

Finum út úr þessu
Forhugmyndir barna í náttúruvísindum

Valgerður Valsdóttir



Lokaverkefni lagt fram til fullnaðar B.Ed-gráðu
í grunnskólakennarafræði við Háskóla Íslands, Menntavísindasvið

Apríl 2009

Lokaverkefni til B.Ed. -prófs

Finum út úr þessu

Forhugmyndir barna í náttúruvísindum

Valgerður Valsdóttir
170685-2459

Háskóli Íslands
Menntavísindasvið
Kennaradeild, grunnskólakennarafræði
Apríl 2009

Útdráttur

Í ritgerðinni er fjallað um forhugmyndir barna í náttúruvísindum. Stærstur hluti hennar fjallar um forhugmyndir barna í varmafræði, en algengt er að nemendur hafi ýmsar ranghugmyndir tengdar þessu hugtaki, Ég komst til dæmis að því að margir nemendur halda að ullarsokkur sé heitur, að hann geti gefið frá sér varma. Í þeim kafla studdist ég við vettvangsnámi mitt síðastliðið haust. Auk þess fjallar ritgerðin um einkenni forhugmynda en forhugmyndir eru hugmyndir sem börn byjra snemma að móta til dæmis í gegnum daglega reynslu. Forhugmyndir geta verið mjög lífsseigar hjá börnum og oft erfitt að leiðrétta þær en það er nauðsynlegt ef þær stangast á við það sem kennt er í skólunum. Lokakaflinn í ritgerðinni fjallar svo um þær leiðir sem kennara geta beitt til að nálgast þessar hugmyndir hjá nemendum sínum og vinna með þær og mikilvægi þess að kennarar geri sér grein fyrir þessum hugmyndum nemanda sinna.

Formáli

Með verkefni þessu lýkur formlegu námi við menntavísindasvið Háskóla Íslands að sinni. Í verkefninu er fjallað um forhugmyndir barna í náttúruvísindum og mikilvægi þess að kennarar þekki margs konar leiðir til að öðlast þekkingu á forhugmyndum nemenda sinna á þessu sviði. Leiðsagnarkennari minn var Dr. Hafþór Guðjónsson. Ég vil nota þetta tækifæri til að þakka honum fyrir ómetanlegan stuðning og frábæra leiðsögn. Auk þess vil ég þakka Guðmundi Þór Valssyni, Hákonu Baldri Hafsteinssyni og Hrönn Ríkhardsdóttur fyrir aðstoð og yfirlestur verkefnisins.

Efnisyfirlit

Útdráttur	3
Formáli.....	4
Efnisyfirlit	5
Inngangur.....	6
Einkenni forhugmynda.....	7
Forhugmyndir barna í náttúrufræði.....	9
Forhugmyndir barna í stjörnufræði.....	9
Forhugmyndir barna um vatn.....	11
Forhugmyndir í varmafræði.....	14
Fleiri dæmi um forhugmyndir barna.....	19
Forhugmyndir í kennslu.....	21
-Skiptir það máli að kennara kanni forhugmyndir nemanda sinna?.....	21
-Hvernig geta kennara kannað forhugmyndir nemana sinna?.....	22
Lokaorð.....	25
Heimildir	26

Inngangur

Forhugmyndir nemenda í náttúrufræði hafa töluvert verið rannsakaðar síðustu áratugin. Í þessari ritgerð hyggst ég fjalla um þessar hugmyndir. Ég leitast við að útskýra einkenni þeirra og segi frá hvernig þær birtast hjá börnum í stjörnufræði og um vatn. Stærsti hluti ritgerðarinnar er þó um forhugmyndir barna í varmafræði, þar styðst ég við upplifun mína úr vettvangsnámi og tek fyrir greinar sem fjalla um þetta efni. Einnig ætla ég að ræða um mikilvægi þess að kennarar kanni þessar hugmyndir hjá nemendum sínum. Síðan er ætlun mín að koma með dæmi um það hvernig kennarar geta fundið út forhugmyndir nemenda sinna.

Einkenni forhugmynda

Á undanförunum árum og áratugum hafa komið fram margar rannsóknir á forhugmyndum nemenda í náttúruvísindum. Börn byrja mjög snemma að tileinka sér hin ýmsu hugtök í gegnum margvíslega reynslu. Þegar hugtökin eru orðin mörg fara börnin svo að tengja þau saman og gera sér ákveðnar hugmyndir um hin ýmsu fyrirbæri. Þetta er það sem kallað er forhugmyndir - börn á unga aldri byrja strax að gera sér hugmyndir um virkni náttúrufyrirbæra. Þegar þau loks hefja skólagöngu hafa þau sínar eigin hugmyndir, sem stundum eru í samræmi við það sem er verið að kenna í skólanum. Oftar en ekki eru þessar hugmyndir á skjön við það sem kennt er. Börnin móta forhugmyndir út frá daglegri reynslu, reynslu í lífinu, í gegnum líkamlega upplifun, það sem þau sjá, heyra og finna, með því að tala við fólk í kringum sig og í gegnum ýmsa miðla, til dæmis sjónvarp og Internet.

Rannsóknir sýna að forhugmyndir geta haft áhrif á nám barna því þau túlka upplifun sína í kennslustofunni í ljósi þeirra. Forhugmyndirnar geta einnig verið býsna lífseigar og getur það verið slæmt ef hugmyndir nemandans stangast á við það sem kennt er í skólum (Náttúrufræðimenntun, Vefur náttúrufræðikjörsviðs ; Driver, Guesne, Tiberghien 1985:2).

Meðal algengra ranghugmynda meðal nemenda og jafnvel fólks á öllum aldri eru þær fullyrðingar að sólin snúist í kringum jörðina, að stórir og þungir hlutir sökkvi alltaf, að jörðin sé miðpunktur sólkerfisins og að segull dragi að sér alla málma. Allar þessar hugmyndir eru í mótsögn við vísindaleg sjónarmið nútímans og minna gjarnan á kenningar vísindamanna fyrr á öldum. Hugmyndirnar geta þó verið réttar og eðlilegar í huga nemandans. (Meyvant Þórólfsson, 2003; Crockett, C 2004:34)

Forhugmyndir barna og fólks almennt eru persónubundnar. Þegar nemendur eiga til dæmis að skrifa um sömu tilraunina geta þeir túlkað hana á ólíkan hátt og litið hana

ólíkum augum. Hegðun fullorðins fólks getur verið sams konar. Til dæmis lesa tveir einstaklingar sama textann en túlka hann engu að síður hvor með sínum hætti. Þeir hafa að öllum líkindum haft ólíkar hugmyndir um tilraunina áður en þeir lásu textann. Það kann að eiga þátt sinn í ólíkri túlkun þeirra.

