

Hitafar og gróður

PÁLL BERGÞÓRSSON

Byggðarenda 7, 108 Reykjavík

„Ef þú getur mælt það sem þú ert að fjalla um og skýrt frá því í tölum, hefurðu um það nokkra vitneskju; en ef þú getur ekki slegið á það máli, ekki komið á það tölu, er þekking þín á því rýr og ófullnægjandi.“
– Kelvin lávarður.

YFIRLIT

Oft er sagt að loftslag á Íslandi sé á mörkum þess að hægt sé að stunda þar jarðrækt. Það er tvímælaust hitinn sem ræður þessum úrslitum því að oftast er úrkoma ekki mjög takmarkandi.

Hiti umfram svokallaðan hitaþröskuld er oft hafður sem mælikvarði á gróðurskilyrði. Tiltekinn þröskuldur er þó aðeins nothæfur á takmörkuðu loftslagssvæði, og samanburður fæst ekki nema við lítið landsvæði með þeim hætti. En með því að tengja saman þær upplýsingar sem fást með hitaþröskuldinum er hér leiddur út sérstakur mælikvarði til að tákna hitasæld staðarins. Hann er hægt að nota til yfirlits hvarvetna á norðlægum og tempruðum slóðum. Þannig er tekið tillit til þess að samhengi hita og vaxtar er yfirleitt ekki línulegt. Þá er rannsakað samhengi loftslags og trjágróðurs á Íslandi, einkum með tilliti til norskra athugana í álíka köldu loftslagi, og er þá lögð áhersla á mismunandi vægi hitans á degi og nóttu. Gert er kort yfir mögulega útbreiðslu skóga á landinu í loftslagi eins og á árunum 1931–1960.

Þessu næst er athugað samhengi hitafars og hefyngs á Íslandi allt frá aldamótum og þá tekið tillit til þeirra breytinga sem hafa orðið á áburði á tún. Sýnt er fram á að frávik frá venjulegum vetrarhita er heldur áhrifameira um hefyng en jafn mikið frávik frá venjulegum sumarhita, auk þess sem hitaþröskuli frá ári til árs eru miklu meiri að vetri en sumri. Þessi staðreynd gerir mögulegt að spá með góðri vissu um túnasprettu sumarsins strax í apríllok, en eftir þeirri spá má svo haga áburði til þess að minnka uppskerumun frá ári til árs og útrýma að mestu uppskerumun áratuga. Skýrt er frá tilraun sem var gerð á Hvanneyri til að sannreyna þetta. Leiddar eru líkur að því að kal í túnnum standi í nánu samhengi við loftkulda sumarsins og undanfarandi vetrar.

Þá er vikið að þroskunarhraða grasanna eftir sumarhitinum eins og hann er niðri við jörð. Til þess þarf að leiðrétta venjulegar hitamælingar í tveggja metra hæð, og ennfremur er gerð tilraun til að taka tillit til daglengdar. Á þennan hátt er sýnt að hægt er að fara nærri um heppilegan áburðartíma að vorinu og sláttubyrjun með því að fylgjast með hitafarinu.

Þessu næst eru kannaðar þroskalkur tiltekins byggafbrigðis á Íslandi eftir innlendrai reynslu, einkum á Sámsstöðum. Þar kemur til greina lofthitinn, úrkoman og daglengdin að sumrinu, ásamt sáningartíma og uppskerutíma sem metinn er eftir hitafari.

Að síðustu er fjallað um samspil hita og áburðar og settur fram stærðfræðiformáli um grasvöxt eftir lofthita og notkun einstakra áburðarefna. Einnig eru settar fram hugmyndir um sérstakar áburðartilraunir á einstökum býlum svo að hægt sé að taka tillit til eiginleika jarðvegsins á hverjum stað. Leitast er við að finna hagkvæm hlutföll áburðartegundanna eftir því hver vetrarhitinn hefur verið hverju sinni, þannig að tiltekinn áburðarkostnaður gefi hámarksuppskeru. Leiddar eru líkur að því að búféð geti allt að því ræktað fóðrið sitt á friðuðu túni, og þá þurfi aðeins að bæta köfnunarefni við búfjáráburðinn með litlum tilkostnaði, nema árferði sé því kaldara.

SUMMARY

Air temperature and plant growth

It is frequently stated that cultivation of plants is on the verge of being impossible in Iceland. Temperature is without any doubt the deciding factor in this respect, since precipitation is generally not limited. Warmth in excess of the so called threshold temperature is often used as an indication of the cultivation conditions for plants. A given threshold temperature is, however, only useful within a limited climatic area and comparison is only possible for a small area using this method. But by connecting the information which is conveyed by the threshold temperatures of different regions a special index is deduced here for the purpose of indicating the thermal production of a given place. It can be used for comparison purposes anywhere in northern latitudes and in the temperate zone. It brings out the fact that the connection between temperature and growth is generally not linear.

The connection between climatic conditions and tree growth in Iceland is also considered, particularly in light of Norwegian research in similarly cold climate and emphasis is put on the different weight of day and night temperatures. A map is shown of the potential spreading of forests in climatic conditions such as those that prevailed from 1930 to 1960.

The relationship between temperature and hay production from the beginning of the century to this day is considered, and the changes that have occurred in the usage of artificial fertilizer are weighed in. It is conclusively shown that a deviation in winter temperature has a greater effect on hay production than the same deviation in summer temperature in addition to the fact that year to year variations in temperature are usually much greater in winter than they are in summer. This fact makes it possible to predict plant growth in hay fields with reasonable certainty by the end of April, but this prediction may then be used to control the amount of fertilizer used in order to reduce the variation in yield from one year to the next and mostly eliminate the deviation in hay production between decades. An experiment, conducted at Hvanneyri in order to verify this, is outlined. It is inferred that winter kill in hay fields is closely connected with the summer temperature and the preceding winter but local conditions are also important.

The relationship between growth rate of grass and summer temperature at ground level is then looked at. For this purpose the ordinary temperature measurements done at two meters above ground have to be corrected, and additionally an attempt is made to take the amount of daylight into consideration. With this method it is shown that it is possible through the observation of air temperature to plan the best time for fertilizing and harvesting the hay fields.

Then the ripening probability of a certain kind of barley is considered in light of domestic experience, especially at Sámsstaðir. Air temperature, precipitation and the duration of daylight in summer are important in this respect in addition to time of sowing and time of harvest, which is deduced from the temperature patterns.

Lastly, a mathematical formula is put forward which regards the effects of air temperature and the use of given fertilizer on grass growth. Ideas for fertilizer experiments at given farms are also introduced, so that the special soil conditions at these places can be taken into consideration. An attempt is made to deduce the optimal ratio between types of fertilizer in light of air temperature the preceding winter, so that the deduced amount of fertilizer produces the maximum amount of harvest in return for the money invested. It is inferred that livestock can for the most part provide the fertilizer needed for the hay it consumes, if the hay fields are protected from grazing. Only nitrogen needs to be added to the livestock fertilizer at small cost, unless winter temperatures become very low.

Key words: air temperature, fertilizer, plant growth.

EINFALT SAMBAND HITA OG VAXTAR

Hitinn er sá þáttur veðurfarsins sem einna mestum úrslitum ræður um þrif gróðurs á Íslandi, upplausn steinefna, upptöku vatns, lofttegunda og áburðarefna, efnaflæði og umsetn-

ingu efna í plöntunum. Og hann er forsenda tillífunar og þroskunar.

Þetta finna fáir betur en Íslendingar vegna þess að oft má litlu muna að þessi blessaði yllur

sé nægilegur því sem við viljum láta gróa. Því er mikils vert að gera sér nokkra grein fyrir þessum áhrifum hitans á plönturnar, meðal annars til að fá raunhæfan samanburð við gróðurskilyrðin í öðrum löndum.

Hitaskilyrði á vaxtartíma

Hitafarið utan sjálfs vaxtartímans er stundum þýðingarmikið og því verða gerð skil í síðari kafla. Jafnvel vetrarkuldinn getur verið mjög afdrifaríkur fyrir sumarvöxtinn. En í þessum yfirlitskafla er sú einföldun gerð að aðeins er fjallað um áhrif hitans í tveggja metra hæð yfir frostlausa tímamann og jafnt tillit tekið til hita dags og nætur.

Til þess að planta geti vaxið verður hitinn að vera innan vissra marka, ofan við tiltekið hitalágmark og neðan við ákveðið hitahámark. Ef öðrum skilyrðum er fullnægt sprettur best við vissan hita sem liggur á milli þessara marka, kjörhitann. Kulvísar plöntur, eins og flestar þær sem vaxa í hitabeltinu, gera miklar hitakröfur (Hildreth o.fl., 1941). Hitalágmark þeirra getur verið á bilinu 15–18 stig, kjörhitinn 31–37 og hitahámarkið 46–50 stig. En þær harðgerðu, og til þeirra teljast til dæmis norrænar grastegundir og flest bygg- og hafraafbrigði, geta látið sér nægja til nokkurs vaxtar lágmarkshita sem er lítið fyrir ofan frostmark. Þær hafa gjarnan kjörhitann 25–31 stig, eða jafnvel lægri hér á landi, og þola ekki meira en 31–37 stig, en þá hættir allur vöxtur. Því veldur meðal annars að tillífuð orka gengur til þurrðar við hraða öndun, en ofþurrkur getur líka verið skæður og lækkað kjörhitann.

Það má því ljóst vera að á Íslandi, þar sem hitinn er sjaldan hærri en 15–20 stig, er hann næstum alltaf fyrir neðan kjörhita flestra nytja-plantna svo að vöxtur verður því hraðari sem hlýrra er. En ekki er þar með sagt að hver gráða á bilinu 0–20 stig auki vöxtinn jafn mikið.

Hitapröskuldur (frádráttartala)

Víða um lönd hafa menn komist að því að vöxtur plantna á takmörkuðu hitabili stendur nærri því í beinu hlutfalli við hitann þegar búið er að draga frá hitanum vissa tölu. Sú frádráttartala

reynist þó breytileg eftir landsvæðum, og þó fremur eftir hita þeirra. Stundum er þessi frádráttartala nefnd hitapröskuldur, en það nafn er þó villandi og yfirleitt byrjar vöxtur við talsvert lægri hita (Páll Bergþórsson, 1985b). Hitapröskuldurinn er fremur eins konar hjálpartala til þess að meta vöxtinn við töluvert hærri hita (T) en hitapröskuldinum nemur eins og kemur fram hér á eftir. Sé hitapröskuldurinn til dæmis 5 stig verður það vöxturinn á hitabilinu 10–15 stig sem best er táknaður, en í meiri og minni lofthita gildir þetta síður eða ekki.

Í Evrópuhluta Rússlands reynist þessi hitapröskuldur, eða frádráttartala, vera um það bil 10, en þar er sumarhiti oft 15–20 stig (Budyko, 1974).

Á Bretlandseyjum reynist frádráttartalan 42–43 stig á Fahrenheit (5,6–6,1 á Celsíus) í sumarhita sem er gjarnan 12–15 stig (Smith, 1975).

Í Skandinavíu telja menn heppilegast að nota frádráttartöluna 5, en þar er hiti víða 10–15 stig á sumrin (Kauppi og Posch, 1985).

Ef marka má reynslu af byggþroska á Sámsstöðum í Fljótshlíð á fjórða áratugnum er besta frádráttartalan þar 3 stig, en þar var sumarhiti nálægt 10 stigum á þeim tíma (Páll Bergþórsson, 1965). Grasvexti á Hveravöllum og Reykjavík hefur verið lýst með því að nota hitapröskuldinn 4 stig (Sturla Friðriksson og Flosi Hrafn Sigurðsson, 1983).

Að síðustu má geta þess að á Írlandi reynist frádráttartalan vera lítið hærri en 0 að vetrarlagi, en þá er hitinn þar gjarnan á bilinu 0–6 stig (Keatinge o.fl., 1979).

Hér má greina ákveðna reglu. Frádráttartalan F er sýnilega því hærri sem hitinn T er hærri, en ekki í beinu hlutfalli. Hana má finna með góðri nákvæmni með því að margfalda hitann með sjálfum sér og deila síðan með 30:

$$F=T^2/30 \quad (1)$$

þar sem T er meðalhiti sólarhringsins. Í 17,5 stiga hita líkt og í Evrópuhluta Rússlands reiknast frádráttartalan eftir þessum formála 10,2 stig, 6,1 stig í 13,5 stiga hita á Bretlandseyjum, 5,2 stig í 12,5 stiga hita í Skandinavíu, 3,1 stig í 9,6 stiga hita á Sámsstöðum og 0,3 stig að vetrarlagi á Írlandi í um það bil 3ja stiga hita.

Allt er þetta nærri því sem reynslan sýnir og áður var upp talið.

Samhengi vaxtar og hita: hitasæld

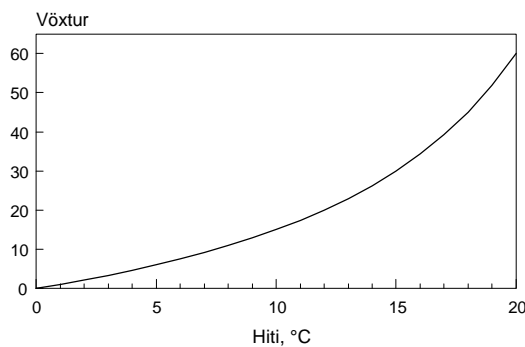
Það leiðir af (1) að á öllum þessum fimm svæðum er hægt að tákna vöxtinn með þessum eina formála (Páll Bergþórsson, 1985b):

$$V=T/(1-T/30) \quad (2)$$

þar sem V er tala sem tákna vöxtinn á mánuði í ótilgreindum einingum en T er meðalhiti mánaðarins. Með þessum mánaðarvexti er sagt til um þau gróðurskilyrði sem lofthitinn á staðnum sér fyrir ef önnur vaxtarskilyrði eru uppfyllt: hæfilegur raki, sólskin og jarðvegur. Síðan er hægt að leggja saman útreiknaða vöxtinn í öllum þeim mánuðum ársins þegar meðalhitinn er yfir frostmarki.

