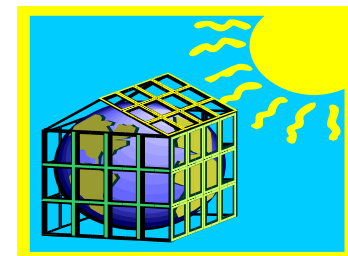


Áhrif hlýnandi loftslags á erfðaauðlindir í skógrækt á Íslandi

Aðalsteinn
Sigurgeirsson

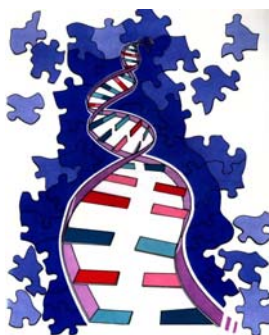
RANNSÓKNASTÖÐ SKÓGRÆKTAR

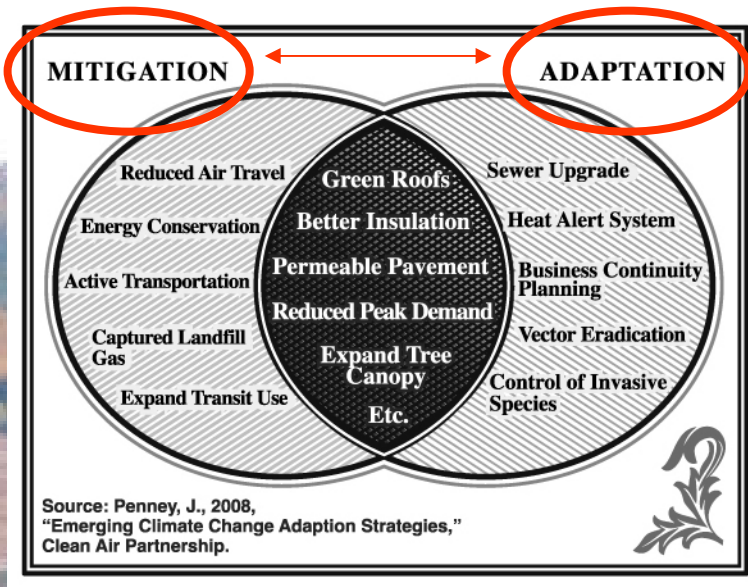




Áhrif loftslagsbreytinga á möguleika trjátegunda á Íslandi

- Möguleikarnir ráðast af:
 - sveigjanleika einstakra trjáa, kvæma eða tegunda til að þola loftslagsbreytingar (og aðrar umhverfisbreytingar)
 - aðlögunargetu erfðahópa trjáa (svo sem kvæma) gagnvart breyttu umhverfi.
 - Ræðst m.a. af þeim erfðabreytileika sem er fyrir hendi hjá einstökum tegundum, innan og milli kvæma trjátegunda.
 - Mikill erfðabreytileiki gerir tegundina eða kvæmið betur í stakk búið að takast á við loftslagsbreytingar





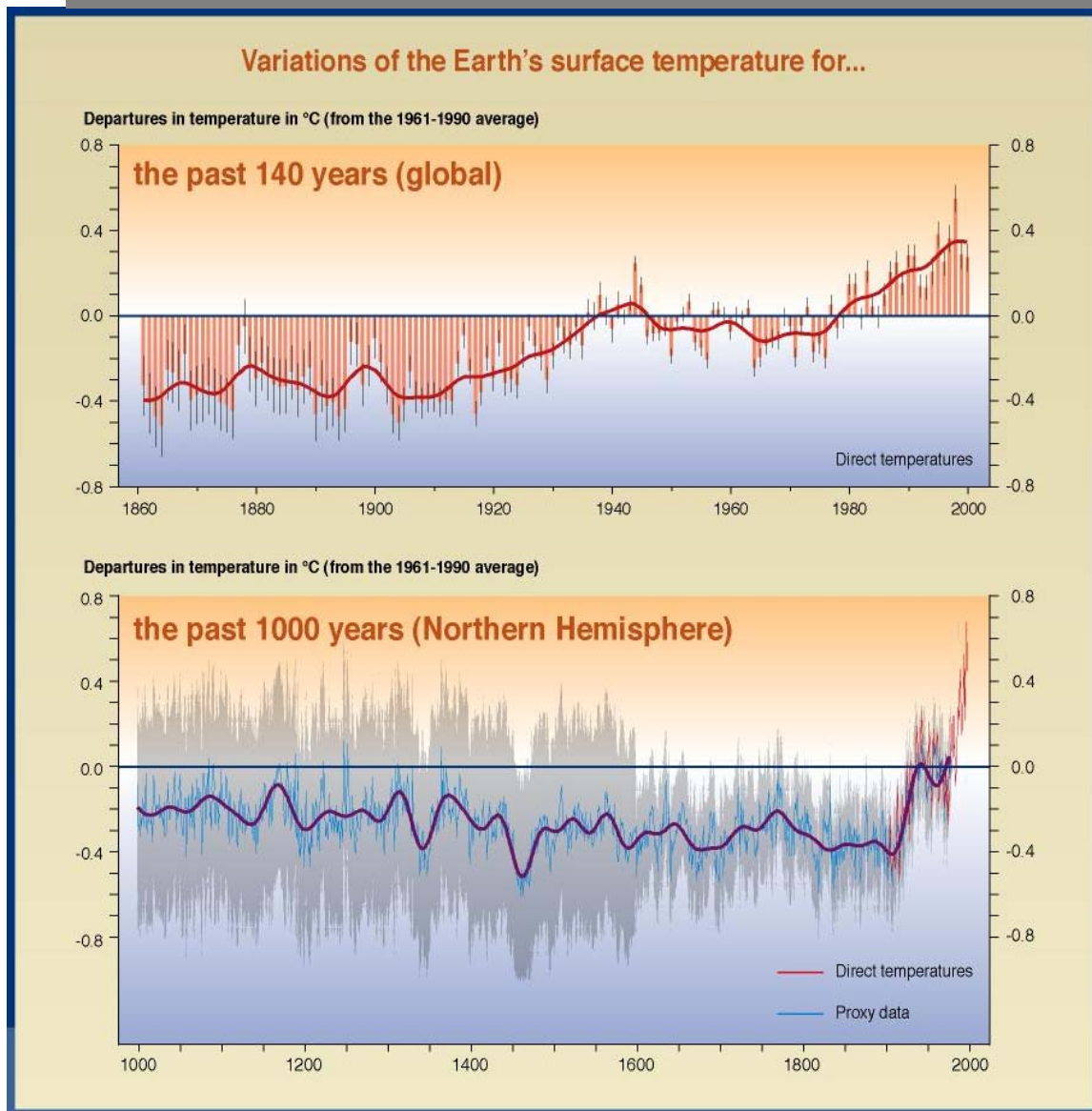
Thanks for many ideas and some of the illustrations in this presentation:



- Bruno Fady
 - Directeur de Recherche
 - Responsable de l'équipe Biologie des Populations et Evolution
- bruno.fady@avignon.inra.fr

(Flutti fyrirlestur um svipað efni á fundi norrænna skógarmálaráðherra, Selfossi, ágúst 2008)

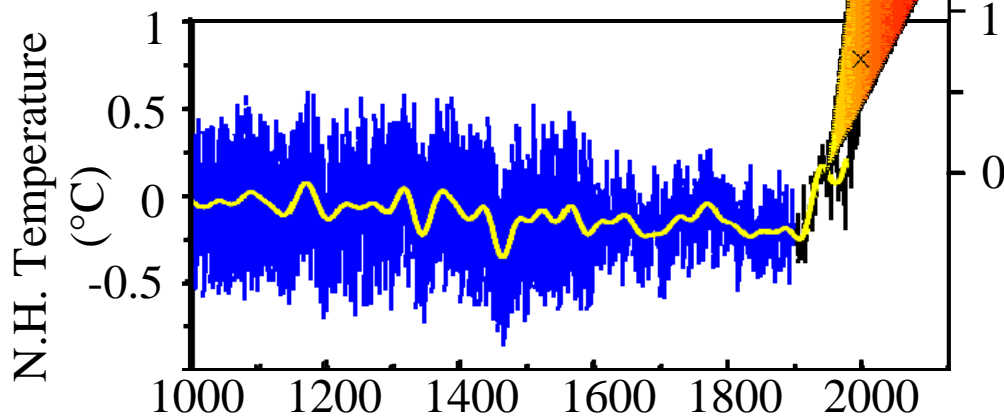
Loftslagsbreytingar: Hvað hefur þegar gerst?



- Aukning meðalhita jarðar um $0,4^{\circ}\text{C}$ miðað við meðalhita 1961-1990
- Auknar öfgar í hitafari
- Kaldir dagar, kaldar nætur og frost fátíðari en áður
- Heitir dagar, heitar nætur og hitabylgjur algengari en áður
- Hlýnun við norðurheimskaut tvöfalt meiri en annars staðar á hnettinum á síðustu 200 árum

(Myndir: <http://www.ipcc.ch/graphics>)

En þessar breytingar virðast vera bara smjörpefurinn af því sem koma skal á næstu 100 árum!



IPCC TAR Projections
2100 AD

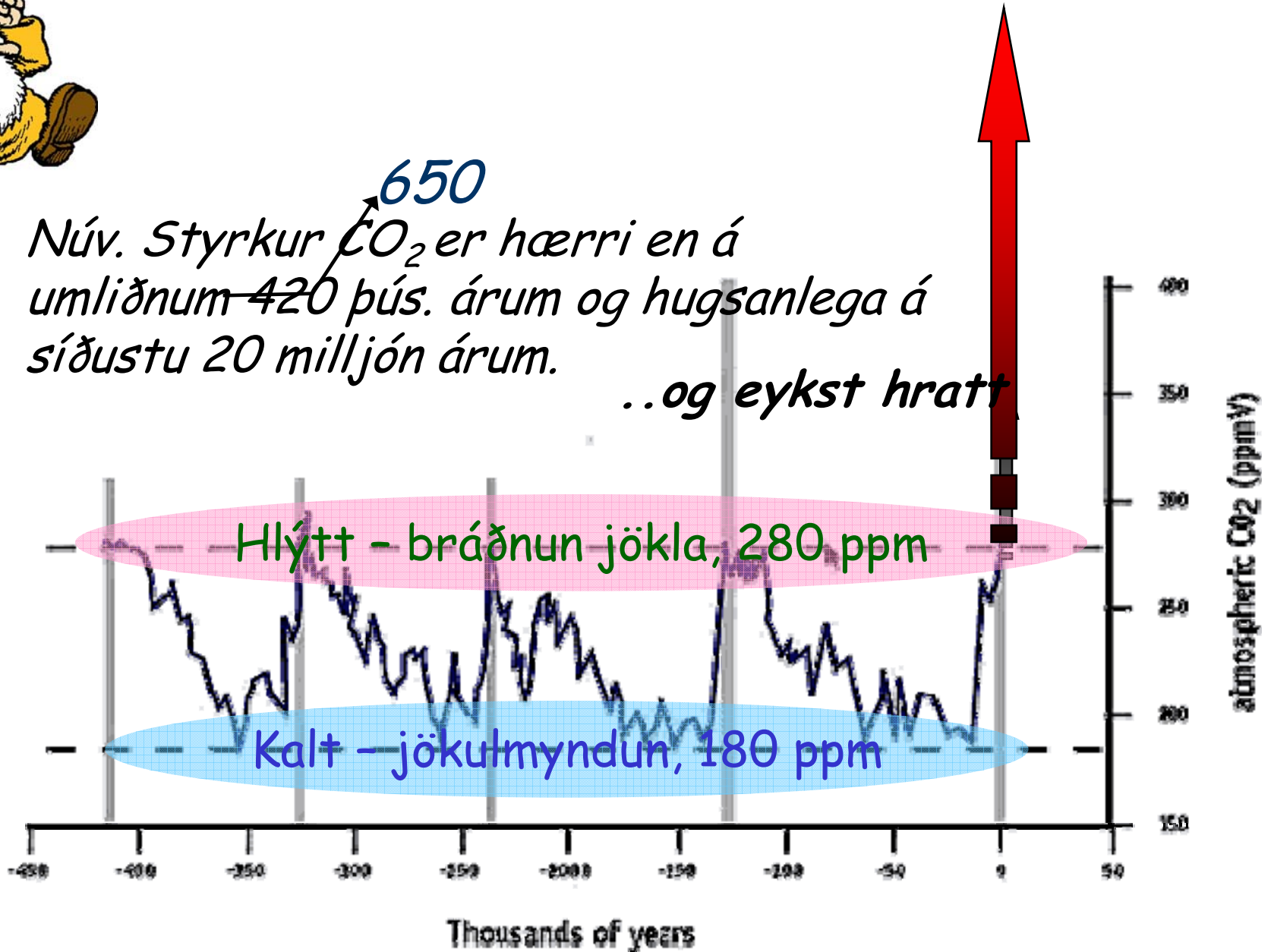
Meðalhiti á
jörðinni (°C)