Börn geta haft ólíkar forhugmyndir um náttúru fyrirbæri og þess vegna túlkað þau á mismunandi máta. Að hluta til meðtaka einstaklingar eigin reynslu á persónubundinn hátt og búa til sinn eigin skilning á hlutunum. Þessar persónubundnu hugmyndir hafa áhrif á hvernig einstaklingar sækja upplýsingar.

Persónubundnar aðferðir við að nálgast upplýsingar endurspeglast í þekkingarfræði vísinda. Kenningar verða ekki fyrst til út frá gögnum heldur hugmyndum. Þannig eru athuganir sem börn gera og túlkun þeirra háð forhugmyndum þeirra og væntingum. Sú staðreynd að þessar hugmyndir barna og vísindamanna eru persónubundnar þýðir samt ekki að fáir deili þeim. Vísindamenn hafa oftsinnis þróað kenningar hver í sínu lagi en þær samt leitt til svipaðrar niðurstöðu.

Oft lenda kennarar í því að upplifa mótsagnakennda túlkun nemenda á einhverju fyrirbæri og nemendur taki jafnvel ekki eftir því, sé þeim bent á mótsögnina. Einnig geta nemendurnir séð sama hlutinn út frá ólíkum sjónarhornum og komist að ólíkri niðurstöðu. Þörf barna fyrir að hlutirnir séu rökréttir er ekki sú sama og hjá vísindamönnum. Þau hafa ekki sömu forsendur til að tengja saman fyrirbæri. Forhugmyndir geta verið mjög lífseigar. Jafnvel þótt nemendum hafi verið kennt eitthvað ákveðið, þá breyta þeir ekki hugmyndum sínum þrátt fyrir mótrök kennarans (Driver, Guesne, Tiberghien 1985:2-4).

Forhugmyndir barna í náttúrufræði

Þegar ég byrjaði að fara í gegnum heimildir fyrir ritgerðarsmiðina þótti mér strax áhugavert að skoða betur forhugmyndir barna í stjörnufræði. Forhugmyndir um stjörnufræði eru um margt líkar hugmyndum fræðimanna til forna. Einnig þóttu mér forhugmyndir um vatn áhugaverðar. Fjallað verður um þær hér að neðan.

Forhugmyndir barna í stjörnufræði

Öll börn hafa einhverjar hugmyndir um alheiminn. Ekki eru þær alltaf réttar en samt alls ekki fráleitar. Þegar börn eru mjög ung búa þau til dæmis yfir einhverri ákveðinni hugmynd um alheiminn. Sú hugmynd þróast síðan smám saman í átt að því sem talið er rétt og svipar þó nokkuð til þess hvernig fræðimenn hafa í gegnum tíðina þróað hugmyndir sínar um um alheiminn.

Börn sem eru í leikskóla og að byrja í grunnskóla hafa flest öll þá hugmynd að jörðin sé flöt. Þetta álykta þau út frá sínu nærumhverfi, sem er að öllu jöfnu nokkurn veginn flatt. Þau gera sér ekki grein fyrir þeirri staðreynd að jörðin er hnöttótt og eiga erfitt með að ímynda sér það (Driver, Guesne, Tiberghien 1985: 178-181).

Fyrstu hugmyndir manna um alheiminn voru misjafnar. Engin þeirra gerði hins vegar ráð fyrir jörðinni sem hnetti. Í fornindverskum fræðum var jörðinni þannig lýst sem hálfri kúlu sem haldið var uppi af filum sem stóðu á skjaldböku. Í norrænu goðafræðinni gerðu menn ráð fyrir því að jörðin væri kringlótt og Babýloníumenn hugsuðu sér hana sem kringlu sem flaut á sjónum. Þessar hugmyndir eru ólíkar innbyrðis en líkt og hjá börnum gerir engin þeirra ráð fyrir því að jörðin væri hnöttótt (Björn Franzson 1938: 16-17).

Þegar mörg börn eldast aðeins, þróa þau hugmynd sína í átt til þess að jörðin sé í botninum á hnattlaga hvolfi og fyrir ofan hana sé loft og himininn. Þau gera sér ekki alveg grein fyrir því enn að jörðin sjálf er hnöttótt. Þau átta sig einnig ekki á því sem heldur plánetunni okkar uppi. Á þessum aldri velta börnin lítið fyrir sér lögun jarðar. Þeim er sagt frá því en þau ná ekki að meðtaka slíkt, enda hafa þau engar forsendur til þess (Driver, Guesne, Tiberghien 1985:181-182). Þessu svipar nokkuð til fyrstu hugmynda Forn-Grikkja, sem töldu jörðina hjólmyndaða flatkringlu er svífi laus í miðri himinhvelfingu, Þannig gerðu þeir sér ekki grein fyrir hnöttóttri lögun jarðarinnar og áttuðu sig þar með ekki á kröftunum sem héldu jörðinni uppi. Einnig töldu Forngrikkirnir á þessu stigi að þyngdarstefnan væri alls staðar hin sama (Björn Franzson 1938:18-19).

Hugmyndir barnanna um að jörðin sé á botninum í einhverju hvolfi þróast nálægt 10 ára aldri smám saman yfir í það að hún sé hnöttótt. Engu að síður gera þau sér ekki grein fyrir þyngdaraflinu og halda að þyngdarstefna sé einungis ein. Þannig myndu þau álykta að ef flaska með vatni og engum tappa yrði sett á topp jarðarinnar (Norðurpólinn) og svo á botn hennar (Suðurpólinn), myndi flaskan á botninum tæmast. Ástæða þess er sú að þeim finnst rökrétt þegar þau sjá þetta myndrænt (Driver, Guesne, Tiberghien 1985:183). Þessi þróun var næstum því sú sama hjá Grikkjum en Pýþagóras og hans lærisveinar eru taldir hafa sett fram kenninguna um hnöttótta jörð. Ólíkt börnunum gerðu þeir ráð fyrir því að jörðin gæti ekki hrapað nema inn að miðdepli sínum. Þar með var engin sérstök lóðrétt stefna til - heldur sótti allt inn að miðju. Um leið áttuðu menn sig á því að jörðin væri hnöttótt og gerðu þar af leiðandi sér einnig grein fyrir því að allt félli inn að miðju (Björn Franzson 1938:19-20).