Þessi árssumma verður hér kölluð **hitasæld** staðarins.

Það er mikill kostur að tengja þannig saman reglurnar fimm hér á undan, þar sem frádráttartalan er aldrei eins. Þær eru ekki sambærilegar hver við aðra, og hver um sig er því aðeins nothæf á ákveðnu landsvæði. Þegar teiknað er línurit eftir þessum einfalda formála (1. mynd) kemur í ljós að vöxturinn fer mjög hægt af stað um leið og hitinn byrjar að hækka sig upp frá frostmarkinu, en eykst svo hraðar og hraðar fyrir hverja gráðu eftir því sem hitinn hækkar,



1. mynd. Samhengi lofthita og vaxtar, byggt á upplýsingum um hitaþröskuld í mismunandi loftslagi. Formáli (2).

Figure 1. General growth index, combining in one expression information obtained from several regions with different threshold temperatures. Equation 2.

allt upp í 20 stig. Línuritið verður sem sagt sífellt brattara eftir því sem hitinn vex.

Margir kannast við hvað fáir hlýir dagar í gróandanum geta áorkað miklu um sprettu. Í bréfi til Jóns Eyþórssonar veðurfræðings skrifaði til dæmis Jón Guðmundsson bóndi í Fjalli á Skeiðum þ. 17. nóvember 1966: „Ég held að að hitameðaltalið segi ekki allt um það hvernig veðráttan er gagnvart gróðri. Þar geta topparnir haft afgerandi þýðingu og hafa sérstaklega á einstökum hitadögum í júlíbyrjun.“

Þetta sýndi sig vel sumarið 1994. Það var ekki sérlega hlýtt að jafnaði, en nálægt mánaðamótum júní–júlí kom einstaklega gott grasveður, hlýindi með nægri vætu, og hefyngur varð víða með því besta sem gerist. Þetta kemur vel heim við vaxtarformálann, því að samkvæmt honum reiknast 57% meiri vöxtur í 16 stiga hita en samanlagt á helmingi lengri tíma með 8 stiga hita.

Rétt er að taka fram að þetta línurit mundi líta nokkuð öðruvísi út ef miðað væri við daglegan hita en ekki mánaðarhita.

Hitasældarkort

Á kortinu á 2. mynd eru sýndar hitasældarlínur við norðanvert Atlantshaf fyrir hlýja tímabilið 1931–1960. Farið er eftir hitameðaltölum allra mánaða ársins á stöðvum á þessu svæði, og línurnar tákna samanlögðu hitasældina yfir árið. Tekið skal fram að í aðalatriðum er miðað við hitasæld á láglendi, en á hálendi er hún minni en kortið sýnir.

Kortið sýnir í grófum dráttum að hitasældin er mun meiri austan Atlantshafs en á sömu hnattbreidd austast í Kanada, sérstaklega þó við strönd Labrador þar sem kaldur hafstraumur liggur norðan að. Miðað við hnattbreidd er hitasældin mest í norðanverðum Noregi, en það má þakka Golfstraumnum sem teygir sig þar lengst til norðurs. Ísland er mjög álíka vel sett og norðurhluti Noregs og mun betur en lítt byggileg svæði í Kanada með sömu hnattbreidd. Hér eru það líka áhrif Golfstraumsins sem koma til.

Til þess að fátæklegasta graslendi geti haldist við þarf hitasældin að líkindum að vera rúmlega

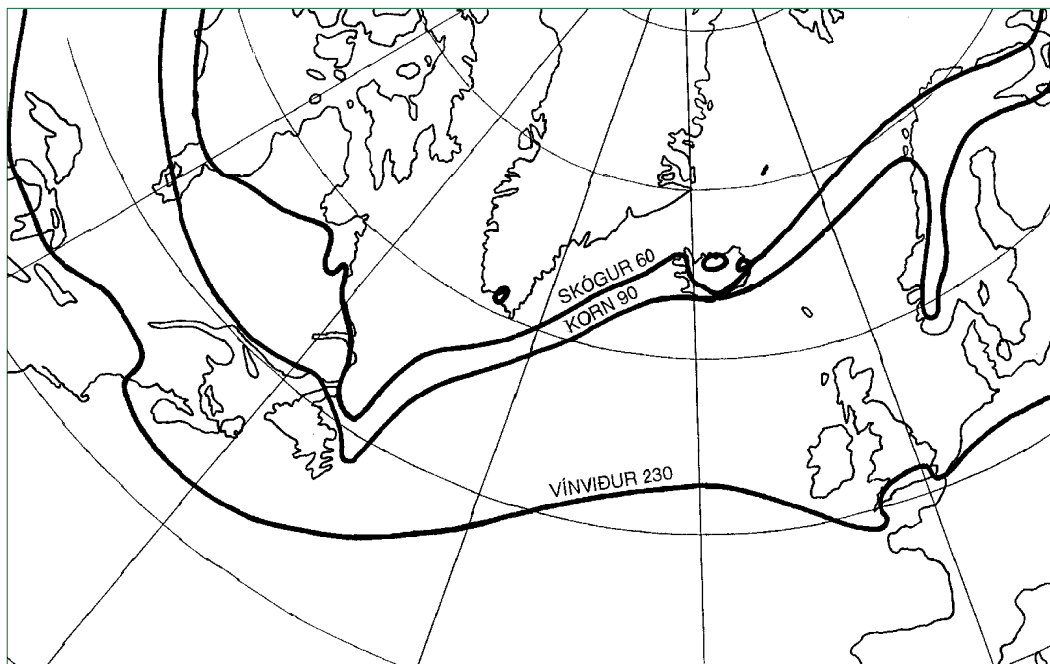
25. Á Jan Mayen þar sem hún reiknast 23 finnast aðeins fáir grasgeirar með strjálu sveifgrasi og vinglum í skjóli undir fuglabjörgum, og ekki meira en nokkrir tugir fermetra að stærð (Steindór Steindórsson, 1958). En á Hveravöllum þar sem hitasældin er 32 er þó nokkuð af heilgrösom. Minnsta hitasæld á láglandi á Íslandi er hins vegar í Grímsey og á Langanesi, um 50, enda hljóta þau svæði að teljast með grasbeltinu og þar með allt láglandi Íslands, en þar verður hitasældin mest 100, í Mýrdalnum.

Þar sem hitasæld er minni en 25 eru mosar og fléttur einkenni gróðursins ef hann er nokkur, eins og á Jan Mayen. Nokkurt mýrgresi er þó í hlýjasta hluta þessa beltis þar sem aðstæður leyfa að öðru leyti. Mun þetta ekki fjærri lagi á þeim hlutum hálandis Íslands sem liggja nokkru ofar en Hveravellir. Samkvæmt kortinu ætti svipað að gilda um láglandi á íshafseyjum Kanada norðan við 60. breiddargráðu, og það

er í allgóðu samræmi við gróðurkort (Reader's Digest Atlas, 1993).

Um skilyrði til þess að skógur geti þrífist verður rætt nánar síðar í þessari grein og þar er fjallað sérstaklega um Ísland að þessu leyti. En til yfirlits sýnist mega afmarka birkiskóga með hitasældarlínunni 60. Þau mörk liggja um nyrstu héruð Noregs, en á Íslandi virðist birkiskógur geta vaxið á öllu láglandi sunnan lands frá Austfjörðum til Vestfjarða og einnig um miðbik Norðurlands. Á Grænlandi er hitasældin meiri en 60 á litlu svæði allra syðst, innst í fjörðum. Það mundi nægja fyrir birkiskóg. Skógarjaðarinn snertir svo nyrsta odda Nýfundnaland, teygir sig norður um austurströnd Labrador og fylgir víðast suðurströnd Hudsonflóa. Þetta er líka í góðu samræmi við gróðurkort (Reader's Digest Atlas, 1993).

Nánar verður fjallað um skilyrði til byggættar í síðari kafla og þá tekið tillit til úrkomu



2. mynd. Kort yfir hitasæld við norðanvert Atlantshaf, eftir formála (2), árin 1931–1960. Sýnd eru útreiknuð norðurmörk birkiskóga, byggættar og vínviðar. Á Nýfundnalandi eiga birkiskógar jafn erfitt uppdráttar og vínviður á sömu hnattbreidd í Evrópu. Nánar í texta.

Figure 2. Annual sum of growth index for the period 1931–1960, based on Eq. 2. The isolines show the northern limits of birch forests, barley and grape-vine.

og sólargangs. En á kortinu á 2. mynd eru sýnd í grófum dráttum norðurmörk byggærktar ef einungis er litið á hitasæld. Á þessum mörkum virðist hitasældin vera um það bil 90, talsvert meiri en þarf til þess að mynda birkiskóg. Byggið getur eftir þessu vaxið norður fyrir Helsingjabetn og norður undir Lófót í Noregi. Lengst teygir þessi byggærktarlína sig suður með austurströnd Nýfundnlands og liggur síðan um norðurströnd Lárensflóa en færast eftir það heldur norður eftir því sem vestar dregur í Kanada.

Svo lítur út sem hitasældin á láglandi þurfi að vera um 230 til þess að vínrykju sé hægt að stunda, þó að við þau mörk sé hún illa samkeppnisfær við það sem gerist í mildari löndum. Í Suður-Englandi hafa menn til dæmis á síðari áratugum tekið til við nokkra vínækt sem þar var stunduð snemma á miðöldum. Hitasældarlínan 230 liggur um Maine, austasta fylki Bandaríkjanna, þaðan til norðvesturs, síðan vestur um vötnin miklu. Segja má að með þessari línu sé afmarkað mjög vel það svæði þar sem villta vínviðartegundin refaprúgur (*Vitis labrusca*) vex í austanverðum Bandaríkjunum, en dálítið lengra norður ná smágerðu og súru árbakkaprúgurarnar (*Vitis riparia*). Sú korntegund sem í Vínlandssögum er nefnd sjálfsáið hveiti, og líklegt má telja að sé það sem kallað er villirís (*Zizania aquatica*), nær mjög álíka langt norður og villti vínviðurinn.

En eins og áður er getið er ekki í þessum yfirlitsreikningum tekið tillit til sólskins, úrkomu eða vetrarhita.

HITINN OG SKÓGURINN

Svo örðug og tvísýn sem lífsbarátta íslensku þjóðarinnar hefur verið vegna hafíss og harðinda, hefur þó skógunum reynst ennþá erfiðara að halda velli í mislyndu loftslagi. Það varð líka oft fangaráð fólksins að brenna og beita birkið til þess að halda lífi, einmitt þegar kuldinn svarf sem mest að öllum gróðri.

Vaxtareiningar Morks

Norski skógfræðingurinn Elias Mork rannsakaði áhrif hitans á skóginum um miðbik þessarar

aldar (Mork, 1968). Tilraunasvæði hans var í fjallaskóginum í Hirkjølen austan fjalls í Noregi, á milli Austurdals og Guðbrandsdals. Hann mældi þar hæðarvöxt rauðgrenis, einmitt þar sem loftslagið er á mörkum þess að skógur þrífist. Þessar athuganir eru því girnilegar til fróðleiks fyrir Íslendinga, og um þær skrifaði Sigurður Blöndal skógræktarstjóri grein í Ársrit Skógræktarfélagins (Sigurður Blöndal, 1953; Páll Bergþórsson, 1970).

Með hugvitssamlegum hætti tókst Mork að láta síritandi mæli lýsa hæðarbreytingum ársprotanna á rauðgreninu yfir allan sólarhringinn. Þær hæðarbreytingar bar hann svo saman við meðalhita sex hlýjustu stunda dagsins. Lengingu sprotans telur Mork í **vaxtareiningum**. Hverja einingu skilgreindi hann sem 1% af fullri lengd árssprotans. Og samhengið við hitann reyndist mjög greinilegt. Það kom í ljós að í 8 stiga hita lengdist sprotinn um eina einingu á sólarhring, 2 einingar í 13,7 stiga hita, 3 einingar í 17 stigum, fjórar í 19,3 stigum og fimm í 21,2 stiga hita. Það er auðséð á þessu að vaxtaraukinn með hverju stigi eykst eftir því sem hlýnar, í samræmi við hugleiðingarnar um hitasældina í byrjun þessarar greinar.

Sá annmarki er á þessari framsetningu á vaxtareiningum Morks að í veðurskýrslum er yfirleitt ekki tilgreindur meðalhiti sex hlýjustu stunda dagsins og þess vegna verður að neyta annarra bragða til að lýsa hitafarinu. En svo vel vill til að hinar ýtarlegu veðurskýrslur Morks frá Hirkjølen árin 1932–1961 vísa veginn í þessu efni. Þær sýna að meðaltal hámarkshita og meðalhita sólarhringsins hefur mjög góða fylgni við meðalhita sex hlýjustu stunda dagsins, og þess vegna má nota þetta meðaltal hámarks- og meðalhita í staðinn sem mælikvarða á vaxtareiningarnar. Það verður hér kallað síðdegishiti, D.

