2003 Road lighting – Part 3: Calculation of performance.
- ÍST EN 13201-4:2003 Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance.
- ÍST EN 12464-2:2007 Light and lighting of work places – Part 2: Outdoor work places.
- Vegstaðlar Vegagerðar.
- Reglur um vega- og götulýsingu. Ljóstæknifélag Íslands útgáfa 2007.

Algengustu ljósgjafar sem eru notaðir utandyra eru í töflu 7. Til fróðleiks um ljósgjafa skal bent á mjög fróðlega umfjöllun lýsingar og ljósgerða í greinum Hilmar Jónssonar (2003; 2005).

Tafla 6. Algengir ljósgjafar.

Ljósgjafi	Litur lýsingar	Notkun
Flúrlampi <i>Fluorecent</i>	Gulhvít –hvít	Ýmis útlýsing.
Glóðarpera <i>Incandecent</i>	Gulhvítt	
Háþrýst kvikasilfur <i>High pressure mercury</i>	Bláhvítt ljós	Algengt í götulýsingu.
Málm-joðlambi <i>Metal halide</i>	Bláhvítt/hvítt	Hvítari en kvikasilfurslampi, algengt í vinnusölum og í götulýsingu erlendis.
Lágþrýst natríum <i>Low pressure sodium</i>	Gul/rafgul	Auðvelt að sía frá þegar stjörnuhiminninn er skoðaður eða myndaður
Háþrýst natríum <i>High pressure sodium</i>	Raful/bleikt	Algengt í götulýsingu og gróðurhúsum.

Heimild: Hilmar Jónsson, 2005.

Viðauki C

Yfirlit mæligagna

Póstnr	Punktur	Lengd	Breidd	GPS-skekkja (m)	Hæð	Dagsetning	Tími	Meðalgildi	Leiðrétt	Kandala
Seltjarnarnes										
170	F4	22,01277	64,16259	11	14	15.11.2009	20:35	20,03	19,75	0,0014
170	G4	22,01830	64,15500	0	6	15.11.2009	20:43	20,02	19,74	0,0014
170	H5	21,99453	64,15112	5	23	15.11.2009	20:49	18,63	18,35	0,0049
170	G5	21,98878	64,15714	6	9	15.11.2009	20:56	16,36	16,08	0,0399
Reykjavík										
107	I6	21,96346	64,13834	0	10	15.11.2009	19:32	19,22	18,94	0,0029
107	H6	21,97001	64,14994	10	16	15.11.2009	21:10	19,11	18,83	0,0032
101	I7	21,94449	64,13666	10	11	15.11.2009	19:23	18,78	18,50	0,0043
101	H7	21,95576	64,15235	6	13	15.11.2009	21:04	17,41	17,13	0,0152
101	H7	21,94945	64,14906	7	30	15.11.2009	21:17	17,61	17,33	0,0126
101	H8	21,92774	64,14930	6	14	15.11.2009	21:25	17,13	16,85	0,0197
101	I8	21,92576	64,14180	6	44	15.11.2009	21:33	18,05	17,77	0,0084
101	K8	21,92929	64,12239	5	11	15.11.2009	21:42	18,90	18,62	0,0038
101	J8	21,92920	64,13071	6	18	15.11.2009	21:47	18,83	18,55	0,0041
101	J7	21,95088	64,12868	9	11	15.11.2009	23:37	16,83	16,55	0,0258
101	G8	21,93712	64,15655	10	8	22.11.2009	20:32	17,87	17,59	0,0099
104	J11	21,86645	64,13223	9	32	15.11.2009	23:57	17,97	17,69	0,0091
104	I11	21,86878	64,14185	10	23	16.11.2009	00:06	18,57	18,29	0,0052
104	I12	21,84810	64,14067	7	18	16.11.2009	00:27	17,15	16,87	0,0194
104	J12	21,84631	64,13097	9	26	16.11.2009	00:33	16,67	16,39	0,0300
105	J9	21,90351	64,13084	11	48	15.11.2009	21:53	18,17	17,89	0,0076
105	I8-9	21,91415	64,13813	10	21	15.11.2009	22:00	18,65	18,37	0,0048
105	I9	21,91167	64,14117	10	43	15.11.2009	22:07	18,45	18,17	0,0058
105	H9	21,90558	64,14609	10	17	15.11.2009	22:13	18,32	18,04	0,0065
105	H10	21,88904	64,14948	11	17	15.11.2009	22:21	15,74	15,46	0,0709
105	I10	21,88584	64,14196	11	20	15.11.2009	22:27	18,30	18,02	0,0067
105	K9	21,90256	64,12187	5	24	15.11.2009	22:53	18,20	17,92	0,0073
105	Perlan	21,91771	64,12862	5	61	22.11.2009	18:46	17,75	17,47	0,0111
108	J10	21,89229	64,13256	5	38	15.11.2009	22:36	17,05	16,77	0,0211
108	K10	21,88656	64,12228	5	48	15.11.2009	22:45	18,57	18,29	0,0052
108	K11	21,86608	64,12389	9	57	15.11.2009	23:50	17,99	17,71	0,0089
108	J11	21,86645	64,13223	9	32	15.11.2009	23:57	17,97	17,69	0,0091
108	K12	21,84776	64,12041	11	20	16.11.2009	00:39	17,20	16,92	0,0184
Póstnr	Punktur	Lengd	Breidd	GPS-skekkja (m)	Hæð	Dagsetning	Tími	Meðalgildi	Leiðrétt	Kandala
109	L13	21,82707	64,11400	6	47	16.11.2009	01:48	18,36	18,08	0,0063
109	M12	21,84732	64,10603	5	56	22.11.2009	00:23	17,40	17,12	0,0154