Nýlegar rannsóknir benda til að hærri spáin sé líklegri (Coupled C-GCM models even higher)

Meiri á norðurslóðum og yfir á landi



Núv. Styrkur CO_2 er hærrí en á umliðnum 420 þús. árum og hugsanlega á síðustu 20 milljón árum. *..og eykst hratt*





Almennt um helstu áhrif hitastigshækkunar á skógvistkerfi og skógrækt

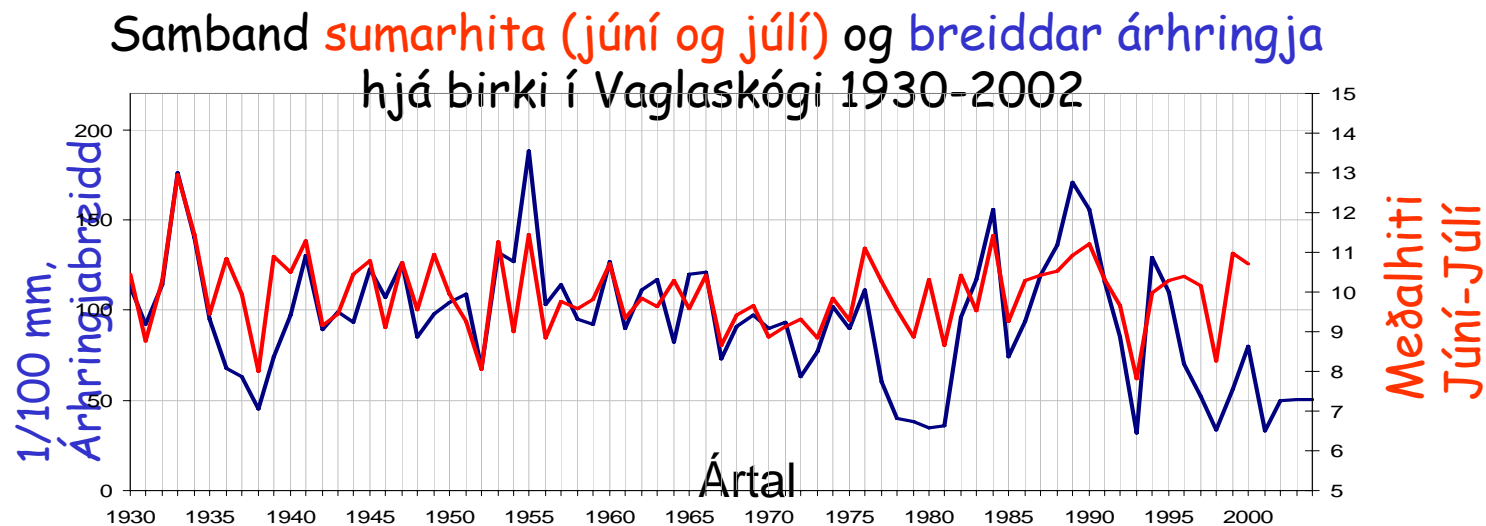
- Trjámörk á norðurslóðum meginlanda munu færast 100 km norðar við hækkun hita um 1°C
 - mun leiða til þess að kjöraðstæður trjátegunda (optimum) munu færast norðar og ofar (í fjöllum).





Almennt um helstu áhrif hitastigshækkunar á skógvistkerfi og skógrækt

- Þar sem sumarhiti er takmarkandi fyrir vöxt trjágróðurs, s.s. hér á landi, mun hitahækkun leiða til aukins vaxtar
 - Nær lífeðlisfræðilegu kjörhitastigi
 - Aukin rotnun og losun næringarefna úr jarðvegi
 - Aukinn vöxtur trjáa, þar sem næringarefni eru takmarkandi (hérlandis N og P)



Gögn: Ólafur Eggertsson, Mógilsá

Almennt um helstu áhrif hitastigshækkunar á skógvistkerfi og skógrækt

- Trjátegundir munu dreifast milli búsvæða (norður á bóginn / upp til fjalla).
 - "Túndra" breytist í barrskóg; norðlægur barrskógur breytist í tempraðan laufskóg, o.s.frv.
 - Ræktun tegunda utan núverandi heimkynna gæti hraðað tilflutningi flóru og fánu milli landa og meginlanda og bjargað einhverjum tegundum frá útrýmingu.
- Syðri mörk trjátegunda munu einnig breytast
 - Of þurrt/heitt fyrir sumar tegundir á núverandi heimaslóðum
 - Slík útrýming kvæma og tegunda vofir þegar yfir, t.d. í löndunum við Miðjarðarhaf, nema að brugðist sé við m.p.a. að flytja þær í örugga höfn.