Smám saman þróast hugmyndir barna í átt til þess að jörðin tugi í alla hluti sem eru á jörðinni. Þannig átta þau sig ekki á því að þeir sem standa á Suðurpólnum detti ekki niður og að eitthvað haldi þeim uppi. Um leið gera þau sér ekki grein fyrir því að allt leit inn að jarðarmiðju. Um 12 ára aldur hafa flest börn náð þessari hugsun og við 14 ára aldur síðan áttað sig á þyngdaraflinu og að allt falli inn að miðju (Driver, Guesne, Tiberghien 1985:184-185).

Um leið og að börnin hafa gert sér grein fyrir lögun jarðar eru þau margs vísari um alheiminn, svo sem sólina, tunglið og stjörnurnar. Í framhaldi af því taka þau að skilja að jörðin snúist í hring og að hún fari í kringum sólina. Þessi niðurstaða er áþekk hugmyndum stjarnfræðinga. Um leið og þeir áttuðu sig á því hvernig jörðin væri fóru þeir að spá í hluti utan jarðarinnar (Driver, Guesne, Tiberghien 1985:185-186)

Með því að bera saman forhugmyndir barna um alheiminn og hugmyndir stjarnvísindamanna í aldanna rás má oft sjá svipaða þróun í hugsuninni. Þó ber að gæta þess að gera ekki lítið úr fyrri tíma hugsuðum með því að bera þá saman við börn sem dags daglega hugsa ekki um þessa hluti. Þeim er eingöngu ætlað að læra þá en fyrir okkur sem stöndum föst á jörðinni getur verið erfitt að átta sig á þessum staðreyndum.

Forhugmyndir barna um vatn

Börn álíta vatn dæmigerðan vökva og álykta um aðra vökva út frá því. Forhugmyndir um frostmark hafa verið rannsakaðar og leiða niðurstöður í ljós að börnin virðast ekki gera sér grein fyrir því að vatn frjósi við ákveðið hitastig. Útskýring þeirra felur í sér að vatnið fari frá því að vera á fljótandi formi yfir í fast form vegna samþjöppunar. Einnig telja börnin að ís eða vatn á föstu formi taki ekki jafn mikið pláss og vatn á fljótandi formi. Nemendur eiga líka til að segja að vatn sem frýs missi massa (Driver, Squires, Rushworth, Wood-Robinson 1994:98).

Suðumark vatns hefur flækst svolítið fyrir yngri kynslóðinni í gegnum tíðina. Nemendur á mismunandi aldri voru spurðir að því hvort eða hvernig hitastig í vatni - sem byrjað væri að sjóða - myndi breytast er það væri hitað í 5 mínútur eftir að suðan væri komin upp. Fjörutíu prósent 12 ára barna sögðu að hitinn yrði meiri en 100°C, og færðu þau rök að vatnið yrði heitara eftir því sem það væri hitað lengur. Eftir því sem börnin eldast lækkar hlutfall þeirra sem eru á þessari skoðun, en samt sem áður halda sextán prósent nemandar á aldrinum 15 ára enn í hana en þessar niðurstöður eru samkvæmt rannsóknum Driver og félagar. Tuttugu og fimm prósent barna á aldrinum 12-13 ára töldu að ef hækkað væri á stillingu á eldavél myndi hitastigið á vatninu hækka þó svo að suðan hafi verið komin upp (Driver, Squires, Rushworth, Wood-Robinson 1994:98-99).

Sambærileg rannsókn var framkvæmd hér á landi vorið 1989. Hafþór Guðjónsson stóð fyrir henni með hjálp kennaranema. Verkefni voru lögð fyrir 350 grunnskólanemendur í 7. og 10. bekk. Hluti verkefnanna snerist um sjóðandi vatn líkt og í rannsókn Driver og féлага. Nemendurnir í 7. bekk höfðu almennt ekki fengið formlega kennslu um suðumark en 10. bekkingar höfðu fengið slíka kennslu að einhverju leyti. Eitt verkefnið snerist um mynd af ílát sem stóð á hellu og ofan í ílátinu var hitamælir. Undir myndinni stóð „Ílát með 1 lítra af vatni stendur á hitaplötu sem stillt er á 3. Hitamælirinn sýnir þá +100°C. Þá er hitaplatan stillt á 6. Hvað sýnir hitamælirinn ef stillt er á 6? “ Nemendur áttu að setja x við „meira en 100°C”, „100°C” eða við „minna en 100°C”. Í 7. bekk merktu 67% nemenda sem svöruðu við „meira en 100°C”, 26% settu x við „100°C” og einungis 7% við „minna en 100°C”. Þetta sýnir að töluvert hærra hlutfall íslenskra 12 ára barna heldur að hitastig vatns geti hækkað eftir að suðan en komin upp en fram kemur í rannsókn Driver og féлага. Í 10. bekk voru niðurstöðurnar úr verkefninu þessar 43% nemenda taldi að hiti vatnsins yrði hærri en 100°C, 53% nemenda sögðu að það yrði áfram 100°C og 4% nemenda sögðu að það yrði minna en 100°C. Í rannsókn Driver og féлага var ekki nema 16 af hundraði 15 ára nemenda sem töldu að vatn gæti hitnað meira eftir að suðan væri komin upp. Hlutfall íslensku nemendanna sem töldu þetta er töluvert hærra í 10. bekk, alveg eins og í 7. bekk. Hugmynd þessi var þess vegna í kollinum á stórum hluta nemenda - sem er í andstöðu við það sem kennt er í skólum. Það er þannig að á meðan vatn sýður hækkar ekki hitastig þess. Ég er þó ekki hissa á því að einhverjir nemendur skuli hafa haft þessar hugmyndir þó svo að mér þyki hlutfallið heldur hátt. Það er þannig að ef hækkað er til dæmis í hljómflutningstæki gefur það frá sér meira hljóð - og ef slegið er fast í borð finnur fólk meira til í hendinni en slegið er laust. Nemendur hafa því hugsað sem svo að hærri stilling hlyti að leiða til hærri hita vegna aukinna áhrifa (Hafþór Guðjónsson 1991:16-18).

Það kemur mér töluvert á óvart hversu hátt hlutfall nemenda á Íslandi í 7. og 10. bekk telur að vatn sem byrjað er að sjóða geti orðið heitara ef hækkað er á hellunni sem það stendur á. Þessi rannsókn er frá 1989 og er því orðin 20 ára gömul. Ekki er víst að sömu niðurstöður fengjust úr rannsókn sem yrði framkvæmd núna. Ég held að hlutfallið yrði ekki alveg jafnhátt því á síðustu árum hefur sem betur fer áhersla á náttúrufræðikennslu í grunnskólum aukist.