109	N12	21,84063	64,09628	5	91	22.11.2009	00:31	17,10	16,82	0,0203
111	N13	21,82087	64,09805	5	107	22.11.2009	00:39	17,94	17,66	0,0093
111	M14	21,81650	64,10500	10	96	22.11.2009	01:13	18,35	18,07	0,0064
110	K12-13	21,83628	64,11933	15	33	16.11.2009	00:47	17,98	17,70	0,0090
110	J13	21,83175	64,13125	26	10	16.11.2009	00:54	17,40	17,12	0,0153
110	k13	21,82313	64,12543	18	56	16.11.2009	01:04	16,51	16,23	0,0347
110	K15	21,78482	64,12418	8	41	16.11.2009	01:12	17,39	17,11	0,0155
110	K14	21,80339	64,12759	26	57	16.11.2009	01:19	16,89	16,61	0,0244
110	L14	21,80019	64,11629	11	76	16.11.2009	01:29	18,45	18,17	0,0058
110	L15	21,78372	64,11584	8	89	16.11.2009	01:38	17,72	17,44	0,0114
110	N14	21,79429	64,09825	5	78	22.11.2009	00:45	19,22	18,94	0,0029
110	N15	21,77494	64,10329	10	90	22.11.2009	00:52	19,34	19,06	0,0026
110	O17	21,74184	64,09536	11	79	22.11.2009	00:59	19,96	19,68	0,0015
112	J14	21,80925	64,13478	7	40	22.11.2009	20:58	17,94	17,66	0,0093
112	I14	21,80650	64,14348	5	20	22.11.2009	21:08	16,90	16,62	0,0243
112	H14	21,80971	64,15145	6	10	22.11.2009	21:12	18,40	18,12	0,0061
112	H15	21,78357	64,15006	5	48	22.11.2009	21:20	18,11	17,83	0,0080
112	I15	21,79840	64,14325	6	26	22.11.2009	21:27	18,50	18,22	0,0055
112	J15	21,79639	64,13421	5	42	22.11.2009	21:33	17,96	17,68	0,0092
112	J15-16	21,77428	64,13615	8	89	22.11.2009	21:42	18,65	18,37	0,0048
112	I 16	21,76779	64,14163	4	51	22.11.2009	21:48	18,99	18,71	0,0035
112	H16	21,76888	64,15261	5	26	22.11.2009	21:56	18,36	18,08	0,0063
112	G17	21,74863	64,16212	7	21	22.11.2009	22:03	19,30	19,02	0,0027
113	K16	21,76340	64,12668	4	99	22.11.2009	22:34	18,59	18,31	0,0051
113	K17	21,73646	64,12495	5	93	22.11.2009	22:40	19,02	18,74	0,0034
113	J18	21,73614	64,13638	4	99	22.11.2009	22:54	19,60	19,32	0,0020
113	J 17	21,74917	64,13455	5	75	22.11.2009	22:57	18,18	17,90	0,0075
Kópavogur										
200	H18	21,73095	64,15669	6	53	22.11.2009	22:11	17,27	16,99	0,0172
200	I17	21,75559	64,14468	5	35	22.11.2009	22:16	16,44	16,16	0,0372
200	J16	21,76623	64,13347	6	77	22.11.2009	22:24	18,90	18,62	0,0039
200	M10	21,88382	64,10762	8	28	22.11.2009	23:54	18,29	18,01	0,0068
200	L10	21,88642	64,11509	8	29	22.11.2009	00:01	18,30	18,02	0,0067
200	L11	21,86916	64,11483	13	34	22.11.2009	00:08	18,43	18,15	0,0060
200	L12	21,84610	64,11458	19	34	22.11.2009	00:15	18,31	18,03	0,0066
200	M11	21,86737	64,10556	6	40	22.11.2009	01:23	18,29	18,01	0,0068
201	M11	21,86737	64,10556	6	40	22.11.2009	01:23	18,29	18,01	0,0068
201	N10	21,88943	64,09573	4	50	5.4.2010	01:37	16,89	16,61	0,0246
201	N11	21,86250	64,09419	4	72	5.4.2010	01:47	18,50	18,22	0,0056
Póstnr	Punktur	Lengd	Breidd	GPS-skekkja (m)	Hæð	Dagsetning	Tími	Meðalgildi	Leiðrétt	Kandela
Garðabær										
210	M8	21,92841	64,10313	13	7	22.11.2009	19:10	18,91	18,63	0,0038