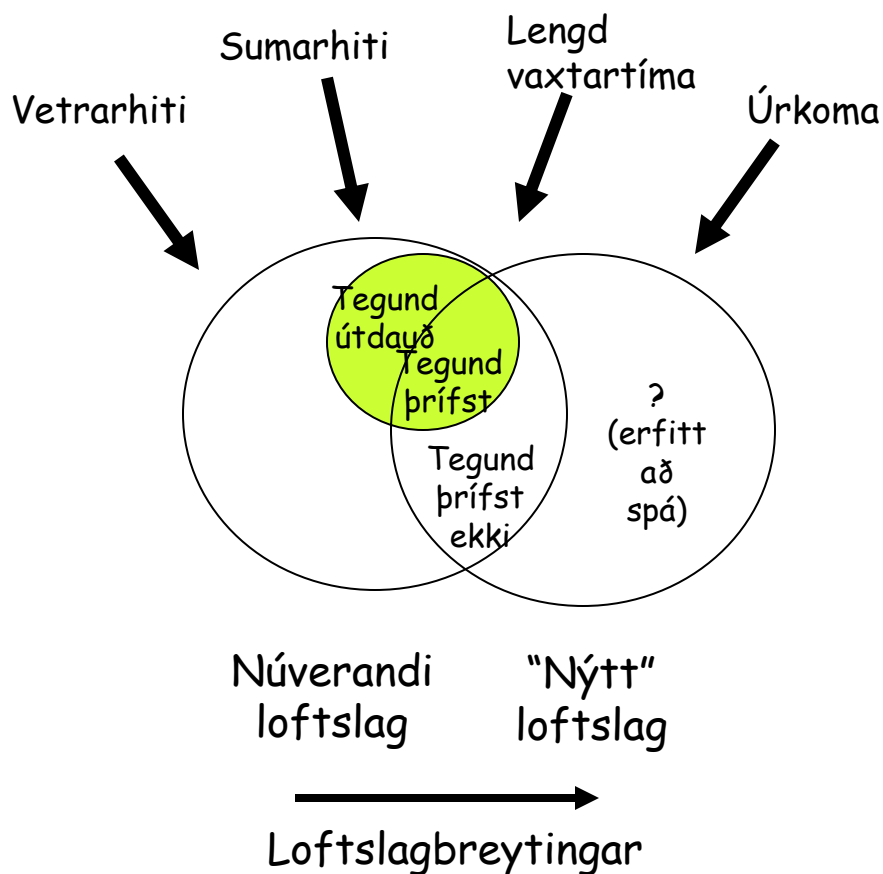
**(Þegar fram komin) áhrif
hitafarsbreytinga á Íslandi**



Loftslag og aðlögun trjátegunda

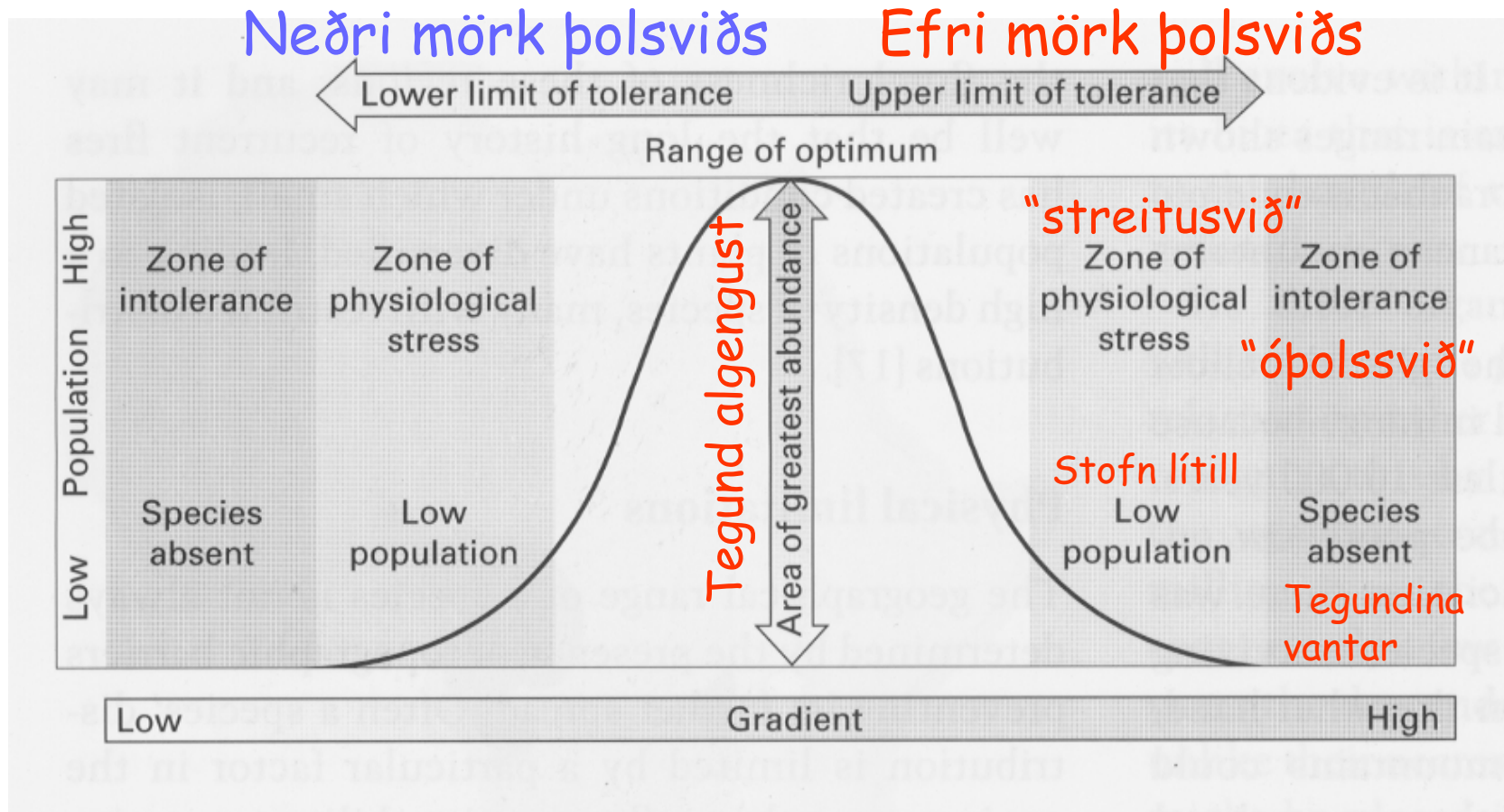
- Loftslag ræður miklu um útbreiðslu trjátegunda
 - Almenn þekking náttúruvísindamanna á samhengi milli loftslags og aðlögunar plöntutegunda hefur lengi verið fyrir hendi (*a.m.k. frá dögum Plesjeevs (1797) og von Humboldts (1807)*)
 - En jafnvel á okkar dögum er þekking okkar á því hvaða loftslagsþættir takmarka landfræðilega útbreiðslu og aðlögunargetu einstakra plöntutegunda brotakennd

"Loftslagsumbúnaður" (e. *climate envelope*; *bioclimate envelope*)