Börn hafa einnig mismunandi skilning á því hvers vegna hlutir fljóta. Þegar nemendur eru spurðir af hverju sumir hlutir fljóti þá svara margir á þann veg að þeir séu léttir - aðeins þungir hlutir sem sökkvi. Sumir segja að ef hlutur flýtur á þann veg að stór hluti hans sé ofan vatnsyfirborðs, þá er hluturinn fljótandi en sé hann að mestu í kafi þá er hann hálf-fljótandi eða sökkvandi. Sumir telja að hluturinn sé þá byrjaður að sökkva og geri það á endanum.

Í einni rannsókn voru nemendum sýnd tvö samskonar kerti - annað stórt og hitt lítið. Einhverjir töldu að litla kertið myndi fljóta en það stóra sökkva. Þessi misskilningur var algengastur meðal yngri nemenda en minnkaði með auknum aldri. Einnig virðast nemendur telja dýpt vatnsins leika lykilhlutverk í því hvort hlutir fljóti eða sökkvi (Driver, Squires, Rushworth, Wood-Robinson 1994:102-103).

Forhugmyndir í varmafræði

Forhugmyndir barna um varma hafa verið skoðaðar og rannsakaðar í mörgum löndum. Út frá öllum þeim rannsóknum er hægt að sjá að nemendur eiga oft í erfiðleikum með að skilja varmafræði. Fræðimenn eru sammála um að varmi sé eitt ruglingslegasta fyrirbæri vísinda og á sá misskilningur upptök sín í hugtökunum varma, varmaflæði og varmaleiðni.

Nemendum hættir til þess að hugsa um varma sem ákveðið efni, sem getur farið frá einum stað til annars. Rannsóknir á forhugmyndum varma hafa einnig sýnt að nemendur upp að 16 ára aldri hugsa ekki um hita og kulda sem hluta af sama fyrirbærinu, heldur sem tvö aðskilin fyrirbæri og þeir hugsa gjarnan um kulda sem andstæðu varma (Driver, Squires, Rushwort, Robinson 1994:138). Í haust þegar ég var í vettvangsnámi, varð ég vitni að því að ýmsum ranghugmyndum nemenda sem þeim sjálfum þóttu alveg rökréttar. Upplifun mín af vettvangsnáminu vakti með mér meiri áhuga á forhugmyndum barna í varmafræði. Sjálf tel ég mjög mikilvægt að kennarar kanni það hvað nemendur þeirra vita og hvaða hugmyndir þeir hafa áður en þeir fara að kenna þeim nýtt efni. Það er erfitt fyrir nemendur að læra nýtt efni ef þeir hafa haft einhverjar ranghugmyndir, sem aldrei verða leiðréttar. Hér að neðan ætla ég að segja frá minni upplifun úr vettvangsnáminu og tengja það við rannsóknir sem hafa verið gerðar á forhugmyndum barna í varmafræði.

Í greininni *What do kids know and misunderstand about science* (Crockett 2005) segir höfundur frá því að fimm ára gömul frænka hennar hafi komið til sín og sagt henni að hún væri í nýjum sokkum og að þessir sokkar væru heitir. Höfundurinn undraði sig á þessu og spurði frænku sína um hæl hvort sokkarnir hefðu verið heitir þegar hún keypti þá. Litla stelpan svaraði því neitandi. Crockett spurði því næst litlu frænkuna hvort vettlingar út í búð væru heitir áður en maður keypti þá og setti þá á sig. Litla stelpan svaraði því játandi og var hissa á því að frænka hennar skyldi ekki vita það. Þegar stúlkan var spurð hvers vegna vettlingarnir væru heitir þegar maður keypti þá

en ekki sokkarnir, svaraði sú stutta því þannig að vettlingarnir væru þykkari en sokkarnir og að þeir væru fyrir hendur en ekki fætur. Stúlkan sem sagt alveg viss um það að sokkar væru kaldir þegar maður kaupir þá en vettlingar heitir (Crockett 2005:34-35). Ætli þessi hugsunarháttur stelpunnar í frásögninni sé almennt einkennandi fyrir nemendur sem eru að læra varmafræði?

Í vettvangnámi mínu var ég ásamt tveimur öðrum kennaranemum að kenna í 7. bekk, en þeim nemendum hafði lítið sem ekkert verið kennt áður í varmafræði. Við ákváðum fyrst að kanna vel hugmyndir nemendur um varmafræði áður en kennslan hófst. Við höfðum allar nýlega lesið greinar um forhugmyndir og fannst tilvalið að kanna vitneskju 7. bekklinganna um varmafræði í ljósi áhuga okkar á efninu.

Niðurstaðan var ekki ólík því sem greint er frá að ofan í rannsókn Crockett. Í tíma þar sem viðfangsefnið var einangrun byrjuðum við þannig að við létum 3 – 4 klaka í glas. Því næst klæddum við eitt glas í ullarsokk, annað í álpappír en hið þriðja ekki í neitt. Nemendurnir fylgdust vel með því sem við vorum að gera og síðan spurðum við hvern nemanda: „Í hvaða glasi heldur þú að klakinn bráðni fyrst ?” Flestir svöruðu skjótt og langalgengasta svarið var að klakinn myndi first bráðna í glasinu sem klætt var í ullarsokk. Örfáir töldu klakann bráðna í álpappírsglasinu og enn færri nefndu glasið sem var ekki klætt í neitt.

Þessa tilraun gerðum við í þremur bekkjum og voru svörin mjög svipuð í þeim öllum. Eftir að nemendur höfðu svarað byrjuðum við að leggja inn ýmislegt um einangrun. Við útskýrðum til dæmis hvers vegna ull væri sett í húsveggi og hvernig fötin okkar héldu á okkur hita. Í lok tímans þegar við höfðum rætt þetta allt fram og til baka var kominn tími til þess að kíkja aftur í glösin og sjá hvernig klakinn í þeim leit út. Fyrst var nemendum gefinn kostur á að breyta sínu svari ef þau vildu en fáir skiptu um skoðun. Flestallir töldu enn að klakinn í ullarsokksglasinu væri mest bráðnaður en tveir til þrír í hverjum bekk höfðu áttað sig á þessu í tímanum og þeir breyttu sínu svari yfir í glasið sem var ekki klætt í neitt. Nemendur biðu spenntir eftir niðurstöðinni, og hún var eins og búast mætti við, nefnilega að klakinn í glasinu sem var ekki í neinu hafði bráðnað mest, næst mest bráðnaði í glasinu sem var klætt í álpappír og svo minnst í ullarsokksglasinu. Nemendurnir voru margir hverjir mjög

hissa á þessari niðurstöðu þó svo að við hefðum verið að kenna þeim í tímanum að ull væri mjög góð einangrun.