Samhengið milli annars vegar V (meðaltals daglegra vaxtareininga í hverjum sumarmánuði) og hins vegar síðdegishitans D (meðaltals hámarks- og meðalhita sólarhrings í sama mánuði) reynist vera á þessa lund:

$$V=0,135(D-1,6)/(1-D/34,4) \quad (3)$$

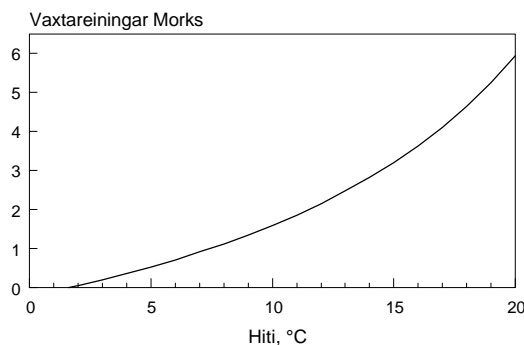
Þetta samhengi vaxtareininga og síðdegis-

hita er sýnt með línuritinu á 3. mynd og ætti að geta átt sæmilega við bæði um einstaka mánuði og langtíma meðaltöl sama mánaðar. Það er mjög líkt línuritinu á 1. mynd sem var þó fengið á allt öðrum forsendum. Samkvæmt þessu byrjar vöxtur þó ekki við frostmark, heldur í hitanum 1,6, en sá munur er eðlilegur því að hér er ekki miðað við meðalhita sólarhringsins heldur síðdegishitann. Ásamt annarri vitneskju er þetta því staðfesting þess að vaxtarauki plantna fyrir hverja gráðu fer yfirleitt vaxandi með hitanum og þess verður að gæta þegar gróður er metinn eftir hitafari.

Eins og áður er getið mundi þetta tölulega samhengi verða annað ef reiknað væri með daglegum hita en ekki mánaðarhita eins og hér er gert. Þetta stafar af ólínulegu samhengi hita og vaxtar.

Síðdegishiti og trjágróður

Vissulega sýna þessar rannsóknir að lengingu árssprota á rauðgreni má tákna með síðdegishitanum. En rökin fyrir því að nota síðdegishitann fremur en meðalhita sólarhrings í þessu skyni þarf þó að athuga betur. Kolsýrunámið, tillífunin, fer aðeins fram í dagsbirtu. Lenging árssprotans mældist þó yfirleitt ekki að deginum, heldur á kvöldin og á nóttunni, en það skýrði Mork með því að það tæki næringarefni



3. mynd. Vaxtareiningar Morks, mánaðarmeðaltöl í samanburði við meðalsíðdegishita mánaðarins (meðaltal hámarkshita og meðalhita). Formáli (3). *Figure 3.* Mork's growth units (Eq. 3), monthly sums as a function of the monthly mean of daily maximum and mean temperature.

1. tafla. Árlegar vaxtareiningar við skógarmörk 1932–1961.

Table 1. Annual growth units at forest limits 1932–1961.

| | |
|---|-----|
| Skógarmörk rauðgrenis <i>Forest limits of Norwegian spruce</i> | 300 |
| Trjámörk rauðgrenis <i>Tree limits of Norwegian spruce</i> | 287 |
| Skógarmörk birkis <i>Forest limits of birch</i> | 267 |

allmarga klukkutíma að berast til vaxtarbroddanna frá barnálfunum sem vinna koltvísýringinn úr loftinu. Einnig má benda á að árssprotinn tapar nokkru vatni í uppgufun að deginum vegna sólskins og hita en dregur aftur til sín vatn þegar kólnar með kvöldinu og fram á morgun, og við það má ætla að hann lengist. Þessar röksemdir hníga að því að það sé dagshitinn sem skiptir langmestu máli og ekki beri að taka verulegt tillit til næturhitans þegar vöxtur er metinn. Meira að segja getur verið æskilegt frá vissu sjónarmiði að fremur svalt sé að nóttunni því að þá verður öndunin hægari og minni bruninn sem fylgir henni, en hann verður á kostnað vaxtarins. Hér þarf þó að hafa þann fyrirvara að ekki komi næturfrost.

Vaxtareiningar við skógarmörk

Mork notaði vaxtareiningarnar í meðalári á hverjum stað til þess að meta hvaða skógargróður gæti þrífist þar, þó einungis þær vaxtareiningar sem mældust á tímabilinu frá því að vöxtur hefst á vorin og þar til hann endar að hausti. Athuganir mínar á gögnum frá Hirskjølen benda til þess að með þessu hafi að jafnaði verið sleppt 45 vaxtareiningum sem mælast fyrir og eftir sjálfan vaxtartímann. Ekki er þó óeðlilegt að telja þær með, því að vissan hita þarf til þess að vöxtur geti hafist og eins verða trén að njóta nokkurra hlýinda eftir að vöxtur er hættur til þess að þau geti búið sig undir veturinn. Að auki gerir það alla útreikninga miklu auðveldari að telja með þessar vaxtareiningar sem reiknast fyrir og eftir vaxtartímann. Ef það er gert má setja hitaþörfina fram eins og sýnt er í 1. töflu.

2. tafla. Fjöldi stöðva þar sem birki- eða rauðgreniskógur þrífst, í % af 48 stöðvum.

Table 2. Number of weather stations where birch and Norwegian spruce can grow, in % out of 48 stations.

| | Tímabil— <i>Period</i> | | |
|------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| | 1859–1868 | 1931–1960 | 1951–1980 |
| Birki— <i>Birch</i> | 4 | 60 | 29 |
| Rauðgreni— <i>Norwegian spruce</i> | 0 | 27 | 8 |

Með þessu skýrir Mork beltaskiptinguna í norskum fjallaskógum þar sem efst er birki eingöngu. Neðarlega í birkibeltinu koma fyrir strjál rauðgrenitré en verða síðan þéttari og loks allsráðandi þegar neðar dregur.

Til skýringar verður að geta þess að skógar-mörk telur Mork vera þar sem trén eru orðin svo strjál að milli þeirra eru að jafnaði 30 metrar og hæð þeirra er ekki meiri en 3 metrar. Trjá-mörk teljast þar sem hæð hinna strjálu trjáa verður 2 metrar eða minni.

Vaxtareiningar á Íslandi

Á 48 íslenskum veðurstöðvum hefur verið athugað (Páll Bergþórsson, 1988) hvað árlegar vaxtareiningar Morks teldust margar á nokkrum misheitum mælingaskeiðum. Ekki eru til hitamælingar frá öllum þessum tímabilum nema frá Stykkishólmi. Úr því var bætt með því að nota hitann árin 1951–1980 sem grunn og meta frávik frá honum á stöðvunum á öðrum tímaskeiðum með hliðsjón af hitanum í Stykkishólmi.

Með þessu móti var metið hvað birki og rauðgreni hefði getað þrífist á mörgum stöðvum á þessum tímabilum, reiknað í hundradshlutum af öllum stöðvum (2. tafla).

Það er aðeins á 4 af hverjum 100 stöðvum sem birkiskógur hefði átt að geta þrífist á kalda áratugnum 1859–1868, köldustu 10 samfelldum árum sem mælst hafa í Stykkishólmi. Ef gert er ráð fyrir að þessar 48 stöðvar gefi sæmlega hugmynd um loftslagið á þeim fjórðungi landsins sem hlýjastur er má ætla að þá hafi ekki verið skilyrði fyrir birkiskóg nema á einum hundradshluta af yfirborði landsins, nálægt 100 000 hektörum.

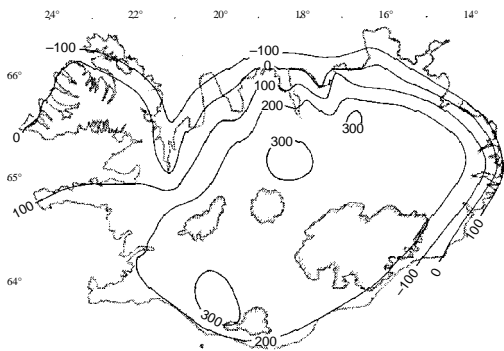
Af þessu má nú reyna að draga ályktanir. Vissulega er varla vafi á því að skógur sem einu sinni er búinn að nema land geti haldist við í talsverðan tíma í loftslagi sem annars væri honum óviðunandi til mikillar lengdar og ófullnægjandi til þess að hann endurnýjaði sig. En á móti því kemur að samtímis slíkum kuldatímabilum hefur verið gengið miklu nær skóginum en ella, og það segir sig sjálft að harðindum fylgir jafnan grasbrestur er leiddi til þess að beitarálag á skóglendin jókst að sama skapi (Snorri Sigurðsson, 1977). Meðan rauðablástur tíðkaðist fyrr á öldum telur Þórarinn Þórarinsson að 1000 hektara skógur hafi verið felldur á hverju ári (Þórarinn Þórarinsson, 1944). Það er því ekki fjærri lagi að álykta að í langvinnum harðindum hafi skóglendi minnkað í eins miklum mæli og hitaskilyrðin versnuðu og þess vegna komist niður í 1% af yfirborði landsins þegar kaldast var. Aftur á móti er víst að skógurinn mun ekki hafa breiðst út að sama skapi þegar aftur hlýnaði (Páll Bergþórsson, 1986) því að eyðing skógar kælir loftslagið um svo sem hálfa hitagráðu, og á móti útbreiðslunni vinnur ágangurinn á þessa litlu skóga. Þess vegna þarf ekki að vera að sú mikla hlýnun sem hefur orðið með köflum á 20. öld hafi fært birkið út að nokkru ráði, enda var á því skeiði fleira sauðfé en nokkru sinni á síðustu öldum. Eftir þessu að dæma má ímynda sér að nú séu skógarnir ekki miklu víðáttumeiri en þeir höfðu skilyrði til að vera á sjöunda áratug nítjándu aldar, sem sagt um 100 000 hektarar.

Sú er heldur ekki raunin. Á árunum 1972–1975 var könnuð útbreiðsla og ástand birkigróðurs í landinu. Þá kom í ljós að skóg- og jarrlendi taldist rúmlega 125 000 hektarar

(Snorri Sigurðsson, 1977). Það er eftirtektarvert hvað þetta er líkt útkomunni úr þeim útreikningum sem hér var lýst, en vel má þó vera að hér ráði tilviljun að einhverju leyti.

Skógar á landnámsöld

Hvað má svo hugsa sér að skógar hafi verið víðáttumiklir á landnámsöld? Hér er stórt spurt en ýmsir hafa þó reynt að svara og jafnvel talað um 30–40 þúsund ferkílómetra, en lægsta áætlunin mun vera 18 þúsund ferkílómetrar (Sturla Friðriksson, 1973). Ólíklegt verður að telja að loftslag hafi þá að jafnaði verið hlýrra en það var á árunum 1931–1960, en hins vegar má ætla að á landnámsöld hafi skógurinn verið í sæmilegu jafnvægi við loftslagið eftir árþúsunda friðun. Samkvæmt 2. töflu hér á undan gætu þá verið skilyrði fyrir birkiskóga á um 60% veðurstöðva. Miðað við að stöðvarnar séu dreifðar yfir byggðirnar og að þær dreifist um hlýjasta fjórðung landsins má túlka þetta svo að 15 000 ferkílómetrar hafi getað verið vaxnir eiginlegum birkiskógi fyrst á landnámsöld, og þó minna sem því nemur að sandar og mýrar á láglendi eru hér talin með. Þessu til viðbótar kemur svo allvíðáttumikið kjarr, enda segir Arngrímur ábóti Jónsson í Íslandslýsingu í Guðmundar sögu hinni yngstu sem var skrifuð um



4. mynd. Áætlun hæðarmörk birkiskógar yfir sjávarmál eftir hitafari 1931–1960. Birkikjarr nær hærra, en rauðgreniskógur um 100 metrum lægra. *Figure 1. Estimated height limits of birch forests above sea level, based on mean temperature 1931–1960. The height limits of low growing birch are higher. For Norwegian spruce subtract 100 m.*

miðja 14.öld: „Skógur er þar engi utan björk og þó lítills vaxtar.“ Þessi lauslega áætlun sem eingöngu er byggð á hitaskilyrðum getur vel rímað við þau ummæli Ara fróða að á landnámsöld hafi Ísland verið við vaxið milli fjalls og fjöru. Á 4. mynd er birt kort sem á að sýna hvað birki og rauðgreni hefði átt að ná mikilli hæð yfir sjó á hverjum stað á árunum 1931–1960, ef skógurinn hefði verið í jafnvægi við loftslagið (Páll Bergþórsson, 1986).

Niðurstaðan er sú að vaxtareiningar Morks séu athyglisverður mælikvarði á skógræktarskilyrði. Hins vegar er loftslagið á Íslandi mjög nærri þeim mörkum sem þarf til þess að jafnvel birki geti þrífist og auk þess er loftslagið ákaflega breytilegt í tímans rás. Eftir því verða menn að haga sér og velja svæði til skógræktar með hliðsjón af því.

HITI OG HEYFENGUR

Breytileiki heyfengsins hefur löngum verið eitt helsta vandamál íslenskra bænda. Áraskiptin voru mikil en þau voru þó ekki það versta. Hættulegri var sá mikli munur sem gat verið á heyfeng áratuganna og jafnvel aldanna, því að við svo langvinnum harðindum var ekki hægt að sjá með fyrningum án þess að fækka búfé. Höfundi þessarar greinar hefur því löngum verið hugstætt hvernig hægt sé að greina tölulega orsakir þessa mikla breytileika. Snemma bárust böndin að lofthitanum (Páll Bergþórsson, 1966). Um áhrif veðurfars á gróður hefur Sturla Friðriksson margt ritað (Sturla Friðriksson, 1969, 1973).

Á Íslandi eru til merkilegar búnaðarskýrslur allt frá síðustu aldamótum. Af þeim má ráða heyfenginn og túnastærðina, en auk þess áburðarnotkun. Við þetta bætast góðar veðurskýrslur, en samfelldastar og áreiðanlegastar eru þær frá Stykkishólmi. Sú stöð er svo vel sett að hitinn er þar mjög nærri meðallagi á öllu landinu. Vissulega þarf að leiðrétta ýmislegt í þessum gögnum, svo sem vegna mismunandi stærðar heyhestsins (Páll Bergþórsson, 1976). En allt um það sýnist mega draga af þessum heimildum allöruggar ályktanir um áhrif hitafarsins á heyfenginn.