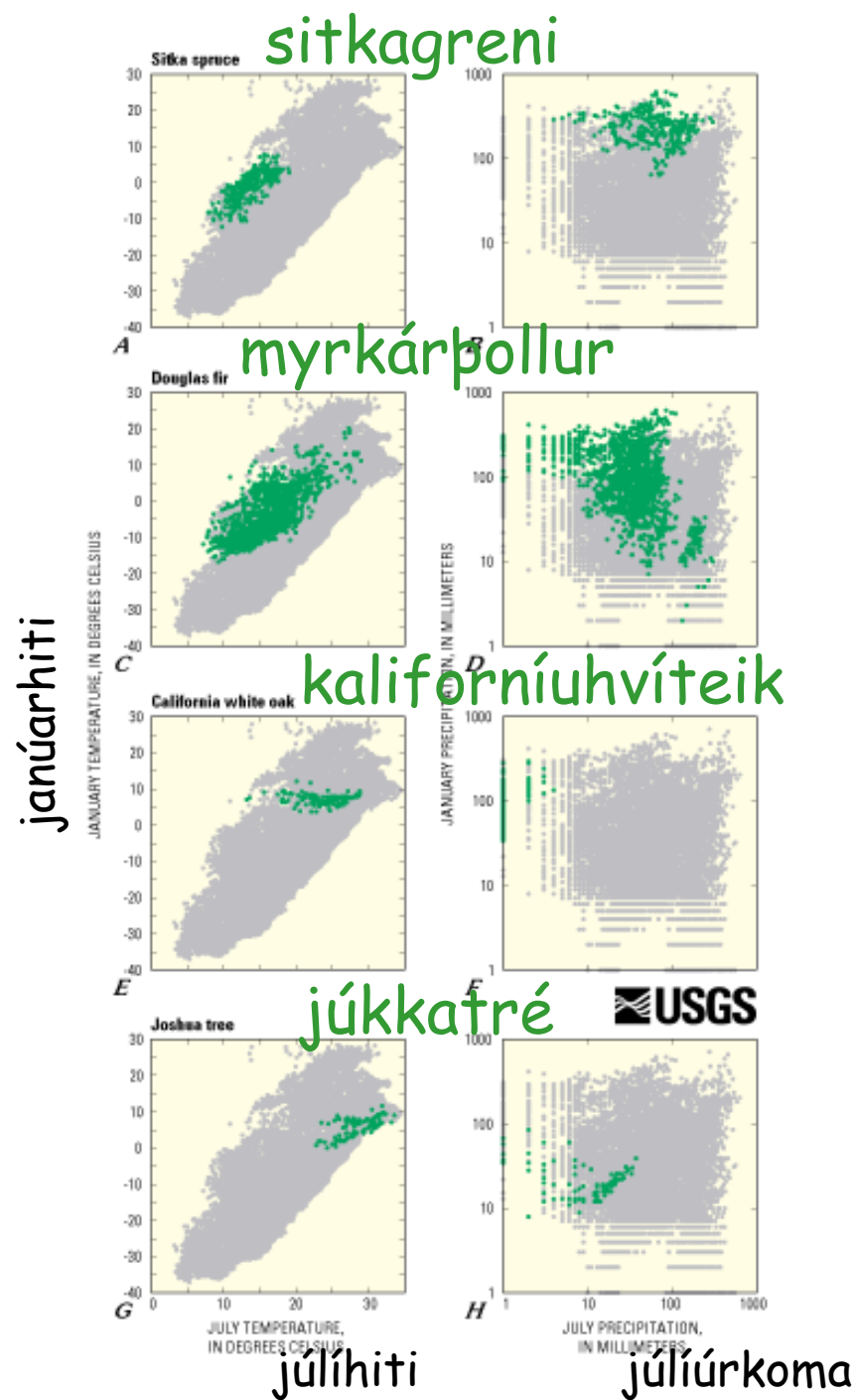
- Skýra og skilgreina innan hvað marka tiltekin tegund fær þrífst
- Getur verið afar flókið, en vönduð líkön virðast í mörgum tilvikum geta skýrt stóran hluta "mögulegs útbreiðslusvæðis" út frá vistþáttum á heimaslóðum

Vaxtarmöguleikar og þolsvið



Dæmi um "loftslags- umslög" fyrir fjórar trjátegundir í vestanverðri Norður- Ameríku

- Gráa svæðið:
 - Allur breytileiki í N-
Ameríku m.t.t. meðalhita
og meðalúrkomu í janúar-
og júlímánuði
- Græna svæðið:
 - Útbreiðslusvæði
tiltekinnar trjátegundar





Beyki (*Fagus sylvatica*)

Á útbreiðslusvæði tegundar er:

- Mældur lágmarkshiti: -40°C
- Meðalhiti kaldasta mánaðar: -
4,5 til 10°C
- Meðalnæturhiti í kaldasta mánuði: -15 til $+5^{\circ}\text{C}$
- Meðalhiti hlýjasta mánaðar: $15,5^{\circ}\text{C}$ (lægri mörk)
- lágmarksúrcoma í þurrasta mánuði: 25 mm
- Meðalúrcoma í þurrasta mánuði: 30 mm



beyki í garði í Hveragerði



Eik (*Quercus robur*)

Á útbreiðslusvæði tegundar er:

- Mældur lágmarkshiti: -45°C
- Meðalhiti kaldasta mánaðar: -20 til 10°C
- Meðalnæturhiti í kaldasta mánuði: -30 til $+5^{\circ}\text{C}$
- Meðalhiti hlýjasta mánaðar: 14°C (lægri mörk)
- lágmarksúrcoma í þurrasta mánuði: 15 mm
- Meðalúrcoma í þurrasta mánuði: 20 mm