Með þessari athugun sáum við að flestallir nemendurnir héldu að ull hefði þann eiginleika að hita, að hún gæfi frá sér varma, en það er rangt eins og vísindin segja okkur. Við gátum nú auðveldlega reynt að leiðrétta þennan misskilning sem var greinilega mjög algengur á meðal nemenda í 7. bekk og ég held að okkur hafi tekist að sannfæra flesta um að ullarsokkur gæfi ekki frá sér varma. Ef við hefðum verið að kenna yngri börnum (til dæmis 3. bekk) er ég ekki viss um að þau hefðu áttað sig svona fljótt á ranghugmyndum sínum.

Eftir þennan tíma hugsaði ég mikið um það hvers vegna nemendurnir hefðu þessa hugmynd, hver hafði eiginlega kennt þeim að ull gæti hitað eitthvað? Þeim hafði ekki verið kennt það í skólanum því þau höfðu ekki lært neina varmafræði að þessu. Höfðu foreldrarnir kennt börnunum sínu þetta? Höfðu þau fundið upp á þessu sjálf frá daglegri reynslu? Ég ákvað að leggja þessa spurningu fyrir nokkra fullorðna sem ég þekki. Svöruðu flestir án umhugsunar að klakinn myndi bráðna fyrst í ullarsokksglasinu. En þegar ég sagði þeim að hugsa þetta betur þá voru einhverjir sem áttuðu sig á því að það væri ekki rétt. Það að ull sé eitthvað sem geti hitað eða gefið frá sem varma er greinilega algengur misskilningur á meðal barna og fullorðinna.

Ég komst að þeirri niðurstöðu að líklegasta ástæðan sé sú að í daglegu máli okkar er talað um að ullarpeysur séu svo hlýjar. Þannig sé börnum sagt að klæða sig í þær til þess að verða ekki kalt. Við tölum ekki um að ullarpeysur séu góðar því þær einangri svo vel, og vegna þess hversu vel þær einangra fari hitinn frá okkur ekki svo auðveldlega í gegnum þær - og þar af leiðandi verður okkur ekki kalt. Við tölum um að föt séu hlý - að þau hlýi manni. Foreldrar segja við börnin sín: „Farðu í hlýju peysuna þína” en ekki „Farðu í vel einangrandi peysuna þína”. Það kemur því ekki á óvart að nemendur, sem höfðu aldrei lært neina varmafræði áður, hefðu þessar hugmyndir því þetta var það sem þau höfðu alltaf heyrt.

Eftir að hafa áttað mig á því að sumir fullorðnir, jafnvel með náttúrufræðinám úr framhaldsskóla að baki, hefðu þessar forhugmyndir var ég nokkuð hugsí. Ég hef velt því fyrir mér hversu lífseigar þær séu og hvort nemendurnir sem jafnvel hafa lært eitthvað í varmafræði segi endanlega skilið við þær.

Í greininni *Teaching for conceptual change: Confronting children's experience*, eftir Bruce Watson og Richard Konicek (1990), er fjallað um kennarann Deb O'Brian og níu ára gamla nemendur hennar, sem hún ætlaði að byrja að kenna varmafræði. Áður en O'Brian hóf kennsluna ákvað hún að ganga úr skugga um kunnáttu nemendanna og hvaða forhugmyndir þeir hefðu nú þegar í tengslum við varmafræði. Einn nemandinn sagði henni að peysur væru heitar og annar hélt að ef hitamælir væri settur inn í hatt myndi mælast þar jafnvel 90°F hiti. Sá hinn þriðji fullyrti að ef hitamælirinn væri skilinn eftir í langan tíma í hattinum gæti hitinn orðið 100°F eða 200°F. Ef O'Brian hefði byrjað að kenna nemendum sínum varmafræðina á venjulegan máta, útskýrt hugtök upp á töflu og farið í gegnum einhvern texta, hefði hún líklega aldrei komist að forhugmyndum nemenda sinna og þær hefðu áfram lifað góðu lífi.

Á hinn bóginn vildi O'Brian að nemendur þróuðu hugmyndir sínar um vísindi og byggðu á sinni eigin reynslu. Með þessu finna nemendur leið að dýpri skilningi á varmafræði og auk þess verður kennslan skemmtilegri og rökhugsun nemendanna eykst. O'Brian spurði nemendur sína hvernig þau útskýrðu hugtakið varma. Hún bað nemendurna að skrifa niður á blað allt það sem þeim þótti tengjast þessu hugtaki. Nemendurnir svöruðu meðal annars því til að varminn kæmi frá sólinni og líkömum okkar. Einnig sammæltust þeir um að peysur, húfur og jafnvel teppi væru uppsprettur varma.

Eftir að hafa hlustað á umræður nemendanna sagði O'Brian töfraorðið í vísindakennslu „Við skulum finna það út!“. Hófst þá rannsóknarvinna nemenda, þeir settu hitamæla inn í peysur, húfur, og teppi. Eftir fimmtán mínútur hafði hitastigið á mælunum ekkert breyst. Einn nemandinn lagði þá til að þeir myndu láta mælinguna standi yfir fram á næsta morgun. Þegar nemendur mættu til skóla morguninn eftir urðu þeir mjög hissa að sjá enn óbreytt hitastig. Þrátt fyrir þetta neituðu krakkarnir að gefast upp og sögðu mælinguna verða að standa lengur, og einhverjir töldu að kalt loft hefði komist að mælunum. Nemendurnir ákváðu eftir þetta að reyna að gera mælingarnar þannig úr garði að ekki kæmist neitt kalt loft að mælunum. Þeir settu til dæmis húfuna í poka og peysuna ofan í skúffu. Daginn eftir hafði hitinn ekki breyst neitt og nemendurnir urðu enn meira undrandi.

Á meðan öllu þessu stóð hélt O'Brian dagbók um það sem gerðist. Hún velti fyrir sér hve lengi hún ætti að láta nemendurna halda áfram með hugmyndir sínar. Það tók lengri tíma en hún hafði haldið að fá þá til að gera sér ljóst að hufur og peysur gæfu ekki frá sér varma.. Það hefði verið fljótlega að segja nemendum staðreyndirnar. En þá hefðu margir þeirra samsinnt henni til þess eins að gera hana ánægða en forhugmyndirnar líklega lifað áfram.