Það ráð hefur verið tekið að nota meðalhita sumars og vetrar ásamt áburðinum sem ein-kennisþætti fyrir hefynginn. Meðalhiti vetrarins (apríl–október) í Stykkishólmi er frá -3 upp í $+3$ stig, en meðalhiti sumarsins (maí–september) frá 6 upp í 10 stig. Á þessu stutta bili hitans er hægt að gera ráð fyrir að línuritið sem sýnir sprettuna eftir hitanum sé nærri bein lína en sveigi ekki upp á við svo teljandi sé eftir því sem hitinn hækkar.

Til að gera langa sögu stutta skal hér lýst formála sem á að segja til um töðufenginn á ári, H , talinn í kg á hektara:

$$H = (0,29 + 0,0729S + 0,0794W) \times (1820 + 28,1N - 0,051N^2) \quad (4)$$

þar sem S er meðalhitinn í Stykkishólmi í maí–september, en W er meðalhitinn í Stykkishólmi í október–apríl og N er meðaltal köfnunarefnis-áburðar á hektara á landinu, talið í kg á hektara, samanlagt í búfjáráburði og tilbúnum áburði. Gögnin sem formálinn er byggður á eru frá árunum 1901–1975 (Páll Bergþórsson, 1988).

Þessi formáli er fundinn með aðferð minnstu kvadrata. Fyrst voru allar uppskerutölur leiðréttar nokkurn veginn vegna áburðarins og síðan var leitað að stuðlunum í fyrri sviganum með venjulegu aðhvarfi. Þá var uppskeran leiðrétt vegna hitans og leitað að stuðlum í seinni sviganum. Þannig var haldið áfram á víxl þar til stuðlarnir hættu að breytast.

Það er fyrri sviginn sem lýsir þætti hitans í uppskerunni. Margir munu verða hissa á því að vetrarhitinn skuli eiga þarna heldur ríkari þátt en sumarhitinn, þar sem stuðull vetrarhitans $0,0794$ er ívið hærri en $0,0729$. En ekki er öll sagan sögð með því. Auk þessa er breytileiki vetrarhitans frá ári til árs nærri helmingi meiri en breytileiki sumarhitans. Það er heldur ekki óeðlilegt að reikna þurfi með verulegum áhrifum vetrarkulda á grasið sem stundum tortímist af kali á stórum svæðum, ólíkt því sem gerist til dæmis með trjágróðurinn. Eins og síðar verður rakið má nota þessa vitneskju um áhrif vetrarhita til að spá með allgóðri vissu um töðufeng sumarsins strax í apríllok.

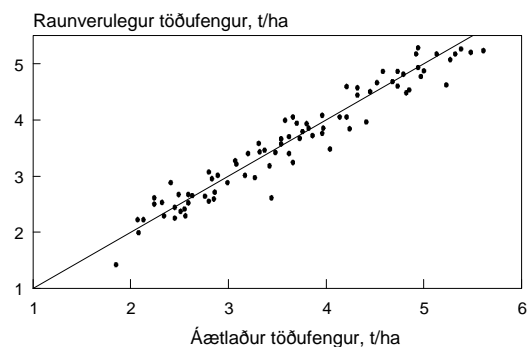
Síðari sviginn lýsir þætti áburðarins í töðu-

fallinu. Eingöngu er farið eftir köfnunarefninu, með öðrum orðum reiknað með að skortur á öðrum áburðarefnum, svo sem fosfór og kalí, sé ekki takmarkandi fyrir sprettuna svo teljandi sé. Þessi forsenda stóðst að minnsta kosti vel meðan eingöngu var notaður búfjáráburður og að líkindum einnig lengstaf á síðari áratugum.

Sú niðurstaða sem hér hefur fengist þarf ekki að vera tölulega sú sama og fæst til dæmis með því að bera saman lofthita og uppskeru á tilraunastöðvum þar sem breytileiki í tilraunum er áhrifamikill þáttur. Í meginatriðum er þó allgott samræmi milli þessara rannsókna (Hólmgeir Björnsson og Áslaug Helgadóttir, 1988).

Fylgni töðufengs og áætlunar

Á 5. mynd má sjá samhengið milli áætlaðs og raunverulegs töðufengs á árunum 1901–1975, sem hér er talinn í tonnum á hektara. Þó að punktarnir dreifist nokkuð reynist fylgnin $0,97$ og staðalfrávikin 240 kg/ha. Til frekari staðfestingar hefur fylgnin líka verið reiknuð fyrir fyrri og síðari hluta tímabilsins. Hún reyndist $0,89$ árin 1901–1940 en $0,93$ árin 1941–1975. Það er líka mikilvægt frá tölfræðilegu sjónarmiði að prófa formálann á tímabili sem ekki var notað til þess að finna hann. Sú prófun fæst á árunum 1976–1983 en þá reynist fylgnin $0,94$.



5. mynd. Árlegur meðaltöðufengur á landinu árin 1901–1975 í samanburði við áætlaðan töðufeng eftir formála (4). Fylgnin er $0,97$, sjá texta.

Figure 5. Annual hay yield per hectare from cultivated fields, as a function of the estimated yield obtained with Eq. 4. The correlation coefficient is $0,97$.

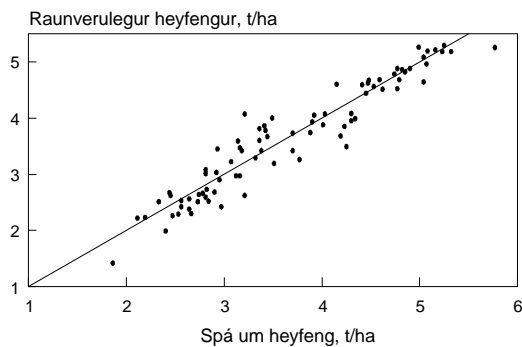
Spár um töðufeng

Hér á undan var sýnt fram á að töðufall er mjög háð hita sumars og vetrar. Þetta gerir þó ekki kleift að áætla töðufenginn eftir hita fyrir en slætti er lokið. Miklu þýðingarmeira er að geta spáð um hefyfenginn strax að vorinu, því að þá er enn ráðrúm til að leggja kapp á að auka sprettuna ef þess sýnist þurfa, og eins er þá hægt að spara sér áburðarkaup að einhverju leyti ef vel horfir um heyskapinn eða fyrningar eru ríf leggar. Þetta er einmitt mögulegt vegna þess hvað vetrarhitinn er áhrifamikill um sprettuna, eins og áður kom fram.

Ef vetrarhitinn einn er notaður á tímabilið 1901–1975, fæst:

$$H = (0,876 + 0,0892W) \times (1820 + 28,1 - 0,051N^2) \quad (5)$$

Samhengið kemur fram á línuritinu á 6. mynd. Fylgnin milli áætlaðs hefyfengs og þess raunverulega reynist 0,96 fyrir allt tímabilið 1901–1975, 0,84 árin 1901–1940 og 0,92 árin 1941–1975. Árin 1976–1983 sem ekki voru höfð með í rannsókninni skila fylgninni 0,91. Það hefur mikla hagnýta þýðingu að slík spá um hefyfeng í apríllok skuli ekki vera miklu lakari en matið sem hægt er að gera í sláttulok þegar kunnugt er orðið um sumarhitann.



6. mynd. Árlegur meðaltöðufengur á landinu árin 1901–1975 í samanburði við árlega spá sem gerð væri í lok apríl eftir formála (5). Fylgnin er 0,96, sjá texta.

Figure 6. Annual hay yield per hectare from cultivated fields, as a function of a forecast carried out by the end of April, based on Eq. 5. The correlation coefficient is 0,96.

Lofthiti og kal

Eins og kunnugt er getur kal í tünnum valdið miklu um hefyfeng. Rit sem markaði tímamót í íslenskum kalrannsóknnum (Sturla Friðriksson, 1954) greindi frá rannsóknnum Sturlu á kali túna árin 1951 og 1952 á 130 bæjum sunnan- og norðanlands. Þar greinir hann kalskemmdirnar ýtarlega eftir landshlutum, halla á tünnum, jarðvegi og ræktunaraðferðum. Þá rannsakar hann þol grastegunda gagnvart kali og bendir á hvaða ráðum sé helst að beita gegn þessum vágesti. En þrátt fyrir þau mörgu sjónarmið sem fjallað er um í riti Sturlu vekur athygli sú niðurstaða hans að kal orsakist af kaldri og óhagstæðri veðráttu vetrar- og vormánuðina og því muni aldrei hægt að umflýja það með öllu.

Það sýnist því ekki fjarri lagi að leita að samhengi milli veðráttunnar og kalskemmdanna. Það hefur Bjarni Guðleifsson meðal annarra gert (Bjarni Guðleifsson, 1975). Höfundur þessarar greinar gerði árið 1972 tilraun að meta tölulega áhrif hitans á kalið (Páll Bergþórs-son, 1972). Í því skyni lá vel við að styðjast við tölulega kortlagningu þýsks vísindamanns, Heinz Ellenberg, sem ferðaðist með nokkrum aðstoðarmönnum um mikinn hluta af byggðum landsins árið 1970 og safnaði upplýsingum frá bændum um kalskemmdirnar árið áður, 1969, en það var eitt mesta kalár á síðustu áratugum. Ellenberg var hér á vegum Gísla Sigurbjörns-sonar forstjóra sem var óþreytandi að fá erlenda menn til rannsókna á náttúru landsins (Ellenberg og Ellenberg, 1971).

Ellenberg skipti þeim svæðum sem hann rannsakaði í fimm flokka, eins og hér segir:

1. flokkur Ekkert kal.
2. flokkur Vægt kal.
3. flokkur Nokkurt kal.
4. flokkur Talsvert kal.
5. flokkur Mikið kal.

Höfundur þessarar greinar hefur athugað hitafarið sem hafði verið um veturinn og sumarið 1969 á 46 veðurstöðvum sem voru á rannsóknarsvæði Ellenbergs, en það var mestur hluti landsins nema Suðausturland. Fundin var sprettuvísitala á öllum þessum stöðvum eftir

3. tafla. Sprettuvísitala og flokkun kalskemmda.
Table 3. Temperature index and winter kill.

| Vísitala <i>Temperature index</i> | Kalskemmdir— <i>Winter kill</i> | | | | | Meðal- skemmdir <i>Average winter kill</i> |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|--|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | Fjöldi stöðva <i>No. of stations</i> | | | | | |
| 0,83–1,07 | 3 | 7 | 2 | 2 | 1 | 2,4 |
| 0,70–0,82 | 0 | 3 | 5 | 5 | 2 | 3,4 |
| 0,52–0,69 | 0 | 0 | 3 | 6 | 7 | 4,3 |

fyrsta lið formála (4), og síðan var hún borin saman við kalflokkun Ellenbergs á svæði hveftrar stöðvar. Þá kom í ljós allgott samræmi milli sprettuvísitölunnar og kalskemmdanna, eins og 3. tafla sýnir. Þess er þó að geta að einstök tún á hverju kalsvæði voru talsvert misjafnlega illa farin, eins og eðlilegt má telja þegar höfð er í huga rannsókn Sturlu Friðrikssonar.

Það er augljóst af þessu að kal er að jafnaði því meira sem sumarið og undanfarandi vetur eru kaldari á veðurstöðvunum, með öðrum orðum eftir því hver sprettuvísitalan er.

Önnur aðferð til að meta samhengi kalskemmda og hitafars er sú að kanna hvaða ár getið er um kal á landinu í Veðráttunni, tímariti Veðurstofunnar, og bera þá vitneskju saman við hitafar ársins. Í 4. töflu er sýnd niðurstaðan af þessari könnun á árunum 1951–1972. Árunum er skipt í þrjá flokka eftir sprettuvísitölunni í Stykkishólmi.

Hér er hrein skipting þannig að alltaf er kal köldustu árin en aldrei hlýjustu árin, með aðeins einni undantekningu.

Til þess að meta áhrif af kali á hefyng stórra svæða er sprettuvísitalan því gagnlegur mælikvarði, en innan þeirra svæða má þó ætla að kalið ráðist einnig mjög af staðbundnum aðstæðum, svo sem grastegundum, halla lands og ræktunaraðferðum.

Tilraun að jafna hefyng milli ára og áratuga

Frá árinu 1977 var gerð tilraun á Hvanneyri (nr. 437-77) til þess að kanna hvort hægt væri

4. tafla. Sprettuvísitala og fjöldi kalára 1951–1972.
Table 4. Growth index and number of years with winter kill.

| Sprettuvísitala <i>Growth index</i> | Kalár <i>No. of years with winter kill</i> | Ekki kalár <i>No. of years with no winter kill</i> |
|--|---|---|
| Köldustu 7 ár <i>Coldest 7 years</i> | 6 | 1 |
| Miðlungsköld 8 ár <i>Medium 8 years</i> | 4 | 4 |
| Hlýjustu 7 ár <i>Warmest 7 years</i> | 0 | 7 |

að jafna hefyng milli ára og áratuga með því að haga áburði eftir vetrarhita (október–apríl) í Stykkishólmi (Páll Bergþórsson, 1991). Hér verður athuguð niðurstaða 15 ára tímabils, 1977–1991.

Á viðmiðunarlið b í tilrauninni voru ávallt borin 30 kg af fosfór og 80 kg af kalí, en 100 kg af köfnunarefni. Allt var þetta tilbúinn áburður. Á g-lið var hins vegar borið mismunandi mikið eftir vetrarhita, og var þá miðað við þau áhrif sem áburður virtist hafa haft á tünnum landsmanna áður á þessari öld en einnig tekið tillit til jarðvegs á Hvanneyri. Áburðurinn á g-lið var eins og sýnt er í 5. töflu, því meiri sem vetur hafði verið kaldari, allt tilbúinn áburður.

Rétt er að taka enn fram að þessi áburðarhlutföll eru sniðin að staðbundnum jarðvegi á Hvanneyri. Niðurstöður af jarðræktartilraunum á tilraunastöðvum benda hins vegar til þess að víðast megi þar komast af með mun minni fosfór og kalí í hlutfalli við köfnunarefnið.