210	N8	21,93033	64,09333	11	13	22.11.2009	19:17	18,41	18,13	0,0061
210	N7	21,95544	64,09202	10	7	22.11.2009	19:25	18,66	18,38	0,0048
210	O7	21,94292	64,08527	11	34	22.11.2009	19:31	17,97	17,69	0,0091
210	O8b	21,92938	64,08111	15	49	4.4.2010	23:42	18,69	18,41	0,0047
210	O7b	21,94183	64,08252	8	91	4.4.2010	23:51	17,80	17,52	0,0106
210	O4	21,99640	64,08778	6	39	5.4.2010	00:12	18,72	18,44	0,0045
210	N4	22,00230	64,09461	5	12	5.4.2010	00:17	18,91	18,63	0,0038
210	O5	21,98264	64,08875	5	23	5.4.2010	00:55	18,95	18,67	0,0037
210	O6	21,96958	64,08546	5	26	5.4.2010	01:00	18,17	17,89	0,0076
210	O8b	21,92762	64,08611	6	35	5.4.2010	01:09	18,38	18,10	0,0062
210	O8b	21,92057	64,08871	5	40	5.4.2010	01:13	17,84	17,56	0,0102
210	O9	21,90215	64,08658	4	67	5.4.2010	01:19	18,67	18,39	0,0048
210	N9	21,90874	64,09791	5	30	5.4.2010	01:28	18,03	17,75	0,0086
210	Ó12	21,84614	64,08074	4	116	5.4.2010	01:57	18,65	18,37	0,0049
210	Ó10	21,87937	64,08038	4	55	5.4.2010	02:03	18,96	18,68	0,0036
210	Q8b	21,91050	64,06409	13	45	5.4.2010	02:12	19,02	18,74	0,0034
Álftanes										
225	M4	22,00981	64,10284	8	17	5.4.2010	00:22	16,73	16,45	0,0284
225	L4	22,00597	64,11481	6	8	5.4.2010	00:28	18,81	18,53	0,0042
225	JÖRFI	21,99586	64,11538	5	5	5.4.2010	00:32	18,98	18,70	0,0036
225	M3	22,02970	64,10243	5	22	5.4.2010	00:40	19,05	18,77	0,0034
225	N3	22,03576	64,09612	5	10	5.4.2010	00:46	19,40	19,12	0,0024
Hafnarjörður										
220	R5	21,98830	64,05051	10	21	16.11.2009	23:10	19,00	18,72	0,0035
220	Q5	21,98772	64,05762	10	50	16.11.2009	23:19	18,83	18,55	0,0041
220	Q6	21,96434	64,05894	10	27	16.11.2009	23:26	16,29	16,01	0,0425
220	Ó7	21,93733	64,07670	13	25	4.4.2010	23:36	16,86	16,58	0,0251
220	Ó6b	21,95387	64,07708	14	35	4.4.2010	23:58	16,22	15,94	0,0456
220	Ó6a	21,97494	64,07608	9	5	5.4.2010	00:05	18,43	18,15	0,0059
220	Q7	21,94589	64,05942	8	56	5.4.2010	02:22	18,64	18,36	0,0049
220	P6	21,95527	64,06653	10	17	5.4.2010	02:29	17,66	17,38	0,0121
220	P7	21,94228	64,06839	12	13	5.4.2010	02:34	18,52	18,24	0,0055
221	heima	21,92203	64,06223	7	69	4.4.2010	23:22	18,79	18,51	0,0043
221	T9	21,90125	64,03607	5	54	16.11.2009	22:33	19,52	19,24	0,0022
221	S8	21,91772	64,04401	5	55	16.11.2009	22:41	19,83	19,55	0,0016
221	T5	21,97801	64,03716	9	37	16.11.2009	22:52	19,95	19,67	0,0015
221	R5	21,98830	64,05051	10	21	16.11.2009	23:10	19,00	18,72	0,0035
221	T9	21,90125	64,03607	5	54	16.11.2009	22:33	19,52	19,24	0,0022
221	V7	21,94191	64,01038	5	91	16.11.2009	23:00	20,38	20,10	0,0010

Póstnr	Punktur	Lengd	Breidd	GPS-skekkja (m)	Hæð	Dagsetning	Tími	Meðalgildi	Leiðrétt	Kandela
110	K18	21,71189	64,12407	5	129	22.11.2009	22:45	19,75	19,47	0,0018

110	O17	21,74184	64,09536	11	79	22.11.2009	00:59	19,96	19,68	0,0015
210	Ó12	21,84614	64,08074	4	116	5.4.2010	01:57	18,65	18,37	0,0049
210	Ó10	21,87937	64,08038	4	55	5.4.2010	02:03	18,96	18,68	0,0036
210	Q8b	21,91050	64,06409	13	45	5.4.2010	02:12	19,02	18,74	0,0034
Norðurland										
	Vid	19,65583	65,51870	9	331	10.10.2009	20:06	20,47	20,19	0,0009
	Skafjrd	19,37053	65,55030	8	20	10.10.2009	20:29	21,13	20,85	0,0005
	oxn	19,04475	65,43537	8	202	10.10.2009	20:52	21,08	20,80	0,0005
Þórshöfn										
210	Thorhofn	15,33797	66,20538	10	19	13.10.2009	22:45	21,29	21,01	0,0004
210	Thorhofn	15,33805	66,20075	4	19	13.10.2009	22:52	18,45	18,17	0,0058
210	Thorhofn	15,33083	66,19627	4	9	13.10.2009	22:56	19,25	18,97	0,0028
210	Thorhofn	15,32630	66,19230	5	17	13.10.2009	23:00	21,08	20,80	0,0005
	Thorhofn	15,30860	66,19110	5	76	13.10.2009	23:05	21,36	21,08	0,0004
	Thorhofn	15,10685	66,07625	5	66	13.10.2009	23:25	21,40	21,12	0,0004
Bakkafjörður										
	Bak	14,79718	66,03925	7	23	13.10.2009	00:13	21,01	20,73	0,0006
	Bak	14,80510	66,03545	9	20	13.10.2009	00:17	16,72	16,44	0,0288
	Bak	14,80757	66,03090	10	29	13.10.2009	00:21	21,45	21,17	0,0004
Norðurárdalur										
	Nord	64,72155	-21,60217	7	54	14.10.2009	21:07	21,08	20,80	0,0005