Það kom O'Brian á óvart hversu lengi nemendurnir þrjúskuðust við. Þegar hitastigið hækkaði aðeins um eina gráðu fögnuðu þeir því og töldu einnig hitamælinn bilaðan þegar niðurstöðunar voru þeim ekki að skapi, eða þá að kalt loft hefði komist einhvern veginn að mælunum. Vildi þá einn nemandinn setja hufuna í lokað málmbox og skilja það eftir í ár og þá myndi hitastigið örugglega hækka. O'Brian ákvað að gera lokatilraun. Hún lokaði hlutina kyrfilega af svo að sem minnst kalt loft kæmist að þeim. Daginn eftir flýttu nemendurnir sér inn í skólastofuna til að kíkja á niðurstöður mælinganna. Enn og aftur var hitastigið það sama eða mjög svipað. O'Brian sá að nemendurnir höfðu áttað sig á því að kenningar þeirra um varma voru ekki réttar en þeir gátu samt ekki sett fram neinar nýjar hugmyndir um það hvers vegna hitastigið hækkaði ekki. Hún ákvað því að bjóða þeim að velja á milli tveggja skýringa.

Önnur var á þá leið að hiti kæmi frá næstum öllum hlutum (svo sem höttum og peysum), og þegar hitinn er mældur kemst stundum að kalt loft og truflar mælinguna. Hin skýringin var á þá leið að hitinn ætti að mestu leyti upptök sín frá sólinni og líkömum okkar. Þannig héldu fötin sem við klæðumst hitanum að okkur en kulanum frá. Eftir að nemendur höfðu hugsað sig um voru flestir á því að seinni skýringin væri sú rétta. Eftir þetta velti O'Brian því fyrir sér hvort börnin hefðu virkilega skipt um skoðun eða einfaldlega fylgt leiðtogunum í hópnum. Geta þau virkilega breytt hugmyndum sínum í svona fáum kennslustundum og myndu þessar mælingar og athuganir hjálpa þeim að ná stöðluðu prófi í náttúruvísindum? Hún var ekki alveg viss um svarið í bili nægði henni að minnsta kosti að sjá andlit ungu vísindamannanna þegar þeir flýttu sér að tilraunum sínum, skrifuðu niður niðurstöðurnar, ræddu þær og íhuguðu (Konicek, Watson 1990: 680-685). Ég tel aðferð O'Brian mjög góða til þess að kanna forhugmyndir barna og einnig til þess að vinna bug á þeim, svo þau geti hugsað rökréttar um þessi mál Jafnvel þótt hún taki nokkuð langan tíma þá tel ég

líklegar að hún skilji meira eftir sig heldur en að demba staðreyndum strax yfir nemendurna án þess að þeir fái sjálfir að prófa sig áfram.

Fleiri dæmi um forhugmyndir barna

Mig langar til að segja frá fleiru sem mér fannst áhugavert og tengist forhugmyndum barna sem ég upplifði í vettvangsnáminu. Í fyrsta tímanum lögðum við spurningu fyrir nemendurna til að kanna hugmyndir þeirra. Við báðum þá að ímynda sér að þeir hefðu fulla fötu af 40°C heitu vatni og fullt baðkar af 40°C, Því næst myndu þau svo hella vatninu úr fötunni yfir einn snjókarl og svo vatninu úr baðkarinu yfir annan slíkan. Spurningin var sú hvor myndi bráðna meira. Afstaða nemendanna skiptist í tvö horn. Helmingur innan bekkjanna svaraði því til að bráðnun beggja snjókarla yrði svipuð en hinn helmingurinn sagði að snjókarlinn sem hellt var yfir úr baðkarinu myndi bráðna meira. Við gáfum ekki upp svarið strax en spurðum þá nemendur sem héldu að þeir myndu bráðna jafn mikið, hvers vegna þeir héldu slíku fram. Rökin voru þau að vatnið í fötunni og vatnið í baðkarinu væri hvoru tveggja jafn heitt, bæði 40°C og þar af leiðandi bráðnuðu báðir snjókarlar jafnt. Þessir nemendur rýndu bara í það að vatnið hefði sama hitastig og hlyti þá að bræða jafn mikið af snjókörlunum. Ég tel þessa skýringu mjög eðlilega hjá nemendum sem höfðu ekki lært neitt um varma áður.

Við báðum einnig þá nemendur sem voru með hitt svarið að útskýra það. Þau svöruðu því að það væri meira vatn í baðkarinu en fötunni og þar af leiðandi gæti það brætt stærri hluta af snjókarlinu. Þessir nemendur áttuðu sig á því að í baðkari sem er fullt af 40°C heitu vatni er meiri varmi en í fötu sem er full af 40°C heitu vatni. Þarna sáum við að nemendurnir höfðu ekki allir sömu hugmyndirnar en við komumst að því hverjar þær væru og gátum út frá því útskýrt fyrir þeim hugtakið varma.

Rannsóknir á forhugmyndum barna á orkuflutningi hafa meðal annars beinst að varmaleiðni hluta. Erickson (1977) rannsakaði það hvernig börn myndu útskýra hvers vegna járnstöng hitnaði öll þrátt fyrir að einungis hluti hennar hefði verið hitaður. Börnin héldu að varminn kæmi inn í stöngina á einum punkti og myndi svo flæða yfir í aðra hluta hennar og segja má því að gætt hafi skilnings á ferlinu. Samt sem áður

hafa börnin ekki alveg réttar hugmyndir eða skilgreiningar á hugtakinu. (Driver, Squires, Rushwort, Robinson 1994:141).

Varmaleiðni var eitt viðfangsefnanna vettvangskennslunnar í 7. bekk. Við ákváðum eins og áður að komast að forhugmyndum nemenda um varmaleiðni og hófum kennslustundina á því að setja sjóðandi heitt vatni í fötu. Að því loknu settum við nokkur eldhúsáhöld - eitt úr plasti, eitt úr járni og eitt úr tré. Við létum nemendur koma til okkar að fötunni og spurðum þá hvaða áhald þeir héldu að myndi hitna mest. Flestir sögðu að þau myndu öll hitna jafn mikið, einhverjir svöruðu að járnáhaldið myndi hitna mest og aðrir nefndu hin tvö. Þarna var eins og fæstir nemendur sér grein fyrir því að hlutir leiða varma mismunandi vel, sem er auðvitað mjög eðlilegt því þeim hafði ekki verið kennt þetta áður. Samt höfðu þeir allir einhverja ákveðna hugmynd og skoðun á því hvaða hlutur myndi hitna mest.