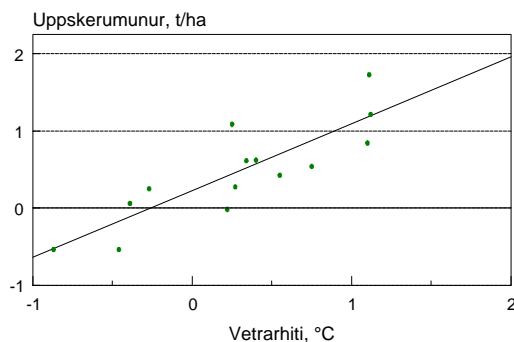
Til þess var ætlast að uppskeran af g-lið væri nokkurn veginn óháð vetrarhita. Hins vegar átti spretta á b-liðnum að vaxa með hita, helst um 13% fyrir hverja gráðu vetrarhita í Stykkishólmi eins og reynsla 75 ára á tünnum landsmanna benti til allt frá aldamótum. Munurinn á b-lið og g-lið tilraunarinnar átti því að verða því meiri sem vetrarhitinn var hærri, en meðaláburður köfnunarefnis var svipaður á þessum liðum, munaði aðeins 8 kg/ha. Það gekk eftir, og deplarnir raða sér allvel að beinni línu (7. mynd)

5. tafla. Áburður á g-lið í tilraun 473-77 á Hvanneyri, eftir vetrarhita í Stykkishólmi (október–apríl).
Table 5. Fertilizer applied in accordance with winter temperature at Stykkishólmur (October–April), in experiment 473-77 at Hvanneyri.

| Hiti Temperature | N | P | K |
|---------------------|-----|----|----|
| 1,5 | 71 | 30 | 66 |
| 1,0 | 77 | 30 | 68 |
| 0,5 | 85 | 30 | 72 |
| 0,0 | 96 | 30 | 78 |
| -0,5 | 111 | 30 | 86 |
| -1,0 | 132 | 30 | 96 |

svo að fylgnin reiknast 0,83, en væri 1,00 ef samræmið væri algert. Þetta er sæmilega marktæk niðurstaða. Aukning þessa uppskerumunar reiknast um 13,6% af meðaluppskeru b- og g-liðar fyrir hverja gráðu í vetrarhitinum.

Þetta þýðir að með breytilegum áburði eftir vetrarhita gæti hefyngur orðið því sem næst



7. mynd. Teikningin sýnir hvernig uppskerumunur á b-lið og g-lið fór eftir vetrarhita í 14 ára tilraun á Hvanneyri árin 1977–1990. Á b-lið var alltaf borið jafn mikið, en á g-lið var borið því meira sem vetur hafði verið kaldari.

Figure 7. The result of a 14-year experiment at Hvanneyri, showing the difference between the yield obtained with constant amount of fertilizer and the yield obtained with variable amount of fertilizer according to winter temperature at Stykkishólmur. The regression line corresponds to approximately 14% per one degree, while a rise of 13% was expected judging from the experience of hay yield in the period 1901–1975.

sá sami á köldum áratugum og hlýjum. Þá gætu bændur haldið óbreyttum bústofni í langvinnum harðærum en sparað áburð í langvarandi góðærum, og séð við einstökum harðærum með fyrningum eða jafnvel fóðurbæti.

Sú spurning kann að vakna hvort skertur áburður eftir hlýja vetur leiði til þess að gæðum uppskerunnar hraki. Efnagreiningar á prótínhlutfalli heysins benda ekki til þess. Í g-lið tilraunarinnar þar sem breytilegur áburður var viðhafður var prótínhlutfallið 12,7% að jafnaði eftir sjö hlýjstu veturna þegar minnst var borið á, en 12,6% að meðaltali eftir átta köldustu veturna þegar mestur áburður var notaður. Áþekk var niðurstaðan í b-lið sem fékk sama áburð hvort sem vetur hafði verið mildur eða kaldur. Þar var prótínhlutfallið að meðaltali 13,1% eftir sjö mildustu vetur, en 12,9% eftir átta köldustu veturna.

Þess ber að geta að í þessari tilraun var líka reynt að nota búfjáraður og breytilegan tilbúinn áburð til viðbótar til að jafna hefynginn. Óþarflega mikill búfjáraður og mjög vaxandi áhrif hans með árunum ollu því aðallega að sú tilraun bar ekki tilætlaðan árangur. En sú merkilega vísending fékkst þó að sennilega tekur það mjög langan tíma, jafnvel 15 ár, að búfjáraðurur nái að sýna hvað í honum býr og hafa full áhrif á sprettuna (Ríkarð Brynjólfsson, 1992). Því væri æskilegt að endurtaka þessa tilraun með raunsæri forsendum, og víðar en á Hvanneyri. Hér er um það að ræða að finna ráð við einhverjum alvarlegustu áhrifum veðurfars á íslenskan landbúnað fyrir og síðar: óviðráðanlegri skerðingu bústofnsins í langvinnum harðæraköflum.

ÁHRIF HITANS Á ÞROSKUN GRASA

Þó að fyrir því sé engin víska verður hér gert ráð fyrir að þroskunarhraði grasanna sé óháður vetrarhitinum og fari að mestu eftir veðurskilyrðum vors og sumars (Páll Bergþórsson, 1987a), en með því er ekki sagt að það sama gildi um magn hefyngs. Sú reynsla sem hér er vitnað í bendir til að þetta muni ekki fjærri lagi.

Fyrsti vorgróður getur ekki byrjað fyrir en

6. tafla. Hitamunur í 5 og 200 sm hæð yfir jörðu.*Table 6. Difference in temperature at 5 and 200 cm above ground.*

| Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | Maí | Jún. | Júl. | Ágú. | Sep. | Okt. | Nóv. | Des. |
|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| -2,0 | -1,5 | -0,6 | 0,4 | 1,3 | 1,9 | 2,0 | 1,5 | 0,6 | -0,4 | -1,3 | -1,9 |

hlýindi hafa staðið um sinn, fyrst til þess að leysa snjóinn og síðan til að þíða jarðveginn að vissu marki. Enn meiri yl þarf til þess að heppilegt sé að byrja að bera á túnin. Það verður mjög í sama mund að túnin verða algræn og heppilegt þykir að setja niður kartöflur. Mun meira hitamagn þarf til þess að grösin fari að skriða, fyrst túnvingull, síðan snarrót og þá vallafoxgras, og að svo búnu má ekki bíða með sláttinn ef heygæðin eiga að verða í fyrsta flokki.

Hvar á að mæla hitann?

Einn er sá munur á grasi og trjágróðri að vaxtarbroddar grasanna eru niðri á jörðu, þar sem oftast, en þó ekki alltaf, er hlýrra en á laufum trjáanna þar sem tillífun þeirra á sér stað, og að þessu þarf að gefa gaum.

Á veðurstöðvunum er hiti mældur í tveggja metra hæð ef annars er ekki getið. Ýmsir fræðimenn hafa þó sýnt fram á að meira sé að marka þann hita sem mælist rétt við vaxtarbrodda gróðursins, en hann getur verið talsvert frábrugðinn hitanum í venjulegri mælingahæð. Ef um grasvöxt er að ræða ætti því að nota hitann sem næst gróðurþekjunni.

Þær mælingar sem hafa verið gerðar hér á landi neðan við tveggja metra mælingahæð eru fáar, en þær sýna ótvírætt að við jörð er hlýrra en í tveggja metra hæð að sumrinu, en kaldara að vetrinum. Í 6. töflu er sett fram leiðrétting á mælda hitanum. Ætla má að með þessari leiðréttingu fáiast sæmileg hugmynd um hitann í hér um bil fimm sentímetra hæð yfir grasinu, en leiðréttingin er byggð á úrvinnslu höfundar úr mælingum á fjórum veðurstöðvum á tveggja ára bili (Veðráttan, 1973, 1974). Það er ekki lítils vert fyrir grasið að fá um tveggja stiga ábót á opinberar hitamælingar í júní og júlí, eins og taflan sýnir.

7. tafla. Sólargangur, hlutfall af sólarhringnum.*Table 7. Hours of daylight, as a proportion of 24 hours.*

| | Breidd, gráður— <i>Latitude, degrees</i> | | | |
|-----------|--|------|------|------|
| | 63,5 | 64,5 | 65,5 | 66,5 |
| Janúar | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,15 |
| Febrúar | 0,35 | 0,34 | 0,33 | 0,32 |
| Mars | 0,47 | 0,47 | 0,47 | 0,47 |
| Apríl | 0,61 | 0,62 | 0,62 | 0,63 |
| Maí | 0,74 | 0,75 | 0,77 | 0,78 |
| Júní | 0,83 | 0,86 | 0,89 | 0,95 |
| Júlí | 0,79 | 0,81 | 0,84 | 0,87 |
| Ágúst | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 |
| September | 0,54 | 0,54 | 0,54 | 0,54 |
| Október | 0,41 | 0,40 | 0,40 | 0,39 |
| Nóvember | 0,27 | 0,26 | 0,24 | 0,23 |
| Desember | 0,17 | 0,14 | 0,11 | 0,05 |

Áhrif hita og sólargangs – þroskatala dagsins

Ýmsar jurtir upprunnar á norðlægum slóðum hafa lagað sig þannig eftir aðstæðum að þær taka meiri framförum, þroskast hraðar, þegar dagur er langur að öðru jöfnu. Þar með er þó ekki sagt að vöxtur þeirra sé endilega meiri, og vissulega gildir ekki það sama um allar plöntur í þessu tilliti. Samt sýnist ómaksins vert að gera þá tilraun að taka þessi áhrif sólargangs á þroska grasanna á einfaldan hátt með í reikninginn. Með þessu fæst meðal annars betra samræmi en ella milli þess hvað snemma er hægt að byrja slátt á Norðurlandi og Suðurlandi.

Í 7. töflu er sýnt hlutfall daglengdar af sólarhringnum fyrir mismunandi árstíma og breiddargráður á landinu.

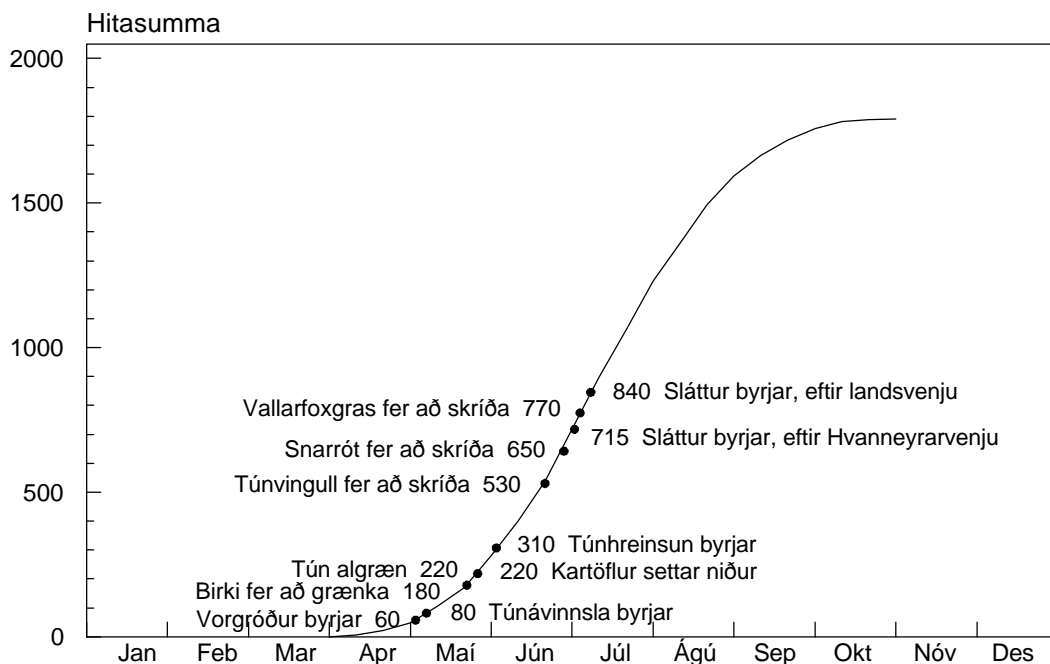
Til að finna þroskatölu hvers dags, dagleg áhrif hitans og sólargangsins á þroska grasanna, er nú farið að eins og hér segir.

Fyrst er meðalhiti dagsins leiðréttur eftir 6. töflu til þess að finna hitann í fimm sentímetra hæð, rétt fyrir ofan gróðurþekjuna. Síðan er formálinn (2) hér á undan notaður til að finna vöxtinn. Útkoman er svo margfölduð með hlutfalli daglengdar á þeim stað og tíma sem um er að ræða, samkvæmt 7. töflu. Þar með er þroskatala dagsins fundin. Þroskatalan er sett fram í óskilgreindum einingum, enda er ætlunin aðeins að finna af reynslunni hvað hún er hvenær sem grösin hafa náð tilteknum þroska.

Útreikningur þroskatölu fer nú þannig fram að um leið og leiðréttur meðalhiti dagsins vegna hæðar yfir jörð kemst upp fyrir frostmarkið er skráð þroskatala dagsins, síðan er þroskatölu næsta dags bætt við og þannig koll af kalli fram eftir sumri. Ef frostakafli gerir verða þroskatölnar neikvæðar og dragast frá summunni sem komin var, allt þar til hún er komin niður í núllið. Þá er dokað við þar til aftur fer að hlána og byrjað að safna á nýjan leik.

Dæmi um árangurinn af þessu má sjá á teikningunni á 8. mynd. Hún á við meðalárið á Hvanneyri á árunum 1846–1985. Þar byrjar að safnast í summuna snemma í apríl, hægt í fyrstu, en svo með vaxandi hraða, og hækkunin er örust snemma í júlí.