Viðauki D

Ítarefni um ljósmengun, heima og erlendis

Ef orðið *ljósmengun* er slegið inn á Google leitarvélina birtast 11 100 tilvísanir (skoðað 27. mars 2011). Í grein um ljósmengun, eftir Ágúst H. Bjarnason frá árinu 2000 segir: „Ef leitað er að *light pollution* með Alta Vista leitarvélinni finnast yfir 20.500 tilvísanir. Það gefur hugmynd um hve alvarlegum augum vandamálið er litið.“ Ef sama leit er endurtekin, núna 11 árum síðar, með Google leitarvélinni finnast 3 640 000 tilvísanir. Ljóst er að af nægu er að taka og ábendinga vart þörf. Engu að síður er mælt með eftirfarandi síðum:

Innlent

- Ari Ólafsson (2007). Hversu langt upp í himininn drífur ljósið frá friðarsúlunni í Viðey? Svar Vísindavefsins. Sjá <http://visindavefur.hi.is/svar.php?id=6850>.
- Kristinn R. Ólafsson (á.á.). Ljósmengun - Spánarspjall. Útvarpserindi Rásar 2. Sjá http://dagskra.ruv.is/sdu/pistlar/spnarspjall_kristinn_r_lafsson98.
- Ljóstæknifélag Íslands. Sjá <http://www.ljosfelag.is/index.php>.
- Morgunblaðið (2002). Kvartað vegna ljósmengunar í Hveragerði. Fimmtudagur 31. janúar 2002. Sjá http://www.mbl.is/mm/gagnasafn/grein.html?grein_id=649744.
- Reglugerð um varnir gegn álagi vegna tilbúinnar ljósgeislunar á vinnustöðum. Nr. 165/2011. Sjá <http://www.stjornartidindi.is>
- Stjörnuskodunarfélag Seltjarnarness (á.á.). Ljósmengunarbæklingur. Sjá http://www.stjornuskodun.is/media/stjornuskodun/ljosmengungarbaeklingur_isl_a4.pdf.
- Alþingi.clara.is. Athyglisverð fyrirspurn um ljósmengun rædd á alþingi. Sjá <http://althingi.sudabot.com/viewtopic.php?f=11&t=5603>.

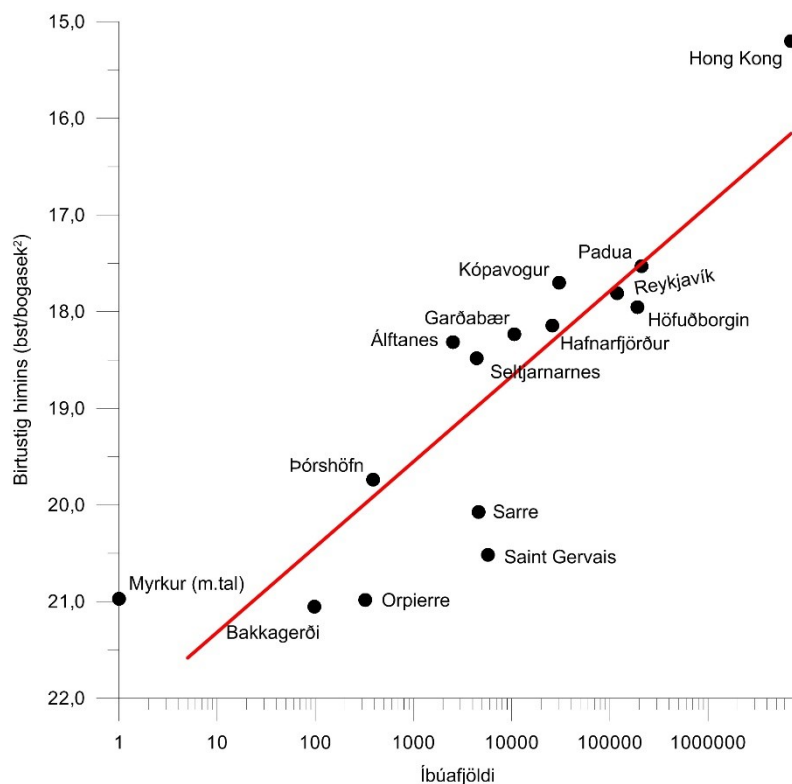
Erlent

- International Dark-Sky Association (IDA). Sjá <http://www.darksky.org/>
- Dark Sky Society (DSS). Sjá <http://www.darkskysociety.org/>
- Light pollution in Italy. Sjá <http://www.lightpollution.it/cinzano/en/index.html>
- Ritrýndar greinar um ljósmengun. Sjá <http://www.lightpollution.it/cinzano/papers.html>
- Stjörnugalning. Sjá http://www.globeatnight.org/observe_magnitude60N.html
- Dark Sky Discovery. Sjá <http://www.darkskydiscovery.org.uk/>
- Lighting & Light pollution simulator. <http://www.britastro.org/dark-skies/simulator.html>
- Dæmi um góða og slæma lýsingu. Sjá <http://www.illinoislighting.org/fixture4.html>
- Lýsingalausnir ILE. Sjá <http://www.ile.org.uk/uploads/File/Technical/RLP%202005.pdf>

Viðauki E

„Gæði“ myrkurs á þrem stöðum í Evrópu

Sumarið 2011 gerði höfundur mælingar á þremur stöðum í Frakklandi og á Ítalíu. Tilgangurinn var að fá samanburð við mælingar hérlandis og að meta um leið myrkrið í fámennum þorpum og dreifðri byggð erlendis. Mælt var með SQM-L ljósmælinum. Mynd 19 sýnir íbúafjölda og birtustig himins í sömu sveitarfélögum og mynd 15a – b (bls 33), en hér hefur hinum þrem erlendu þorpum verið bætt við. Sem fyrr lýsir aðhvarfslína sambandinu milli ljósmengunar og mannfjölda. Hér skal hafa í huga að í þessum tilfellum var aðeins mælt á einum stað í hverju þorpi og hæð þorpanna yfir sjávarmáli er nokkru meiri en hæðin á Reykjavíkarsvæðinu. Mæligildin eru þó áhugaverð til samanburðar við þau gildi sem mælast hérlandis.