Þegar við báðum þau að útskýra svör sín voru ýmis sjónarmið uppi á teningnum. Nemandi sem hafði sagt að járnскеiðin hitnaði mest svaraði okkur ekki beint en benti á að skeið sem látin er liggja ofaní heitri súpu hitni rosalega mikið og skaftið hitnar stundum líka. Nemandi sem sagði að skeiðin og skaftið hitnuðu jafn mikið taldi það gerast vegna þess að áhöldin væru öll í jafnheitu vatni. Nemendurnir virtust hafa lítinn skilning á hugtakinu varmaleiðni, enda ekki ofarlega í huga þeirra dags daglega. Við reyndum að útskýra þetta fyrir nemendum og þau sögðust flest skilja það sem við vorum að útskýra fyrir þeim en eftir að ég las greinina um kennarann O'Brian er ég fráleitt viss um að allir hafi skilið hugtakið varmaleiðni. Einhverjir hafa örugglega samþykkt það sem við sögðum til þess eins að geðjast okkur. Við hefðum sennilega þurft að eyða aðeins meiri tíma í þetta viðfangsefni.

Forhugmyndir í kennslu

Skiptir það máli að kennara kanni forhugmyndir nemanda sinna?

Markmið alls skólastarfs er að nemendur læri. Vitneskja um nám skiptir kennara þess vegna miklu máli. Kennari sem hefur skýrar hugmyndir um það hvernig nemendur hans læra á auðveldara með að skapa góð skilyrði til náms (Donovan, Bransford og Pellegrino, ísl. þýðing Ingólfur Gíslason 2005:1). Forhugmyndir virðast hafa mikil áhrif á nám í náttúruvísindum. Þær birtast þannig að nemandinn túlkar það sem kennarinn segir eða skrifar í ljósi sinna eigin hugmynda. Þegar nemandi gerir þetta verður það oft til þess að hann leggur aðra merkingu í orð og tákni en kennarinn og læri þar af leiðandi allt annað en kennt var. Forhugmyndir barna um hin ýmsu fyrirbæri eru oft á skjön við vísindaleg sjónarmið og það sem kennt er. (Hafþór Guðjónsson 1991:14). Þegar nemendur koma inn í skólastofuna taka þau með sér ákveðnar hugmyndir um það hvernig fyrirbæri í náttúrunni virka. Ef þessi skilningur þeirra er látinn óhreyfður er mikil hættu á að þeir eigi erfitt með að skilja ný hugtök og nýjar upplýsingar. Það getur líka gerst að nemendur læra þessi nýju hugtök eingöngu fyrir próf en gamli skilningurinn ráði samt utan skólans. (Donovan, Bransford og Pellegrino, ísl. þýðing Ingólfur Gíslason 2005:1). Allavega er að mínu mati mikilvægt fyrir kennara að gera sér grein fyrir hugmyndum nemenda sinna og leitast við að komast að því hverjar þessar hugmyndir eru.

Þegar ég var í vettvangsnámi var ég að kenna í 7. og 10. bekk. Eins og ég sagði frá hér í ritgerðinni að ofan vorum við kennaranemarnir duglegar að kanna forhugmyndir 7. bekkinga. Mér fannst mjög gott að vita hvaða hugmyndir nemendurnir í vettvangsnáminu höfðu. Við gátum þá hjálpað þeim sem höfðu einhverjar ranghugmyndir og einnig hjálpaði það til að vita hverjar þessar hugmyndir voru þegar ákveða þurfti á hvað ætti að leggja áherslu við kennsluna. Í 10. bekk var hins vegar ekki lagt upp með að kanna hugmyndir nemenda, heldur gengum við þegar í stað inn í

kennsluhætti viðtökukennara okkar. Í því fólst meðal annars að klára eins mikið og við gátum af ákveðinni námsbók, enda stutt í próf hjá þeim nemendum. Við dembdum því bara upplýsingum yfir nemendurna án þess að hafa nokkra hugmynd um hvort þau skildu eitthvað.

Ég geri mér þess vegna enga grein fyrir því hvort nemendurnir í 10. bekk hafi lært eitthvað en ég er nokkuð viss um það að nemendurnir í 7. bekk hafi lært töluvert. Ég held að náttúrufræðikennarar hérlandis séu ekki nógu duglegir við að kanna hugmyndir nemanda sinna um hitt og þetta. Ekki eru mörg ár síðan ég var í grunnskóla en ég man aldrei eftir því að kennararnir hafi sóst eftir því að vita um okkar hugmyndir. Því síður að við værum látin kryfja hugtök eða fyrirbæri til mergjar. Kennsla í náttúrufræði og fleiri greinum hefur einnig um of miðast við ofuráherslu á að komast yfir sem allra mest efni. Það er jafnvel farið yfir heila kennslubók á önn - bók sem inniheldur mikið af nýju efni og hugtökum. Við þessa hröðu yfirferð í kennslunni er síður en svo víst að nemendur skilji efnið til hlítar og geti tileinkað sér þekkinguna á gagnrýninn hátt. Það gleymist líka algjörlega að kanna hvaða forhugmyndir þeir hafa um námsefnið. Þar af leiðandi vita kennararnir lítið sem ekkert um hvort nemendur séu að byggja upp þekkingu á réttum eða röngum grunni. Ég held að ef meiri áhersla yrði lögð á að kanna forhugmyndir nemenda í náttúrufræði, batnaði árangur þeirra í greininni.

Hvernig geta kennara kannað forhugmyndir nemana sinna?

Það er margt sem kennari getur gert til þess að kanna og vinna með forhugmyndir nemanda sinna. En áður en hafist er handa við þá vinnu verður hann að hætta að hugsa um nemandann sem rör sem hann fyllir af þekkingu. Ég held að allt of mörgum kennurum hætti til að hugsa um nemendur á þennan hátt. Í stað þess verður kennarinn að kanna hugsun nemenda sinna með virkum hætti, skapa aðstæður og búa til verkefni sem geta leitt í ljós hugsun nemandans (Donovan, Bransford og Pellegrino, ísl. þýðing Ingólfur Gíslason 2005:2). Til þess að ná sem bestum árangri í náttúrufræðikennslu þurfa kennarar því ávallt að vera vakandi fyrir forhugmyndum nemanda sinna, hafa skýr markmið við kennsluna og einnig þurfa þeir að gera skýran greinarmun á

forhugmyndum nemandanna og á því sem verið er að kenna þeim (Driver, Squires, Rushwort, Robinson 1994:8).