Á teikninguna er bætt upplýsingum um ýmsa búnaðarhætti, en snemma á árum Veðurstofunnar var farið að skrá ýmsa af þessum atburðum í búskapnum og náttúrunni. Þær skýrslur eru einna ýtarlegastar frá árunum 1925–1945. Með því að kanna hitafarið á þeim tíma er hægt að sjá hvert er sambandi þess við búnaðarhættina (8. tafla). Þroskatalan er eftir því komin í 60 þegar vorgróður byrjar, og síðan fylgir hvað af öðru, túnávinnsla byrjar, kartöflur eru settar niður, túnhreinsun byrjar og túnasláttur hefst. Allt hefur þetta sinn tíma og sína þroskatölu. Og í 9. töflu eru ýmsir atburðir í náttúrunni skrásettir á sama hátt í samræmi við hitafarið samkvæmt meðaltölum frá Hvanneyri á árunum 1978–1985.



8. mynd. Þroskatölusumma á Hvanneyri, meðaltal árunum 1846–1985, sjá texta, ásamt áætluðum dagsetningum gróðurfars og búnaðarhátta.

Figure 8. The annual estimated cumulative ripeness index in the period 1846–1985, with mean dates of some stages in plant growth and agricultural events, see Tables 8 and 9.

8. tafla. Þroskatala eftir gróðurfari og búnaðarháttum.

Table 8. Computed ripeness index in relation to seasonal agricultural events and plant growth in Iceland.

| Gróðurfar og búnaðarhættir <i>Agricultural events and plant growth</i> | Þroskatala <i>Ripeness index</i> |
|---|-------------------------------------|
| Vorgróður byrjar <i>Growth visible</i> | 60 |
| Túnávinnsla byrjar <i>Fertilization with manure</i> | 80 |
| Kartöflur settar niður <i>Planting of potatoes</i> | 215 |
| Túnahreinsun byrjar <i>Beginning manure removal</i> | 310 |
| Túnasláttur byrjar <i>Beginning of hay-harvest</i> | 840 |

Þroskatala og grassprettu

Það er nú fróðlegt að bera saman árlegan gang þroskatölunnar og grassprettunnar eins og hún lýsir sér í rannsóknnum Sturlu Friðrikssonar á daglegri grassprettu (Sturla Friðriksson, 1973). Hann heldur því fram að til þess að lýsa betur sprettunni þurfi að gefa vorhitanum aukið vigtargildi miðað við hausthita, en þessi útreikningur þroskatölu hefur einmitt áhrif í þá átt. Í apríl–október í meðalári 1931–1960 reiknast svo til að í Reykjavík sé fylgni grassprettutalna Sturlu og þroskatölunnar 0,70, en 0,57 milli sprettu og lofthita. Þessi útreikningur á þroskanum gefur því fremur ófullkomna endurbót ef litið er á málið á þennan hátt. En þá er þess að gæta að vöxturinn, þyngdaraukningin, er aðeins einn þátturinn í þroskaferli plantanna. Áður en hann byrjar að ráði þarfnast hann undirbúnings í hagstæðum veðurskilyrðum, meðal annars þarf blaðmagn plöntunnar að aukast til þess að tillífun aukist að öðru jöfnu. Og eftir að vexti er að miklu leyti lokið fer oft fram þýðingarmikil umbreyting plöntunnar, til dæmis fræþroskun og söfnun næringarforða í rótum, og til þess þarf veðráttan að vera heppileg. Þess vegna er eðlilegt að útreiknaða þroskatalan sé tiltölulega lægri en gróandi túnanna bendir til þegar

9. tafla. Þroskatala eftir gróðurfari og búnaðarháttum á Hvanneyri.

Table 9. Computed ripeness index in relation to seasonal agricultural events and plant growth at Hvanneyri.

| Gróðurfar og búnaðarhættir <i>Agricultural events and plant growth</i> | Þroskatala <i>Ripeness index</i> |
|---|-------------------------------------|
| Birki fer að grænka <i>First birch leaves</i> | 180 |
| Tún algræn <i>Hay fields green</i> | 220 |
| Kartöflur settar niður <i>Planting of potatoes</i> | 230 |
| Túnvingull skriður <i>Heading of Festuca rubra</i> | 530 |
| Snarrót skriður <i>Heading of Deschampsia caespitosa</i> | 650 |
| Túnasláttur byrjar <i>Beginning of hay-harvest</i> | 715 |
| Vallarfoxgras skriður <i>Heading of Phleum pratense</i> | 770 |

hann stendur sem hæst, en hærri bæði á undan og eftir, og því getur fylgni þessara þátta ekki orðið nema takmörkuð.

Hvenær er hægt að byrja að bera á og slá?

Með því að fylgjast með þroskatölunni á einstökum stöðum á þennan hátt sýnist vera hægt að fá bendingu um hvenær sé ráðlegt að byrja ýmis vorverk og önnur bústörf. Má þar einkum til nefna áburðardreifingu og slátt.

Því miður eru ekki til neinar skýrslur um hvenær byrjað er að dreifa tilbúnum áburði. Þau bústörf sem helst eru sambærileg í 8. töflu eru líklega túnávinnsla. Hún hófst oft með því að mokað var úr áburðarhlössum frá haustinu. Til þess að það væri hægt urðu þau að vera orðin klakalaus. Þegar jörð er orðin svo þíð ætti að mega fara að komast um á léttum vinnuvélum þar sem tún eru þurrust og litkast fyrst á vorin. Samkvæmt skýrslunum hófst ávinnslan þegar þroskatalan er komin í 80 að jafnaði, nokkrum dögum eftir að vorgróður byrjaði. Þá er að minnsta kosti rétt að fara að kanna hvort

10. tafla. Áætluð byrjun áburðardreifingar og sláttar eftir hita á nokkrum veðurstöðvum árin 1846–1985.

Table 10. Estimated beginning of fertilization and hay-harvest based on temperature in the years 1846–1985.

| Veðurstöð <i>Weather station</i> | Áburðar- dreifing <i>Fert- ilization</i> | Sláttur <i>Hay- harvest</i> |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| Vík í Mýrdal | 23. apríl | 26. júní |
| Hólar í Hornafirði | 2. maí | 30. júní |
| Reykjavík | 2. maí | 28. júní |
| Hvanneyri | 8. maí | 1. júlí |
| Hæll í Gnúpverjahreppi | 7. maí | 30. júní |
| Eyvindará, Fljótsdalshéraði | 14. maí | 6. júlí |
| Stykkishólmur | 10. maí | 4. júlí |
| Hólar í Hjaltadal | 15. maí | 8. júlí |
| Akureyri | 11. maí | 1. júlí |
| Sandur í Aðaldal | 17. maí | 8. júlí |
| Suðureyri í Súgandafirði | 12. maí | 4. júlí |
| Hlaðhamar í Hrutafirði | 18. maí | 16. júlí |
| Raufarhöfn | 22. maí | 21. júlí |

ekki sé hægt að byrja áburðardreifingu, en íslenskar tilraunir sýna yfirleitt tiltölulega góðan árangur af áburði sem er dreift snemma á vorin, gjarnan í byrjun maí (Hólmgeir Björnsson og Jónatan Hermannsson, 1987). Fleira þarf þó að taka til greina þegar tími er valinn til að bera á. Áreiðanlega er til dæmis heppilegast að bera á þegar von er á hlýju og raka, að öðru jöfnu. Þá koma veðurspár um nokkra daga vonandi að góðu haldi.

Sláttubyrjun er annar þýðingarmikill áfangi sem þarf að tímasetja vel. Samkvæmt 8. töflu hófst hann að jafnaði á landinu þegar þroskatalan var komin í 840. Hins vegar sýnist svo sem á Hvanneyri sé byrjað að slá nokkru fyrr, þegar þroskatalan stendur í 715. Þetta kemur vel heim við þá stefnu sem búfræðingar hafa haldið að bændum að flýta slætti frá því sem almennt hefur tíðkast svo að fóðurgildi grasanna rýrni sem minnst fyrir slátt. Einkum á þetta við þegar tvíslegið er, en það mun vera algengara á Hvanneyri en gerist til jafnaðar hjá bændum.

11. tafla. Byrjun áburðardreifingar og sláttar á Hvanneyri 1978–1985, áætluð eftir hita.

Table 11. Estimated beginning of fertilization and hay-harvest at Hvanneyri in the years 1978–1985.

| Ár <i>Year</i> | Áburðar- dreifing <i>Fert- ilization</i> | Sláttur <i>Hay- harvest</i> |
|-------------------|--|------------------------------------|
| 1978 | 29. apríl | 3. júlí |
| 1979 | 28. maí | 16. júlí |
| 1980 | 28. apríl | 26. júní |
| 1981 | 30. apríl | 2. júlí |
| 1982 | 3. maí | 30. júní |
| 1983 | 16. maí | 9. júlí |
| 1984 | 30. apríl | 27. júní |
| 1985 | 1. maí | 24. júní |

Í 10. töflu er sett fram hvenær heppilegast sé í meðalári að byrja dreifingu tilbúins áburðar og slátt á nokkrum stöðum á landinu ef farið er eftir þroskatölunni. Ef Veðurstofan eða Rannsóknastofnun landbúnaðarins gefur svo upplýsingar um hvað þroskatala grasanna sé langt á undan eða eftir því sem tíðkast í meðalári samkvæmt hitafarinu gæti það orðið til leiðbeiningar fyrir bændur.

Í 11. töflu má sjá að áraskipti eru mikil að því á Hvanneyri hvenær heppilegt má teljast að byrja að bera á og slá eftir þroskatölunni. Mestu munar á árunum 1979 og 1980. Þess má geta að 5 af þessum 8 árum munaði ekki nema 0–2 dögum á útreiknuðum og raunverulegum sláttutíma, en hin árin var munurinn allt að 9 dögum. Þar getur þó komið fleira til en hitinn, svo sem óþurrkar þegar grasið er að verða þroskað, eða mismunandi fyrirætlanir um háarslátt.

PROSKALÍKUR BYGGIS

Er hægt að rækta korn á Íslandi? Það mun sannast mála að svarið sé hvorki skilyrðislaust já né nei. Á bestu hlýindaskeiðum tuttugustu aldar var oftast ekki mögulegt að fá þroskað bygg allvíða sunnanlands og í bestu sveitum fyrir norðan, en lengst af á síðustu áratugum hefur kornyrkja aðeins tekist á fáum byggðum

bólum á Suðurlandi. Þar á vel við setning Arngríms ábóta Jónssonar úr Íslandslýsingunni í öðrum kafla Guðmundar sögu hinnar yngstu sem var rituð um miðja 14. öld: „Korn vex í fáum stöðum sunnan lands og eigi nema bygg.“

Í greininni Þroskalíkur byggs á Íslandi (Páll Bergþórsson, 1965) er unnið úr kornræktarskýrslum frá Sámsstöðum í Fljótshlíð (Klemenz Kr. Kristjánsson, 1946) og leitast við að tákna byggættarskilyrði með einum saman veðurskýrslum, um hita, úrkomu og sólargang. Í þessum tilraunum var notað Dönnabygg og með þroska byggsins var yfirleitt átt við gulþroskun. Um þetta efni var svo fjallað síðar í ritgerð um áhrif hita á landbúnað á Íslandi (Páll Bergþórsson, 1988).

Niðurstaðan var í stuttu máli þessi. Hitabörfin kom best fram ef 3 stig voru dregin frá meðalhita hvers sólarhrings og síðan voru sólarhringstölurnar lagðar saman, allt frá því að bygginu var sáð og þar til það var skorið upp. Þegar þessi samtala varð hærri en 850 yfir sumarið var líklegt að byggjið næði þroska. Þó var þetta nokkuð háð úrkomunni. Í hvert skipti sem úrkomu á vaxtartímanum (um það bil 5 mánuðum) var meiri en í meðallagi var eins og hitinn þyrfti að vera meiri en ella. Svo taldist til eftir skýrslum Klemenzar að hitasamtalan á vaxtartímanum þyrfti að hækka um 30 fyrir hverja 100 mm úrkomu sem bættist við 200 mm á vaxtartímanum. Þá var einnig tekið tillit til þess að í Noregi hefur reynslan sýnt að nauðsynleg hitasamtala minnkar sem nemur um það bil 30 fyrir hverja breiddargráðu sem norðar dregur frá Osló norður að Bødø vegna daglengdar. Eftir þessum reglum var svo hægt að meta hitabörfin á öllum íslenskum veðurstöðvum eftir úrkomunni og hnattstöðunni (sólargangi).

Hitabörfin á hverri stöð er eftir þessu í kringum 850, en hún er lægri þar sem úrkoma er lítil, einkum þó norðanlands þar sem sólargangur er langur. En þessi hitasamtala getur þurft að vera töluvert meiri en 850 á Suðurlandi ef úrkomu er mikil.

Til þess að reikna hitasummu þarf að finna upphaf og lok vaxtartímans, en hann er breyti-

legur á landinu. Á Sámsstöðum var bygginu oftast sáð um það bil þegar meðalhiti **undanfarandi** 30 daga var kominn upp í 3 stig. Það virðist hafa nægt til þess að leysa vetrarsnjóinn og þíða jarðklakann og ylja moldina nógu djúpt niður til þess að hægt væri að plægja og sá. Einnig mátti eftir á hafa það til marks að meðalhiti 15 daga fyrir og eftir sáðtíma væri kominn upp í 5 stig, en sú regla er ekki eins rökrétt, enda óhæf til að sá eftir henni í einstökum árum.

Áætlun uppskerutíma var erfiðari viðfangs. Klemenz bendir á að það sé helst frostið sem geti tekið fyrir þroskunina þegar líður á sumarið (Klemenz Kr. Kristjánsson, 1946). Til þess að ákvarða lok vaxtartíma til lengdar var því valinn sá dagur þegar fyrstu næturfrost koma að jafnaði, þó aldrei seinna en 1. október. Það má reyndar fara nærri um með því að líta á 30 daga meðaltal lágmarkshitans TL og 30 daga meðalhita sólarhringsins TM, hvort tveggja reiknað 15 daga fyrir og eftir uppskerutímann. Þegar samtalan FD

$$FD=2TL-TM-1 \quad (6)$$

fer niður fyrir 0 er líklegur tími fyrsta frosts að jafnaði.