Mynd 19. Meðaltalsbirta himins og íbúafjöldi á þéttbýlisstöðum á Íslandi og nokkrum stöðum erlendis. Punktur merktur Höfuðborgin er sameinuð meðaltalsbirta sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu á Íslandi.

Orpierre er 324 íbúa þorp í Provence ölpunum (norðan Aix en Provence) í Frakklandi. Þorpið er í 780 m hæð. Þéttleiki byggðarinnar er 12 íbúar/ km². Byggð er jafnframt dreifð í öllu héraðinu og yfirleitt nokkrir km á milli lítilla þorpa (INSEE.fr, 2011). Stöðuhnit mælistaðar var 44.31173° N og 5.69968° A. Hæð mælistaðar var 800 m. Leiðrétt gildi fimm mælinga var: 21,0 bst/bogasek². Viðmiðunarmörk fyrir myrkur í Evrópu eru fengin úr Falchi & Cinzano (2000). Þau eru 21,9 bst/bogasek². Rýrnun á gæðum myrkurs er 2,3 föld ef miðað er við þau.

Saint Gervais les Bains er rúmlega 5700 manna samfélag í undirhlíðum Mont Blanc sem er hæsta fjall í Vestur-Evrópu. Byggðin er dreifð; þéttleiki hennar er 90 íbúar/km² (þéttleiki í Reykjavík er um 430 íbúar/km²). Byggðin dreifist ennfremur í 500 – 900 m hæð (INSEE.fr,

2011). Stöðuhnit mælistaðar var 45.88951° N og 6.71554° A. Hæð mælistaðar var 800 m. Leiðrétt gildi fimm mælinga var: 20,5 bst/bogasek². Rýrnun á myrkurgæðum er 3,5 föld samanborið við viðmiðunarmörk.

Sarre er rúmlega 4600 manna bær í Aostadal, á Ítalíu. Bærinn er í fremur þröngum alpadal austan við Mont Blanc. Dalurinn er meðal dreifbýlustu svæða á Ítalíu. Í heildina eru fleiri en 127 þúsund íbúar í dalnum en þorp og samfélög eru 74. Þéttleiki er 165 íbúar/ km² (Istat.it, 2011). Sarre er í 630 m hæð. Stöðuhnit mælistaðar var 45.72075° N og 7.27022° A. Hæð mælistaðar var 630 m. Leiðrétt gildi fimm mælinga var: 20,1 bst/bogasek². Rýrnun á myrkurgæðum er 5,4 föld.

Mælingarnar benda til þess að himinn sé mun dimmari á þessum erlendu stöðum en á þéttbýlisstöðum hér á landi. Sveitarfélög með sambærilegan íbúafjölda eru með margfalt meiri bjarma. Ef borin eru saman Sarre (íbúafjöldi 4600, 20,1 bst/bogasek²) og Seltjarnarnes (íbúafj. 4395, 18,5 bst/bogasek²) er munurinn 1,6 bst/bogasek². Það merkir að himininn yfir Seltjarnarnesi er rúmlega fjórfalt bjartari. Mynd 11 (bls. 26) sýnir að stjörnur af birtustigi sex sjást frá Sarre en ekki daufari en af birtustigi 4,4 frá Seltjarnarnesi. Frá Seltjarnarnesi sjást einungis 15-20 % þess fjölda stjarna sem eru sjáanlegar frá Sarre.

Bakkagerði (íbúafjöldi 98) hefur einnig verið bætt á myndina en gæði myrkurs voru mest þar af mældum stöðum á Íslandi. Þorpið er undir viðmiðunarmörkum um myrkur, en þau eru sett fram sem meðaltal nokkurra staða. Mæliniðurstöður á Bakkagerði staðfesta að gæði myrkurs yfir Íslandi þyrftu alls ekki að vera verri hér á landi en erlendis. Skýringar á því hvers vegna bjarmi er meiri yfir byggðum hér en á erlendum samanburðarsvæðum þarf því að leita annars staðar.

Heimildir

Avivi, A., Albrecht, U., Oster, H., Joel, A., Beiles, A. og Eviatar Nevo (2001). Biological clock in total darkness: The Clock/MOP3 circadian system of the blind subterranean mole rat. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2001; 98(24), 13751–13756. Skoðað 24. mars 2011 á: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC61113>.

Ágúst H. Bjarnason (2000). Ljósmengun. Grein undir nafni Stjörnuskoðunarfélags Seltjarnarness. Sjá: <http://www.agust.net/pdf/Ljosmengun.pdf>.

British Astronomical Association (2004). *Dark Skies Map Britain and Ireland: Darkest Observing Sites in the British Isles* (Philip's Astronomy). Myrkurkort, 1:1 313 750 England: Philip's.

Bedrosian, T. A., Fonken L. K., Walton, J. C., Haim, A. & Nelson, R. J. (2011). Dim light at night provokes depression-like behaviors and reduces CA1 dendritic spine density in female hamsters. *Psychoneuroendocrinology*. doi: 10.1016/j.psyneuen. 2011. 1 – 8. Skoðað 15. apríl 2011 á <http://www.sciencedirect.com/>

Benn, C. R. & Ellison, S. L. (2007). La Palma Night-sky Brightness. *Isaac Newton Group of Telescopes*. Skoðað 18. sept 2010 á <http://www.ing.iac.es/Astronomy/observing>

Benn, C. R. & Ellison, S. L. (1998). Brightness of the night sky over La Palma. *New Astronomy Reviews*. 42 (1998), bls 503 – 507.