Sumareik í garði á Akureyri



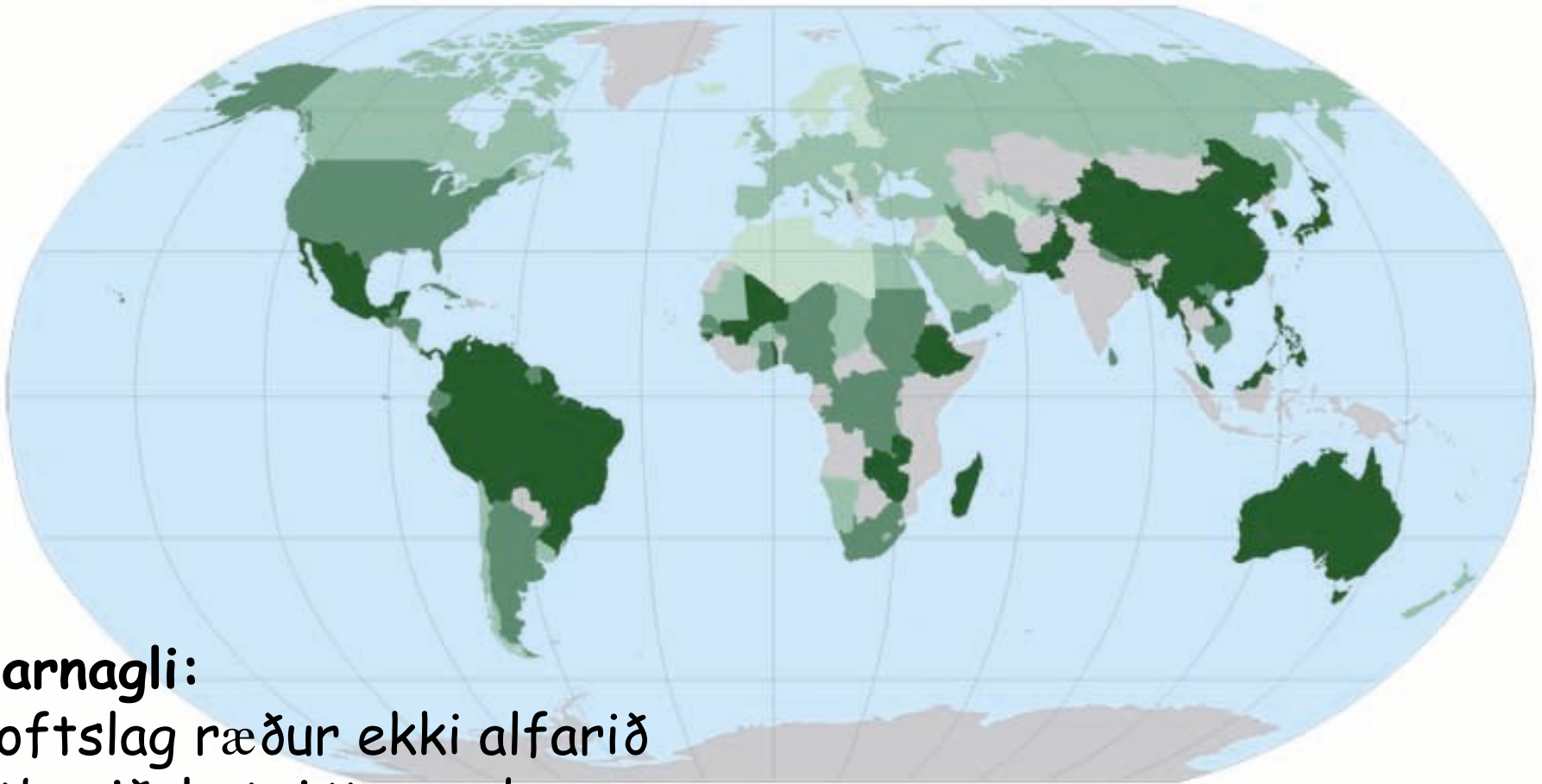
Birki (*Betula pubescens*)

Á útbreiðslusvæði tegundar er:

- Mældur lágmarkshiti: -65°C
- Meðalhiti kaldasta mánaðar: -
 -35 til $+5^{\circ}\text{C}$
- Meðalnæturhiti í kaldasta mánuði: -45 til $+3^{\circ}\text{C}$
- Meðalhiti hlýjasta mánaðar: 10°C (lægri mörk)
 18°C (efri mörk)
- lágmarksúrcoma í þurrasta mánuði: 10 mm
- Meðalúrcoma í þurrasta mánuði: 20 mm



Birki í Þjórsárdal

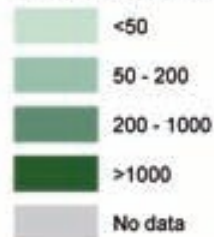


Varnagli:

Loftslag ræður ekki alfarið útbreiðslu trjátegunda

Tilviljanir, landfræðileg einangrun á eyjum o.s.frv.

Number of Species



Fjöldi trjátegunda eftir löndum

(Ísland tegundafátækasta land heims)

Fjöldi trjátegunda (hærrí en 3 m) í Norður-Ameríku



Heimild:

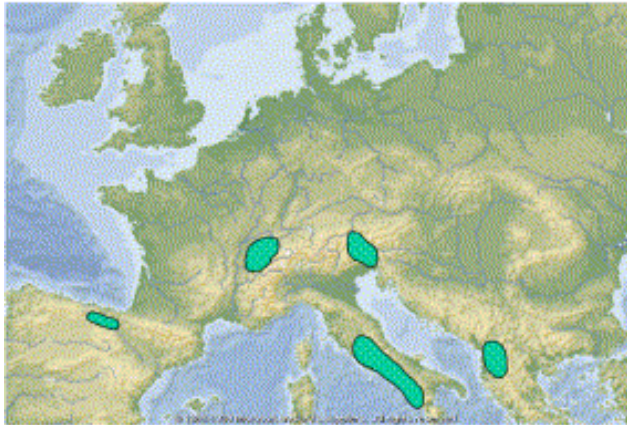
Currie DJ, Paquin V. 1987.
Large-scale biogeographical
patterns of species richness
of trees. *Nature* 329: 326-
327



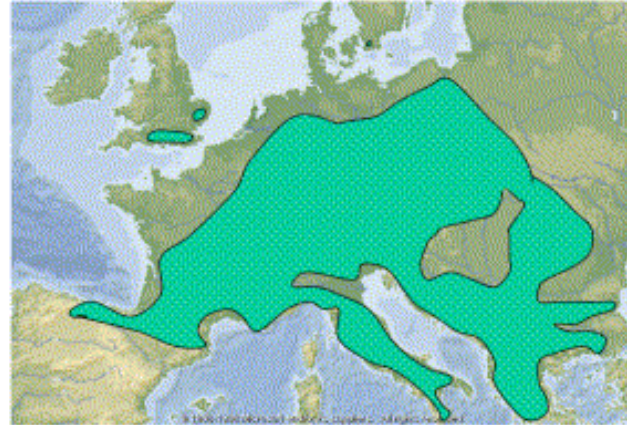
Ísland: 3 stk.