Þegar raunveruleg hitasamtala og börfin fyrir hana er fundin á stöðinni er hægt að kanna hvað þroskað bygg muni fást oft á hverjum 100 árum til dæmis. Klemenz á Sámsstöðum minnir á að í sumum héruðum Noregs þar sem akuryrkja er þó stunduð séu þroskalíkur ekki meiri en 60–70%. Jafnframt bendir hann á að þau ár sem bygg nær ekki nema 2/3 góðrar kornþyngdar þurfi í rauninni ekki að telja að öllu leyti uppskerubrest á korni því vel megi nota kornstöngina með korninu til fódurs, svo mikill mjölvi sé í korninu þó smátt sé og mjölvaminnna en fullþroskað korn að það sé ágætt fóður, til dæmis fyrir mjólkandi kýr og annan fénað. Hér á eftir verður því við það miðað að stefnt sé að þroskun byggsins og öryggið þurfi því að vera 60–70%.

Nú er ekkert því til fyrirstöðu að finna á hvaða stöðvum bygg á að geta náð þroska 6 af hverjum 10 árum að jafnaði. Til þess þarf að kanna hvað frávik einstakra ára frá meðaltali

hitasamtölunnar eru mikil á hverjum stað. Athugun sýnir að staðalvikið er um 150 og útkoman er í stuttu máli þessi.

Á hlýindaskeiðinu 1931–1960 ætti Dönnesbygg að hafa náð gulþroska í a.m.k. 6 af hverjum 10 árum á 21 af 48 veðurstöðvum sem teknar voru til athugunar.

Árin 1951–1980 sem voru töluvert kaldari er líklegt að byggið hefði aðeins náð þessum þroska á 2 af 48 stöðvum, og ekki hefði útkoman verið betri árin 1873–1922. Þessar tvær stöðvar eru reyndar báðar í Reykjavík, en hvorki Akureyri, Hallormsstaður né Sámsstaðir komast þá á blað. Það styður þessa niðurstöðu að líkur benda til þess að kornyrkja hafi haldist lengur en annars staðar við sunnanverðan Faxaflóa, allt að sjö öldum frá upphafi Íslandsbyggðar (Sigurður Þórarinnsson, 1974).

Að sjálfsögðu má ekki taka þessar niðurstöður of bókstaflega. Það getur algerlega ráðið úrslitum að rétt afbrigði séu valin (Jónatan Hermannsson, 1993) og vel sé hlúð að ræktuninni, svo sem með skjólgirðingum eða limgerðum, og mikils vert er að velja undir akrana land sem hallar mót suðri. Klemenz á Sámsstöðum mældi hitann niður við grasið sumrin 1933 og 1934, annars vegar í brekku með um 20 gráða halla móti suðsuðvestri, hins vegar á grónu vallendi um 10 metra frá brekkunni. Klukkan 9 að morgni var 0,2 stigum hlýrra að meðaltali í brekkunni, klukkan 15 var munurinn 2,7 stig, en klukkan 22 var 0,1 stigi kaldara í halllendinu.

Af þessu er auðséð að talsverðu getur munað á þroskalíkum byggsins á veðurstöð eftir því hvernig staðhættirnir eru, enda þarf ekki nema 0,2 stiga hitamun yfir vaxtartímann til að breyta þroskalíkum um 10% til eða frá.

SAMSPIL HITTA OG ÁBURÐAR

Hlutföll áburðartegunda á meðaltúni

Helstu áburðarefni eru köfnunarefni, fosfór og kalí (skammstafað N, P og K), eins og kunnugt er. Í greinum í Frey (Páll Bergþórsson, 1984ab, 1985a) var fjallað um hagkvæmstu hlutföll helstu áburðarefnanna á venjulegu tilraunalandi. Í þessu skyni var unnið úr niðurstöð-

um fjölmargra áburðartilrauna sem gerðar hafa verið á undanförunum áratugum.

Til þess að finna þessi hlutföll var í fyrsta lagi nauðsynlegt að setja fram reiknilíkan af áhrifum hvernar áburðartegundar á sprettuna.

Fyrir hverja áburðartegund var fundið hvað sprettan af hverjum skammti var stórt hlutfall af sprettunni af tilteknum stórum skammti. Í tilraun eins og þessari var nauðsynlegt að halda öðrum áburðartegundum óbreyttum.

Þessi hlutfallslega spretta var talin vera óháð því hvort mikið eða lítið væri af hinum áburðartegundunum í tilrauninni.

Líkingarnar fyrir þessari hlutfallslegu sprettu reyndist heppilegt að hafa sem hér segir þar sem H_N , H_P og H_K tákna sprettuna eins og hún er háð efnunum N, P og K:

$$H_N = (1 - 10^{-(N+94)/280}) / (1 + 10^{-(N+94)/280}) \quad (7)$$

$$H_P = (1 - 10^{-(P+20)/25}) / (1 + 10^{-(P+20)/25}) \quad (8)$$

$$H_K = (1 - 10^{-(K+100)/100}) / (1 + 10^{-(K+100)/100}) \quad (9)$$

Með því að nota þetta form á líkingunum verða fyrstu áburðarskammtarnir áhrifamestir og svo stefnir sprettuhlutfallið á ákveðið hámark þegar mikið er borið á, en vex ekki endalaust með áburði. Ef til vill væri rétt að gera ráð fyrir minnkandi sprettu með mjög miklum áburði vegna neikvæðra áhrifa, en til þess sýnist lítil ástæða þar sem mjög sjaldgæft mun vera að svo stórir áburðarskammtar séu notaðir.

Eins og vænta má er nokkur óvissa um hversu vel þessar formúlur standast. Þannig er líklegt að líkingin fyrir köfnunarefnið þurfi endurskoðunar við, sjá hér á eftir. Varla munu þessir formálar þó fjærri lagi. Þá má setja fram þá kenningu að heildaráhrif áburðarins séu margfeldið af öllum þremur sprettuhlutföllunum H_N , H_P og H_K margfaldað með einhverjum tilteknum stuðli, auk hitans sem síðar er komið að. Þetta ætti þá að gera kleift að finna heppilegustu hlutföll áburðartegundanna.

Út frá þessu má nú finna hvað það mundi kosta að bæta við hverja áburðartegund til þess að auka sprettuna um til dæmis eitt prósent. Þar með er hægt að finna hin hæfilegu hlutföll áburðartegundanna, en þau eru að nokkru leyti háð verðlagi þeirra. Ef ein tegundin hækkar

12. tafla. Verð á 1% vaxtarauka eftir magni áburðarefna.

Table 12. Prize of 1% additional yield given by different commercial fertilizers.

| Köfnunarefni N | | Fosfór P | | Kalí K | |
|-------------------|--------|-------------|--------|-----------|--------|
| kg/ha | krónur | kg/ha | krónur | kg/ha | krónur |
| 0 | 51 | 0 | 26 | 0 | 59 |
| 50 | 91 | 10 | 68 | 20 | 94 |
| 100 | 148 | 20 | 173 | 40 | 150 |
| 150 | 230 | 30 | 436 | 60 | 239 |
| 200 | 353 | | | 80 | 379 |

mjög í verði er til dæmis ekki hagkvæmt að nota jafn mikið af henni og áður, eins og sést á 12. töflu.

Hlutföll áburðartegunda eru hér talin hagkvæm ef tiltekin fjárhæð gefur jafn mikinn vaxtarauka hvort sem henni er varið til viðbótar-kaupa á köfnunarefni, fosfór eða kalí.

Með því að auka sprettuna af einu áburðarefninu um 1% er þá hægt að auka sprettuna í heild um 1%.

Eftir þessu reiknilíkani má nú finna hvað vaxtarauki um 1% kostar, eftir því við hvaða áburðarefni er bætt, og er þá miðað við verðlag á hreinum eignum í janúar 1994.

Í 12. töflu má sjá að á móti 100 kg/ha af köfnunarefni er hagkvæmast að nota nokkru minna en 20 kg/ha af fosfór og lítið eitt minna en 40 kg/ha af kalí. Hagkvæm hlutföll áburðarefnanna koma svo fram í 13. töflu.

Samspil hita og áburðar

Hér hefur nú verið fundin eins konar sprettuvísitala út frá magni áburðartegundanna, margfeldi af sprettuhlutfalli allra áburðarefnanna. Til þess að finna sennilegustu sprettuna þarf þá að auki að taka tillit til hitans. Þar með er mögulegt að líkja eftir öllum þeim fjölda tilrauna sem gerðar hafa verið með hvers konar samstæður áburðarefna í mismunandi árferði. Ekki er síður æskilegt að finna hvernig áburðarefnum þurfi að haga eftir hitafari til þess að tryggja sem jafnasta uppskeru frá ári til árs.

Gerð var sú tilraun að margfalda margfeldi

sprettuhlutfalla allra áburðarefnanna H_N , H_P , H_K með hitavísitölunni t sem lýst var í líkingu (4) eða (5), eftir því hvort farið er eftir hita alls ársins eða aðeins vetrarins. Þetta var prófað á fjölmörgum áburðartilraunum. Þá kom í ljós að nokkuð vantaði á að með því fengist góð eftirlíking á áhrifum köfnunarefnis. Í köldum árum fór mjög að draga úr þeim áhrifum þegar köfnunarefnisskammtar voru orðnir meiri en í meðallagi, svo sem 100 kg/ha. Eftir þessu mátti líkja allvel á sérstakan hátt. Í líkingunni um H_N er í stað N notað hlutfallið N/t þar sem t er hitavísitalan í (4) eða (5). Og í stað þess að margfalda sprettuhlutföll áburðarefnanna með t er að lokum margfaldað með t í veldinu 1,34. Reiknilíkanið fyrir uppskeruna U verður þá á alfriðuðu túni eða tilraunalandi:

$$U=9200t^{1.34}H_NH_PH_K \quad (10)$$

Hér er U uppskeran í kg þurrefnis af ha. Í venjulegu þurrhevi eru um 85% þurrefni.

Ef spurt er um hvað margir heyhestar (hkg) af þurrhevi fáist af túni sem er beitt með venjulegum hætti má reikna með að uppskeran sé 40% minni en af alfriðuðu landi. Þá kemur talan 65 í stað 9200 í formúlunni hér á undan.

Áburðarefni eftir vetrarhita

Í kaflanum um hita og hefyng var þess getið að áburði mætti haga eftir vetrarhita til þess að fá ákveðna uppskeru. Eftir kaldan vetur er þá borið meira á en venjulega, en eftir mildan vetur má spara áburð. En í þeirri líkingu var aðeins rætt um köfnunarefnið. Með líkaninu sem hér hefur verið lýst er nú unnt að ákvarða einnig hvað mikið skuli bera á af öðrum áburðarefnum, fosfór og kalí, eftir vetrarhitinum, og eins og áður er notaður vetrarhitinn í Stykkishólmi, í október–apríl. Í 13. töflu er áburður eftir vetrarhita tilgreindur í þremur mismunandi tilfellum.

Í fyrsta lagi er miðað við að á venjulega beittu túni sé aðeins notaður tilbúinn áburður og ætlast til að töðufengur verði 35 hkg/ha. Alls staðar er miðað við hrein áburðarefni.

Í öðru lagi er miðað við að sá búfjáráburður sem fellur til vegna þess að fóðrað er á uppskerunni af einum hektara venjulegs túns sé

13. tafla. Hagkvæmir skammtar áburðarefna.

Table 13. Economical proportions of different fertilizers, based on winter temperature at Stykkishólmur.

| Vetrarhiti Stykkishólmi Winter temperature | Tún með beit <i>Partial grazing</i> | | | | Tún með beit <i>Partial grazing</i> Búfjáráb. <i>Manure</i> | | | | Alfriðað tún <i>No grazing</i> Búfjáráb. <i>Manure</i> | | | |
|---|--|----|----|-----|--|----|----|-----|---|---|----|-----|
| | Áburðar- verð á hkg | | | | Áburðar- verð á hkg | | | | Áburðar- verð á hkg | | | |
| | Tilb. áburður heys N P K krónur | | | | Tilb. áburður heys N P K krónur | | | | Tilb. áburður heys N P K krónur | | | |
| | <i>Commercial Prize per fertilizer hkg hay</i> | | | | <i>Commercial Prize per fertilizer hkg hay</i> | | | | <i>Commercial Prize per fertilizer hkg</i> | | | |
| 2,0 | 79 | 15 | 32 | 186 | 44 | 3 | 0 | 76 | 21 | 0 | 0 | 20 |
| 1,5 | 86 | 16 | 34 | 201 | 51 | 4 | 0 | 90 | 28 | 0 | 0 | 26 |
| 1,0 | 94 | 17 | 38 | 220 | 59 | 5 | 0 | 104 | 36 | 0 | 0 | 34 |
| 0,5 | 104 | 18 | 42 | 241 | 69 | 6 | 0 | 123 | 46 | 0 | 0 | 43 |
| 0,0 | 116 | 19 | 46 | 266 | 81 | 7 | 2 | 145 | 58 | 0 | 0 | 55 |
| -0,5 | 129 | 20 | 52 | 293 | 94 | 8 | 8 | 173 | 71 | 0 | 0 | 67 |
| -1,0 | 146 | 22 | 58 | 330 | 111 | 10 | 14 | 210 | 88 | 2 | 0 | 86 |
| -1,5 | 170 | 24 | 68 | 381 | 135 | 12 | 24 | 260 | 112 | 4 | 0 | 112 |
| -2,0 | 208 | 28 | 83 | 462 | 173 | 16 | 39 | 342 | 150 | 8 | 10 | 158 |
| Uppskeyra, hkg/ha Yield | 35 | | | | 35 | | | | 58 | | | |

notaður til áburðar á þann hektara, og að með því fáiast virkur áburður sem svarar 35 kg af köfnunarefni, 12 kg af fosfór og 44 kg af kalí, en til viðbótar sé notaður tilbúinn áburður.