Berry, R (1976). Light pollution in Southern Ontario. *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*. Vol. 70, No 3 June 1976 Whole No 540. Skoðað 18. september 2010 á: <http://www.uni-hedron.com/projects/darksky/berry/berry.htm>

Björg Þorleifsdóttir (1999). Melatónín - áhrif á dægursveiflur og svefn. *Heilbrigðismál*, 3. tbl. 1998. Skoðað 29. mars 2011 á: <http://www.doktor.is>

Bortle, J. E., (2001). Introducing the Bortle Dark-Sky Scale. *Sky and Telescope Magazine*, febrúar 2001. Skoðað 10. apríl 2011 á <http://www.skyandtelescope.com>

Bourgeois, S., Gilot-Fromont, E., Viallefont, A., Boussamba, F. og Deem, S. L. (2009). Influence of artificial lights, logs and erosion on leatherback sea turtle hatchling orientation at Pongara National Park, Gabon. *Biological Conservation*, Vol. 142, tímarit 1, janúar 2009, bls 85-93. Skoðað 25. mars 2011 á <http://www.sciencedirect.com/>

Borgarbyggð (2000). Umhverfisstefna Borgarbyggðar. *Borgarbyggð*. Skoðað 25. apríl 2009 á <http://www.borgarbyggd.is/>

Bright Star Catalogue (2011). *NASA HEASARC Data Archive*. Skoðað 9. apríl á <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/archive.html>

Carlin, N. O. (1998). About Bradley E. Schaefer: Telescopic limiting Magnitudes (1990). *Carlin*. Skoðað 31. mars 2011 á <http://w1.411.telia.com/~u41105032/visual/Schaefer.htm>

Crawford, D. L. (2000). Light pollution, an environmental problem for astronomy and for mankind. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 11- 40.

Cinzano, P. (2005). Night Sky Photometry with Sky Quality Meter. *ISTIL Internal Report*. ISTIL 2005, Thiene. Skoðað 29. mars 2011 á: <http://unihedron.com/projects/darksky/sqmreport>.

Cinzano P. & Elvidge C. D.(2004). Night sky brightness at sites from DMSP-OLS satellite measurements. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 353, 1107-11167 (2004). Skoðað á <http://www.lightpollution.it/cinzano/download/mnr8132.pdf>.

Cinzano P. Falchi, P.F. & Elvidge (2001). The first World Atlas of the artificial night sky brightness. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 328, 689–707 (2001). Skoðað 29. mars 2011 á: <http://www.lightpollution.it/cinzano/download/0108052.pdf>.

Clark, B. A. J. (2002). Outdoor lighting and crime, Part 1: Little or no benefit. *Astronomical Society of Victoria, Inc., Australia*. Vefsíða. Skoðað 6. apríl 2011 á <http://www.asv.org.au/odlighting/index.html>.

Cos, S., Mediavilla, D., Martínez-Campa, C., González, A., Alonso-González, C & Sánchez-Barcelo, E.J. (2006). Exposure to light-at-night increases the growth of DMBA-induced mammary adenocarcinomas in rats. *Cancer Letters* 235 (2006), 266–271.Skoðað á <http://www.sciencedirect.com>.

P. Deda, P., Elbertzhagen, I. & Klussman, M. (2007). Light Pollution and the impacts on biodiversity, species and their habitats. *Vefgrein*. Skoðað 6. apríl 2011 á: http://www.starlight2007.net/pdf/proceedings/P_Deda.pdf.

Depledge, M. H., Godard-Coddington, C. A. J., Bowen, R. E. (2010). Light pollution in the sea. *Marine Pollution bulletin* 60,1383–1385. Skoðað 25. mars 2011 á: <http://www.sciencedirect.com>.

DSS (2009). *Dark Sky Society*. Skoðað 20 apríl 2011 á <http://www.darkskysociety.org>.

Elliott Paul (2006). Review of Rich, C., Longcore, T. (Eds.), *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting*. *Biological Conservation*. Vol 132, tímarit 2, Október 2006, bls 275. Skoðað 25. mars 2011 á: <http://www.sciencedirect.com>

Falchi, F. & Cinzano, P. (2000). Maps of artificial sky brightness and upward emission in Italy from DMSP satellite measurements. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 139 – 152.

Faver, G., Federici, A., Blanco, A. R. & Stagni, R. (2000). Measurements of light pollution of Padua. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 11- 40.

Flóðlýstir glæpir (2002, 31. ágúst). Morgunblaðið, bls 1.

Gallaway, T., Olsen, R. N. & Mitchell, D. M. (2009). The economics of global light pollution. *Ecological Economics* 69, 658–665. Skoðað 5. apríl 2011 á <http://www.sciencedirect.com>.

Garstang, R. H. (2000). Light pollution at Mount Wilson: the effects of population growth and air pollution. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 71 – 82.

Garstang, R. H. (1986). Model for Artificial Night-Sky Illumination. *Astronomical Society of the Pacific*. Vol 98, Nr. 601/MAR, 364 – 374, Skoðað 10. apríl 2011 á <http://articles.adsabs.harvard.edu/>

Gunnlaugur Björnsson og Þorsteinn Sæmundsson (2003). Um ljósmengun. *Morgunblaðið*. 2003, 2. febrúar. Aðsent efni.Skoðað 5. apríl 2011 á:<http://www.mbl.is/>

Hagstofan (2011). *Hagstofa Íslands*. Skoðað 5. apríl 2011 á: <http://www.hagstofa.is>

Haraldur Sigþórsson, Anna Rúna Kristinsdóttir, Alexandra Kjeld, Árni Bragason, Bjarki Franzson, Björn Þorgeirsson, Brynja Dögg Ingólfssdóttir og Smári Jóhannsson (2009). *Umhverfisáhrif lýsingar í dreifbýli*. Verkfræðistofan EFLA, Reykjavík. Háskólinn í Reykjavík.