Sumar trjátegundir voru seinar á ferð, t.d. beyki (*Fagus sylvatica*)

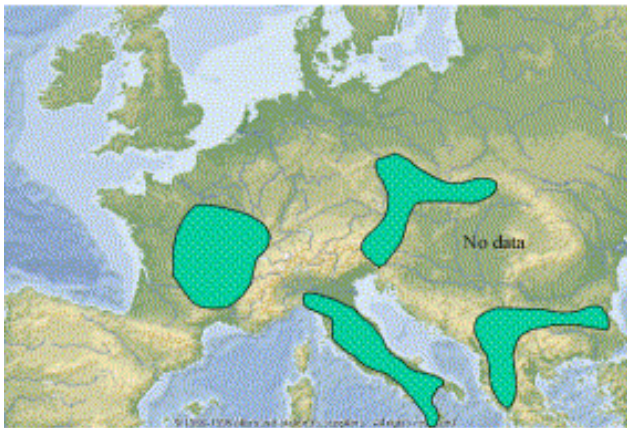
(a) *Fagus* 7000 years ago



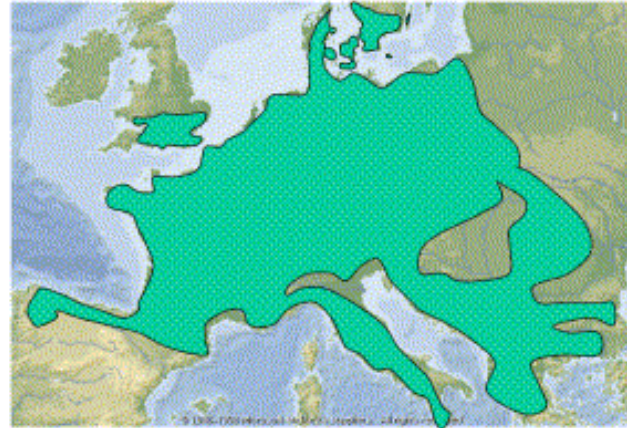
(c) *Fagus* 3000 years ago



(b) *Fagus* 5000 years ago



(d) *Fagus* 1000 years ago



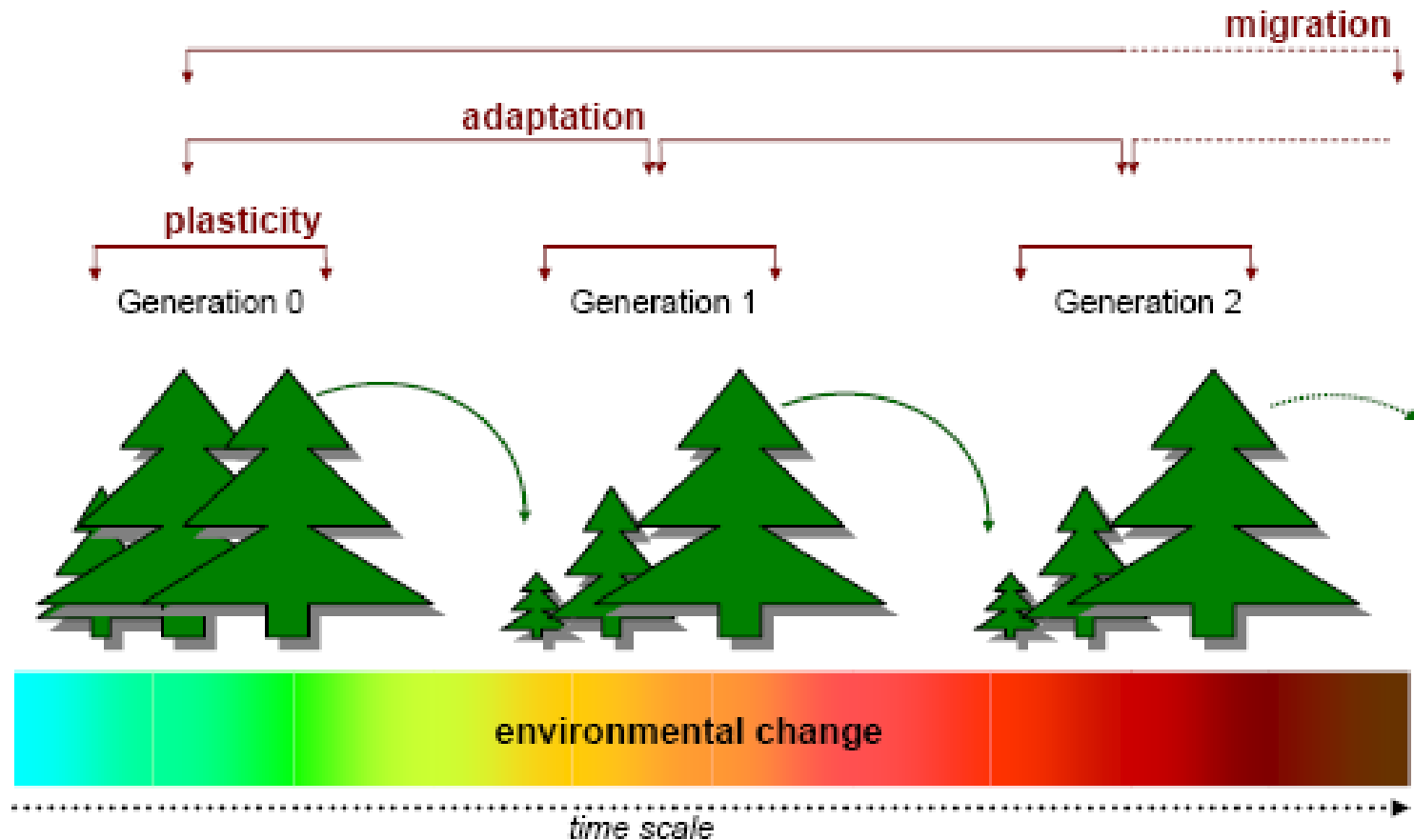
Hvað leiðir eru trjám færar er þau eiga að lifa af loftslagsbreytingar?