Í þriðja lagi er miðað við að borið sé á alfriðað tún og til þess notaður sá búfjáráburður sem fellur til vegna þess að fóðrað er á uppskerunni af þessum hektara. En vegna þess að nú er sprettan miklu meiri en af venjulegu túni verður þessi búfjáráburður að sama skapi meiri, 58 kg af köfnunarefni, 20 kg af fosfór og 73 kg af kalí. Viðbóttin sem þarf af tilbúnum áburði er því lítil, nær eingöngu köfnunarefni.

Í 13. töflu er ennfremur sýnt hvað tilbúni áburðurinn kostar, og er þá miðað við verð við stöðvarvegg Áburðarverksmiðju í janúar 1994, en á það verð leggst flutningskostnaður.

Eins og rakið verður hér á eftir þarf að taka tölurnar í 13. töflu með fyrirvörum. En nokkrar ályktanir má þó af henni draga.

Taflan bendir til að mikið megi spara útborinn eyri með því að hagnýta búfjáráburðinn. Sparnaðurinn nemur um 120 krónum á hvert

hkg töðunnar ef vel er hirt um áburðinn, og í mörgum tilfellum er með þessu hægt að lækka kostnað af tilbúnum áburði um helming.

Enn betri árangri má ná á alfriðuðu túni. Vinningurinn er tvenns konar. Uppskeyran eykst mikið og hér er reiknað með 67% aukningu. Hinn vinningurinn er sá að fyrir heyið af hverjum hektara fæst að sama skapi meiri búfjáráburður sem lækkar stórlega áburðarkostnað. Í mildum árum vantar meira að segja ekki mikið á að með þessu móti rækti skepnurnar fóðrið sitt eins og það hefur stundum verið orðað. Þetta var mikið keppikefli búmanna áður en tilbúni áburðurinn kom, og væri þarft að endurnýja þann áhuga eins og nú er ástatt í landbúnaðarmálum. Hér er verðugt að nefna grein eftir Sæmund Eyjólfsson í Búnaðarritinu 1888. Þar fullyrta hann að hver kýr gæfi af sér nægan áburð til að rækta töðu fyrir sig ef vel væri farið með áburðinn, og að sjálfsögðu hefur hann gert ráð fyrir að túnin væru algerlega varin fyrir beit. Sæmundur var frá Hvammi í Hvítársíðu, fjölkæfur menntamaður, sögufróður búfræðingur,

14. tafla. Viðbót við áburðarefni í 13. töflu samkvæmt niðurstöðum sérstakra áburðartilrauna.
Table 14. Addition to fertilizer in Table 13 in accordance with the results of specific fertilizer experiments.

| Áburðarefni—Fertilizer | Spretthlutfall, %—Percentage of yield | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------------|----|----|----|----|-----|-----|----|----|-----|-----|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 85 | 90 | 95 |
| Köfnunarefni, kg/ha—N | | 71 | 56 | 38 | 15 | -14 | -53 | | | | |
| Fosfór, kg/ha—P | 18 | 16 | 13 | 11 | 8 | 5 | 1 | -4 | -7 | -12 | -20 |
| Kalí, kg/ha—K | 91 | 82 | 73 | 63 | 52 | 40 | 25 | 5 | -9 | -28 | -59 |

guðfræðingur og skáld, og eldheitur áhugamaður um það sem nú mundi kallað sjálfbær búskapur. En því miður náði hann aðeins 35 ára aldri.

Lesendur munu taka eftir því að áburðarhlutföllin í 13. töflu eru talsvert ólík þeim sem voru notuð í Hvanneyrartilrauninni sem áður var sagt frá í kaflanum um hita og hefynd. Hlutur köfnunarefnis er hér meiri, en hlutföll fosfórs og kalís minni. Að nokkru leyti stafar þetta af staðbundnum jarðvegsskilyrðum á Hvanneyri, en skoðun þessa höfundar er líka sú að fosfór og kalí í tilbúnum áburði sé oft óþarflega mikið til viðbótar þeim tiltölulega ríflega skammti af þessum efnunum sem fæst úr búfjáraburði. En ekki er þó vafi á því að um þessa töflu þarf að hafa talsverða fyrirvara. Hún er unnin út frá niðurstöðum á tilraunastöðvum og er því miðuð við þann jarðveg sem þar er að jafnaði. Annars staðar geta jarðvegsskilyrði verið önnur. Í nýrækt sem nú er reyndar orðin sjaldgæf er oft fosfórskortur og getur þurft að bæta við allt að 20 kg fosfórs á hektara, en í gömlum tünnum hefur hins vegar stundum safnast verulegur fosfór í jarðveginn. Í þurrkuðu votlendi er stundum meira köfnunarefni en hér er gert ráð fyrir, en á ófrjóu landi getur verið talsverður köfnunarefnisskortur. Um þetta getur þó verið mjög erfitt að dæma á einstökum tünnum nema með sérstakri rannsókn.

Hugmynd um tilraunir með áburðarþörf

Í greinum í Frey (Páll Bergþórsson, 1984ab) er sett fram sú hugmynd að bændur geri eigin tilraunir til að kanna áburðarþörf hvers efnis fyrir sig. Í hverri af þremur 8 liða tilraunum á

samliggjandi reitum er þá annar hver reitur með vænan skammt af efninu, en hinir reitirnir fá ekkert af því áburðarefni. Þessi ríflegi skammtur var ráðlagður 100 kg/ha af köfnunarefni, 100 kg/ha af fosfór og 200 kg/ha af kalí. Í öllum reitunum í hverri tilraun er hins vegar hæfilegur skammtur af hinum efnunum tveimur og alltaf sá sami ár frá ári. Varla er hægt að búast við marktækum niðurstöðum fyrr en eftir nokkur ár. Þegar uppskeran er mæld er fundið hvert er hlutfallið milli meðaluppskerunnar af reitunum sem fá ekkert af efninu sem verið er að rannsaka og meðaluppskerunnar af hinum reitunum sem fá góðan skammt. Því hærra sem þetta hlutfall er því auðugri er jarðvegurinn af áburðarefninu. Í 14. töflu er sýnt hvað miklu þurfi að bæta við áburðarskammtana sem sýndir eru í 13. töflu hér á undan. Ef viðbótin er með mínusmerki má minnka áburðinn sem tölunni nemur. Að sjálfsögðu þarf að framkvæma tilraunirnar og nota niðurstöður þeirra með mikilli gát og hafa um þær samráð við jarðræktarráðunaut, sérstaklega ef ástand jarðvegsins sýnist afbrigðilegt að einhverju leyti.

LOKAORÐ

Í þessari grein er í sem stystu máli sagt frá ýmsum tölulegum athugunum á beinu samhengi hita og gróðurs sem höfundurinn hefur fengið við á síðustu áratugum, en hitafarið er einhver þýðingarmesti þátturinn í íslenskum landbúnaði og hagsaga þjóðarinnar er nátengd því (Páll Bergþórsson, 1987b). Helstu heimildir eru sóttar í tímaritið *Veðrið* og búnaðarblaðið *Frey*, og er lesendum vísað á nánari umfjöllun í þeim greinum og öðrum.

HEIMILDIR

- Bjarni E. **Guðleifsson**, 1975. Um kal og kalskemmdir IV. Samband veðurfars og kalskemmda. *Ársrit Ræktunarfélags Norðurlands* **72**: 45–64.
- Budyko**, M.I., 1974. *Climate and Life*. Academic Press, New York.
- Ellenberg**, H. & Charlotte **Ellenberg**, 1971. *Zur Kartenübersicht der Kahlschaden am der Kulturwisen Islands in Jahre 1969*. Rannsóknastofnunin Neðri Ás, Hveragerði: 38 s.
- Hilderith**, A.C., J.R. **Magness** & J.W. **Mitchell**, 1941. Effects of climatic factors on growing plants. Í: *Climate and Man*. Washington, D.C.: 293–298.
- Hólmgeir **Björnsson** & Áslaug **Helgadóttir**, 1988. The effects on grass yield, and their implications for dairy farming. Í: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture* (ritstj. M.L. Parry, T.R. Carter & N.T. Konijn). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London: 445–473.
- Hólmgeir **Björnsson** & Jónatan **Hermannsson**, 1987. Áburðartími, skipting áburðar og sláttutími. Í: *Ráðunautafundur 1987*. Búnaðarfélag Íslands og Rannsóknastofnun landbúnaðarins: 77–91.
- Jónatan **Hermannsson**, 1993. Kornrækt á Íslandi. Í: *Ráðunautafundur 1993*. Búnaðarfélag Íslands og Rannsóknastofnun landbúnaðarins: 77–91.
- Kauppi**, P. & M. **Posch**, 1985. Sensitivity of boreal forest to possible climatic warming. *Climatic Change* **7**: 45–54.
- Keatinge**, J.D.H., R.H. **Stewart** & M.K. **Garrett**, 1979. The influence of temperature and soil water on the leaf extension rate of perennial ryegrass in Northern Ireland. *Journal of Agricultural Science* **92**: 175–183.
- Klemenz Kr. **Kristjánsson**, 1946. Kornræktartilraunir á Sámsstöðum og víðar. *Atvinnudeild Háskólans, Rit landbúnaðardeildar* **B1**: 105 s.
- Mork**, E., 1968. Økologiske undersøkelser i fjellskogen i Hirkjølen forsøksområde. Meddelelser fra Det Norske Skogforsøksvesen **93**, **XXV**: 461–614.
- Páll **Bergþórsson**, 1965. Þroskalíkur byggs á Íslandi. *Veðrið* **10**: 48–56.
- Páll **Bergþórsson**, 1966. Hitafar og búsaeld á Íslandi. *Veðrið* **11**: 15–20.
- Páll **Bergþórsson**, 1970. Gróður og hitastig. *Veðrið* **15**: 7–16.
- Páll **Bergþórsson**, 1972. Kal og hitastig. *Veðrið* **17**: 40–44.
- Páll **Bergþórsson**, 1976. Töðufall á Íslandi frá aldamótum. *Freyr* **72**: 250–262.
- Páll **Bergþórsson**, 1984a. Kalí og fosfór í jarðvegi túna. *Freyr* **80**: 304–309.
- Páll **Bergþórsson**, 1984b. Köfnunarefni, fosfór og kalí. *Freyr* **80**: 582–585.
- Páll **Bergþórsson**, 1985a. Lofthiti, köfnunarefni, fosfór og kalí. *Freyr* **81**: 989–993.
- Páll **Bergþórsson**, 1985b. Sensitivity of Icelandic agriculture to climate variations. *Climatic Change* **7**: 111–125.
- Páll **Bergþórsson**, 1986. Loftslag og skógrækt. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* **1986**: 67–71.
- Páll **Bergþórsson**, 1987a. Hitasummur og gróðurfar. *Freyr* **83**: 108–111.
- Páll **Bergþórsson**, 1987b. Veðurfar á Íslandi. Í: *Íslensk Þjóðmenning, I* (ritstj. Frosti Jóhannsson). Bókaútgáfan Þjóðsaga: 195–225.
- Páll **Bergþórsson**, 1988. The effects on agricultural potential. Í: *The Impact of Climatic Variations on Agriculture* (ritstj. M.L. Parry, T.R. Carter & N.T. Konijn). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London: 389–444.
- Páll **Bergþórsson**, 1991. Tilraun með breytilegan áburð vegna vetrarhita. *Freyr* **87**: 896–898.
- Reader's Digest Atlas of the World, 1993. The Reader's Digest Association Limited, London / New York / Sydney / Cape Town / Montreal.
- Ríkharð **Brynjólfsson**, 1992. Tilraunir með búfjár-áburð. *Bændaskólinn á Hvanneyri. Rit Búvísindadeildar nr. 1*: 103–112.
- Sigurður **Blöndal**, 1953. Um samband lofthita og hæðarvaxtar trjáa. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* **1953**: 38–53.
- Sigurður **Þórarinnsson**, 1974. Sambúð lands og lýðs í ellefu aldir. Í: *Saga Íslands, I*. Sögufélag: 27–97.
- Smith**, L.P., 1975. *Methods in Agricultural Meteorology*. Elsevier, Amsterdam.
- Snorri **Sigurðsson**, 1977. Birki á Íslandi (útbreiðsla og ástand). Í: *Skógarmál*: 146–172.
- Steindór **Steindórsson**, 1958. Jan Mayen. *Náttúrufræðingurinn* **28**: 57–89.
- Sturla **Friðriksson**, 1954. Rannsóknir á kali túna árin 1951 og 1952. *Atvinnudeild Háskólans, Rit landbúnaðardeildar* **B7**: 72 s.
- Sturla **Friðriksson**, 1969. Áhrif hafíss á jurtagróður, dýralíf og landbúnað. Í: *Hafísinn* (ritstj. Markús Á. Einarsson). Almenna bókafélagið, Reykjavík: 512–539.
- Sturla **Friðriksson**, 1973. *Líf og land*. Varði, Reykjavík.
- Sturla **Friðriksson** & Flosi Hrafn **Sigurðsson**, 1983.

Áhrif lofthita á grassprettu. *Íslenskar landbúnaðarrannsóknir* **15**: 41–54.
Sæmundur **Eyjólfsson**, 1888. Um efnahaginn og landbúnaðinn á Íslandi. *Búnaðarritið* **2**: 34–62.
Veðurstofa Íslands 1924–1994. *Veðráttan* (Mánaðar- og ársrit).

Þórarinn **Þórarinnsson**, 1944. Þjóðin lifði en skógurinn dó. *Ársrit Skógræktarfélags Íslands* **1944**: 16–29.

Handrit mótttekið 26. júní 1995,
samþykkt 21. nóvember 1995.