Haraldur Sigþórsson, Ingvar Rafn Gunnarsson, Sigurður Örn Jónsson og Þórólfur Nielsen (2002). Lýsing þjóðvega utan þéttbýlis: Tilgangur, forsendur og áhrif þjóðvegalýsingar. *Línuhönnun*, fyrir Vegagerð Ríkisins 2002. Skoðað 25. mars 2011 á <http://www.vegagerdin.is>

Haraldur Sigþórsson og Ingvar Rafn Gunnarsson (2002). Öryggi við gatna- og vegamót, II hluti – Áhrif breytinga á umferðaröryggi. *Vegagerðin*. Skoðað 25. mars 2011 á <http://www.vegagerdin.is>

Hänel, A. (2000). The situation of light pollution in Germany. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 153 – 158.

Henden, A. A. og Kaitchuck, R. H. (1990). *Astronomical Photometry*. Richmond, Virginia. Willmann Bell Inc.

Hilmar Jónsson (2005). Gatna og veglýsing. *Árbók VFÍ/TFÍ 2005*, bls 281 – 289. Orkuveita Reykjavíkur.

Hilmar Jónsson (2003). Götulýsing og ljósmengun. *Ljós*. Tímarit um lýsingu. 1. tbl., 5. árgangur. *Mars 2003*, bls 6 – 10.

Hollan, J (2009). What is light pollution and how do we quantify it? *N.Copernicus Observatory and Planetarium, Brno*. Skoðað 11. september 2010 á: http://amper.ped.muni.cz/light/lp_what_is.pdf

Hollustuvernd Ríkisins, (2002). Efni athugasemda varðandi álver í Hvalfirði. *Mannvit*. Skoðað 5. apríl 2011 á: <http://mannvit.is/media>

Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K. og Tockner, K. (2010). Light pollution as a biodiversity threat. *Trends in Ecology & Evolution*, Vol 25, Issue 12, December 2010, 681-682. Skoðað 24. mars 2011 á: <http://www.sciencedirect.com>

IDA (2009). *International Dark-Sky Association*. Skoðað á <http://www.darksky.org/>

INSEE.fr (2011). *Institut National de la Statistique et des Études Économiques*. Skoðað 19. júlí 2011 á: <http://www.insee.fr/en/default.asp>

Isobe, S. & Hamamura, S (2000). Monitoring light energy loss estimated by the DMSP satellites. Í P.Cinzano (ritstj.), *Measuring and modelling light Pollution*. Journal of the Italian Astronomical Society. Vol 71, N 1(2000), bls 131- 135.

Istat.it (2011). *Istituto nazionale di statistica*. Skoðað 19. júlí 2011 á: <http://en.istat.it/>

Jones, D. (1968). Norman Pogson and the definition of stellar magnitude. *Astronomical Society of the Pacific*, San Francisco, California. Leaflet Nr 469, júlí 1968, bls 145 – 152. Skoðað 24. mars 2011 á: <http://articles.adsabs.harvard.edu/>

Karnad, D., Isvaran, K., Kar, C. S., & Shanker, K. (2009). Lighting the way: Towards reducing misorientation of olive ridley hatchlings due to artificial lighting at Rushikulya, India. *Biological Conservation* 142, 2083–2088. Skoðað 25. mars 2011 á <http://www.sciencedirect.com>

Kochevar, R. E. (1998). Effects of Artificial Light on Deep Sea Organisms: Recommendations for ongoing use of artificial lights on deep sea submersibles. *Technical Report to the Monterey Bay National Marine Sanctuary Research Activity Panel*, January, 1998. Skoðað 24. mars 2011 á <http://montereybay.noaa.gov/research/techreports/>.

Kristján Jónsson (1997). Með ofbirtu í augunum. *Morgunblaðið*, 1997, 9. febrúar, bls 11. Skoðað 5.apríl 2011 á: <http://timarit.is/>

Kvartað vegna ljósmengunar í Hveragerði (2002, 31.janúar). *Morgunblaðið*. Innlendar fréttir. Skoðað 31. mars 2011 á: <http://www.mbl.is/mm/gagnasafn>.

Kwok, S. (2009). Measuring the night sky brightness to understand the problem of light pollution in Hong Kong. Press Release. *Faculty of science, University of Hong kong*. Skoðað 19. apríl 2010 á <http://nightsky.physics.hku.hk/>

Livesey, R. J. (1987a). Zodiacal lights. Í P. Moore (ritstj.), *The Astronomy Encyclopedia*, bls 458. London: Mitchell Beazley Publishers.

Livesey, R. J. (1987b). Gegenschein. Í P. Moore (ritstj.), *The Astronomy Encyclopedia*, bls 166. London: Mitchell Beazley Publishers.

Lýsing ekki öryggisatriði (2001, 4. apríl). *Dagblaðið Vísir*, bls 9. Skoðað 31 mars 2011 á <http://timarit.is/>

Mason, J. W. (1987). Airglow. Í P. Moore (ritstj.), *The Astronomy Encyclopedia*, bls 20. London. Mitchell Beazley Publishers.