Hér að neðan eru nokkar góðar leiðir sem kennarar geta nýtt sér til að kanna forhugmyndir nemenda sinna:

- Kennarinn byrja á því að láta nemendur skrifa niður allt sem þau telja sig vita um viðfangsefnið sem verið er að fjalla um. Síðan er gott að láta þá ræða saman í litlum hópum. Hóparnir kynna svo hugmyndir sínar fyrir hinum nemendum í bekknum.
- Nemendur eru beðnir um að búa til veggspjald í hópunum eða sjálfir með þeirra hugmyndum um ákveðið viðfangsefni. Síðan ræða þeir efni veggspjaldanna í litlum hópum, taka saman niðurstöður og kynna svo fyrir hinum í bekknum.
- Kennari spyr nemendur spurninga sem krefjast þess að þeir hugsi um efnið. Þeir ræða svo svörin í litlum hópum og kynna fyrir samnemendum sínum.
- Nemendur eru látnir hanna eigin tilraunir, framkvæma þær og koma fram með einhverjar niðurstöður.
- Nemendur eru beðnir að útskýra tiltekið viðfangsefni með því að skrifa það niður á blað og kynna svo eigin útskýringar fyrir öðrum í bekknum (Driver, Squires, Rushwort, Robinson 1994:9).

Eins og sjá má eru þetta allt aðferðir sem byggja á því að nemendur ræði sín á milli og við alla bekkjarfélagana og segi frá hugmyndum sínum. Allar þessar aðferðir krefjast þess að nemandinn íhugi vel viðfangsefnið sem verið er að kenna. Þessar aðferðir skortir í náttúrufræðikennslu að mínu mati, eins og ég hef reyndar nefnt áður. En ég tel þær mun árangursríkari en aðferðir sem byggja á því að mata nemendur einhliða á upplýsingum.

Fyrr í ritgerðinni fjallaði ég um kennarann Deb O'Brien. Ég tel kennsluáðferðir hennar mjög góðar. Hún byrjaði strax að kanna hugmyndir nemanda sinna með því að spyrja þá spurninga sem tengdust viðfangsefninu. Síðan leyfði hún þeim að fara í hlutverk vísindamanna með því að láta þá framkvæma hinar ýmsu athuganir til þess að komast að réttmæti hugmynda þeirra. Mér þótti einna jákvæðast að hún gafst ekki upp á því að bíða eftir að nemendur hennar áttuðu sig að því að þeirra

hugmyndir væru rangar. Hún beið þolinmóð, lét þau gera athuganir aftur og aftur án þess að segja þeim nokkuð um að þau hefðu rangt fyrir sér. Svona aðferð held ég að sé árangursrík. Nemendurnir gátu eiginlega ekki annað en séð að hugmyndir þeirra voru á skjön við vísindin, þar sem þeir höfðu framkvæmt fjölda athugana sem leiddu í ljós að þeirra hugmyndir voru rangar.

Þær aðferðir sem ég fjallaði um hér að ofan eru aðeins brot af þeim sem hægt er að beita. Um leið og kennarar fara að kanna forhugmyndir nemenda sinna, finna þeir fljótt út hvað aðferð hentar best við kennsluna.

Lokaorð

Í ritgerðinni hef ég leitast við að kanna hverjar forhugmyndir barna í náttúruvísindum eru, hvað einkennir þær og hvernig best er fyrir kennara að vinna með þær. Forhugmyndir barna mótast að miklu leyti af samskiptum við annað fólk og því umhverfi sem þau eru í. Þau byrja mjög snemma að þróa þessar hugmyndir sínar og þær geta verið býsna lífseigar. Ég hef komist að því að börn hafa ýmsar hugmyndir um margvísleg fyrirbæri í náttúrunni og oft eru þær á skjön við vísindaleg sjónarmið og það sem kennt er í skólum. Þess vegna er mjög mikilvægt að kennarar fái vitneskju um forhugmyndir nemenda sinna, þar sem það getur nýst þeim til árangursríkari kennslu. Ef kennarar leitast ekki við að kanna þessar hugmyndir er hættu á því að nemendur byggi þekkingu sína í náttúrufræði á röngum grunni.

Mér þótti áhugavert að sjá að hugmyndir barna víðs vegar um heiminn eru mjög svipaðar. Þannig höfðu nemendur mínir í vettvangsnáminu og nemendur Deb O'Brien mjög svipaðar hugmyndir um varma. Þessir nemendur höfðu flestir einhverjar ranghugmyndir tengdar hugtakinu. Til dæmis gerði stór hluti þeirra ráð fyrir því að ullarsokkar, húfur og teppi gæfu frá sér varma - sem er vitaskuld ekki í takt við vísindaleg sjónarmið. Eftir skrifin á ritgerð þessari er ég sannfærðari en nokkru sinni fyrr um að vönduð athugun á forhugmyndum nemenda skili ótvírætt betri námsárangri þeirra í náttúrufræðum.

Heimildir

- Björn Franzson. 1938. *Efnisheimurinn*. Mál og menning, Reykjavík.
- Crockett, Cynthia. 2004. What Do Kids Know-and Misunderstand-About Science?
Educational Leadership 61,5:34-37.
- Driver, Guesne og Tiberghien. 1985. *Children's Ideas In Science*. Open University Press, London.
- Driver, Squires, Rushwort og Wood – Robinson. 1994. *Making sense of secondary science*. Routledge, London og New York.
- Donovan, M.S., Bransford, J.D og Pellegrino, J.W. (ritstj). 1999. *How people learn. Bridging research and practice*. Lausleg þýðing Ingólfs Gíslasonar á 2.kafli, Lykilatriði um nám og kennslu.
- Hafþór Guðjónsson. 1991. Raungreinar – til hvers? *Ný menntamál* 9,2:16-18.
- Meyvant Þórólfsson (2003). Tími, rúm og orsakasamband. *Netla - vef tímarit Menntavísindasviðs Háskóla Íslands*. [Sótt 24. febrúar 2009]
- Náttúrufræðimenntun. Vefur náttúrufræðikjörsviðs Menntavísindasviðs. Slóð:
http://grunnskolaabaut.khi.is/nattvis_og_umhv/. [Sótt 24.feb.2009]
- Watson, B. og Konicek, R. 1990. Teaching for conceptual change:
Confronting children's experience. *Phi Delta Kappa*, 71,9:680-685.

Leiðsögukennari: Hafþór Guðjónsson