Menaker, M., Moreira, L.F. og Tosini, G. (1997). Evolution of circadian organization in vertebrates. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 30, 305-313. Skoðað 24. mars 2011 á: <http://www.scielo.br/pdf/bjmb/v30n3/2795C.pdf>

Mortimer, J. A. (1979). Ascension Island: British Jeopardize 45 Years of Conservation. *Marine Turtle Newsletter* 10:7-8, 1979. Skoðað 25. mars 2011 á: <http://www.seaturtle.org>

Mörður Árnason (2006). Fyrirspurn til Umhverfisstofnunar á 132. lögjafarþingi, 109 fundi, 26. apríl 2006. Sjá <http://www.althingi.is/altext/hlusta.php?raeda=rad20060426T140413>.

Naturhistoriska Riksmuseet (2006). *To Save the Night*. Skoðað 5. maí 2011 á: <http://www.nrm.se>

Norðurál (2002). Stækkun Norðuráls á Grundartanga; Framleiðsluaukning í allt að 300.000 tonn á ári. Úrskurður Skipulagsstofnunar um mat á umhverfisáhrifum. Skoðað 5. apríl 2011 á: www.nordural.is/Files/Skra_0000647.PDF

Peadar, M. (2004). Light pollution at the Roque de los Muchachos Observatory. *New Astronomy* 9, 641–650. Skoðað 31. mars 2011 á: <http://www.sciencedirect.com>

Pun, C. S. J. & So, C. W. (2009): Report of A Survey of Light Pollution in Hong Kong. *Department of Physics, University of Hong Kong*. Skoðað 10. mars 2011 á <http://nightsky.physics.hku.hk/>

Schaefer, B. E. (1990). Telescopic limiting magnitudes. *Astronomical Society of the Pacific*, vol. 102, febrúar 1990, p. 212-229. Skoðað 31. mars 2011 á <http://articles.adsabs.harvard.edu>

Schernhammer, E., Chen, H. & Ritz, B. (2006). Circulating melatonin levels: possible link between Parkinson's disease and cancer risk? *Cancer Causes Control*. 2006 May;17(4):577-82. Sjá <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16596313>

Shepherd, G. G., Choa, Y., Liua, G., Shepherd, M. G. & Roble G. R. (2006). Airglow variability in the context of the global mesospheric circulation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 68, 2000–2011. Skoðað 24. mars 2011 á: <http://www.sciencedirect.com>.

Sigríður A. Þórðardóttir, (2006). Svör Umhverfisstofnunar á 132. lögjafarþingi, 109 fundi, 26. apríl 2006. Sjá <http://www.althingi.is/altext/hlusta.php?raeda=rad20060426T140413>.

Sigríður Víðis Jónsdóttir (2006). Holtt að horfa í himingeiminn. *Morgunblaðið*, 2006, 10. september. Daglegt líf. Skoðað 5. apríl 2011 á: <http://mbl.is/mm/gagnasafn>.

Smith, M. (2009). Time to turn off the lights. *Nature* 457, bls 27.

Stevens, R. G. (2009). Cancer: Light-at-night, circadian disruption and breast cancer: assessment of existing evidence. *International Journal of Epidemiology* 2009;38, 963–970. Skoðað 28. mars 2011 á: <http://ije.oxfordjournals.org/content/38/4/963.full>.

Stone, E. L., Jones, G. & Harris, S. (2009). Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology* 19, bls 1123–1127. Skoðað 10. apríl 2011 á <http://www.sciencedirect.com>.

Sverrir Guðmundsson (2009). Bætt lýsing borgar sig. *Stjörnuskodunarfélag Seltjarnarness*. Ljósmengunarbæklingur Skoðað 20. apríl 2011 á: <http://www.stjornuskodun.is>.

Sævar Helgi Bragason (2008). Ljósmengun er stórt vandamál. *Stjörnfræðivefurinn*. Sjá <http://stjornuskodun.blog.is/blog/stjornuskodun/entry/455675/>.

Terna (2011). *Terna Rete Elettrica Nazionale*. Skoðað 16. apríl 2011 á <http://www.terna.it>.

Terna (2009). Annual report. *Terna Rete Elettrica Nazionale*. Ítalía, 2009. Skoðað 16. apríl 2011 á <http://www.terna.it>.

Tuxbury, S. M. og Salmon, M. (2005). Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles. *Biological conservation* 121 (200), 311 – 316.

Williams, D. R. (2010). *Moon fact sheet*. Skoðað 30. mars 2011 á heimasíðu NASA <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/moonfact.html>

Williams, D. R. (2004). *Sun fact sheet*. Skoðað 30. mars 2011 á heimasíðu NASA <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>

Villard, R. & Williams, R. (1996). *Hubble's Deepest view of the Universe unveils bewildering galaxies across billions of lightyears*. Skoðað 30. mars 2011 á: <http://hubblesite.org>

Þorsteinn Sæmundsson (1997). Fólki myndi skilja hverju það missir af. *Morgunblaðið*, 1997, 9. febrúar. Bls 11. Skoðað 5. apríl 2011 á: <http://www.mbl.is/>

Þorsteinn Vilhjálmsson og Sævar Helgi Bragason (2003). Hvað er átt við með ljósmengun, er það mikið vandamál á Íslandi og hvað er til ráða gegn því? Svar Vísindavefsins. Skoðað 5. apríl 2011 á <http://visindavefur.hi.is/svar.asp?id=3531>

Yurk, H. og Trites A. W. (2000). Experimental Attempts to Reduce Predation by Harbor Seals on Out-Migrating Juvenile Salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* 129, 1360–1366. Skoðað 25. mars 2011 á <http://www.marinemammal.org>