- Þrjár leiðir færar fyrir tré að mæta stórfelldum breytingum í umhverfi sínu:
 - Sveigjanleiki (e. *plasticity*) / ílending (e. *acclimation*).
 - Hvert tré getur þolað breytilegar aðstæður, upp að vissu marki
 - Aðlögun (e. *adaptation*)
 - Úrval meðal afkvæma sem sýna mestu hæfni til að þola breytt umhverfi.
 - en þá verður að vera nógur erfðabreytileiki fyrir hendi!
 - „Búferlaflutningar“ (e. *migration*)
 - með dreifingu fræja um langan veg og sjálfsáningu (eða markvissan flutning á ný búsvæði), þar sem tegundin getur skotið rótum við hagstæðari skilyrði, eða
 - með blöndun við aðrar tegundir (D: birki x fjalldrapi)



Hvernig geta trén tekist á við loftslagsbreytingar og lifað þær af? Svarið ræðst af tímaskalanum

Time scale for climate change ~ generation time for trees

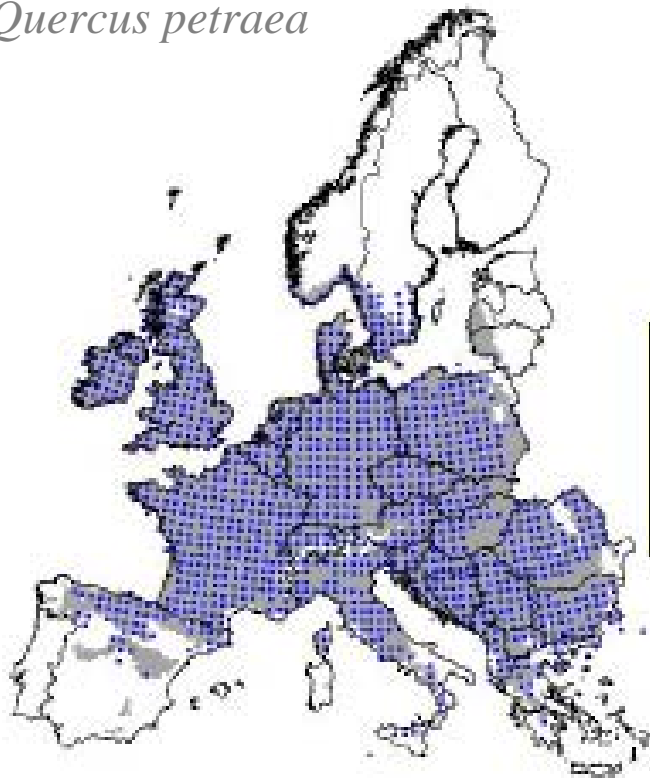


(mynd: Bruno Fady)

Hvað verður um þau tré sem verða eftir á svæðum sem ekki eru lengur „kjörin til búsetu“ (eru á *streitusviði*)?

Sveigjanleiki í svipgerð (e. Phenotypic plasticity)

Quercus petraea

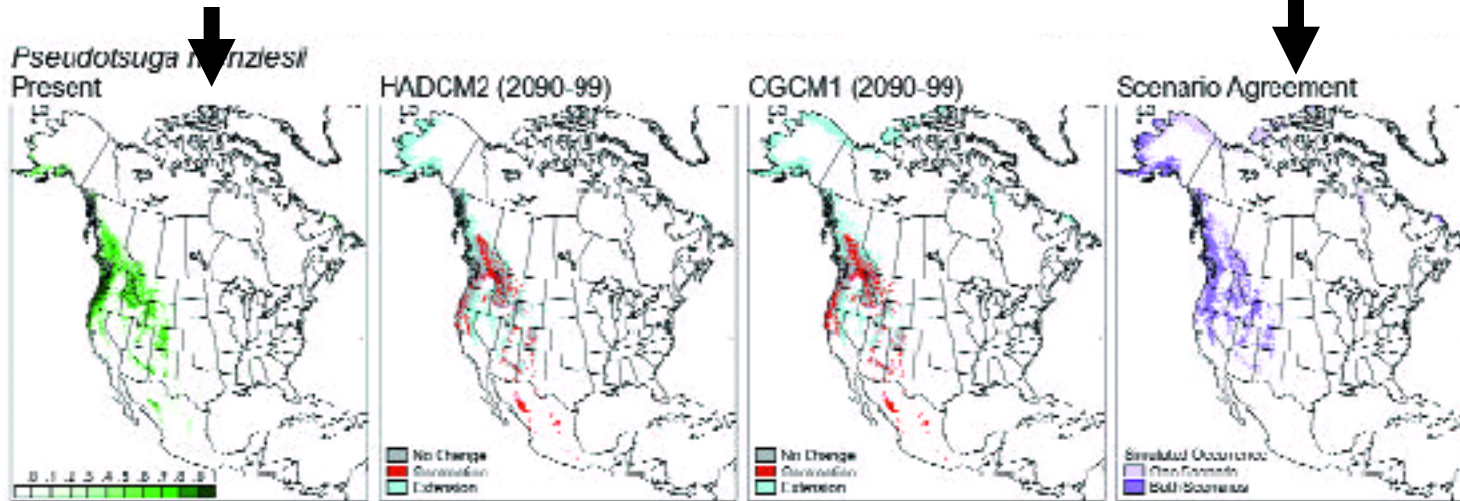


- ræður m.a. getu tegundar til að þrífast í tilteknu, breytilegu umhverfi og útbreiðslumöguleikum tegundarinnar.

... En það er takmörk fyrir öllum sveigjanleika
Hvað verður um trén þegar hitafar er komið langt
út fyrir kjörstig (= á streitu- eða óþolssviði)?

Útbreiðsla
árið 2000

Útbreiðsla
árið 2100



Rautt: deyr út Grátt: heldur velli
Ljósgrænblátt: Færir út kvíarnar

Líkan um núverandi og breytta útbreiðslu
döglingsviðar/myrkárpolls (*Pseudotsuga menziesii*) í N-Ameríku

... En það er takmörk fyrir öllum sveigjanleika
Trén deyja, eða hættu a.m.k. að fjölga sér!



Aðlögun ónóg,
þótt kvæmið sé
búið að vaxa á
staðnum í a.m.k.
10 þús. ár

Dauður hvítþinur (*Abies alba*) eftir ofurhita
sumarið 2003 í
S-Frakklandi (Mont
Ventoux, 1200 m h.y.s.).

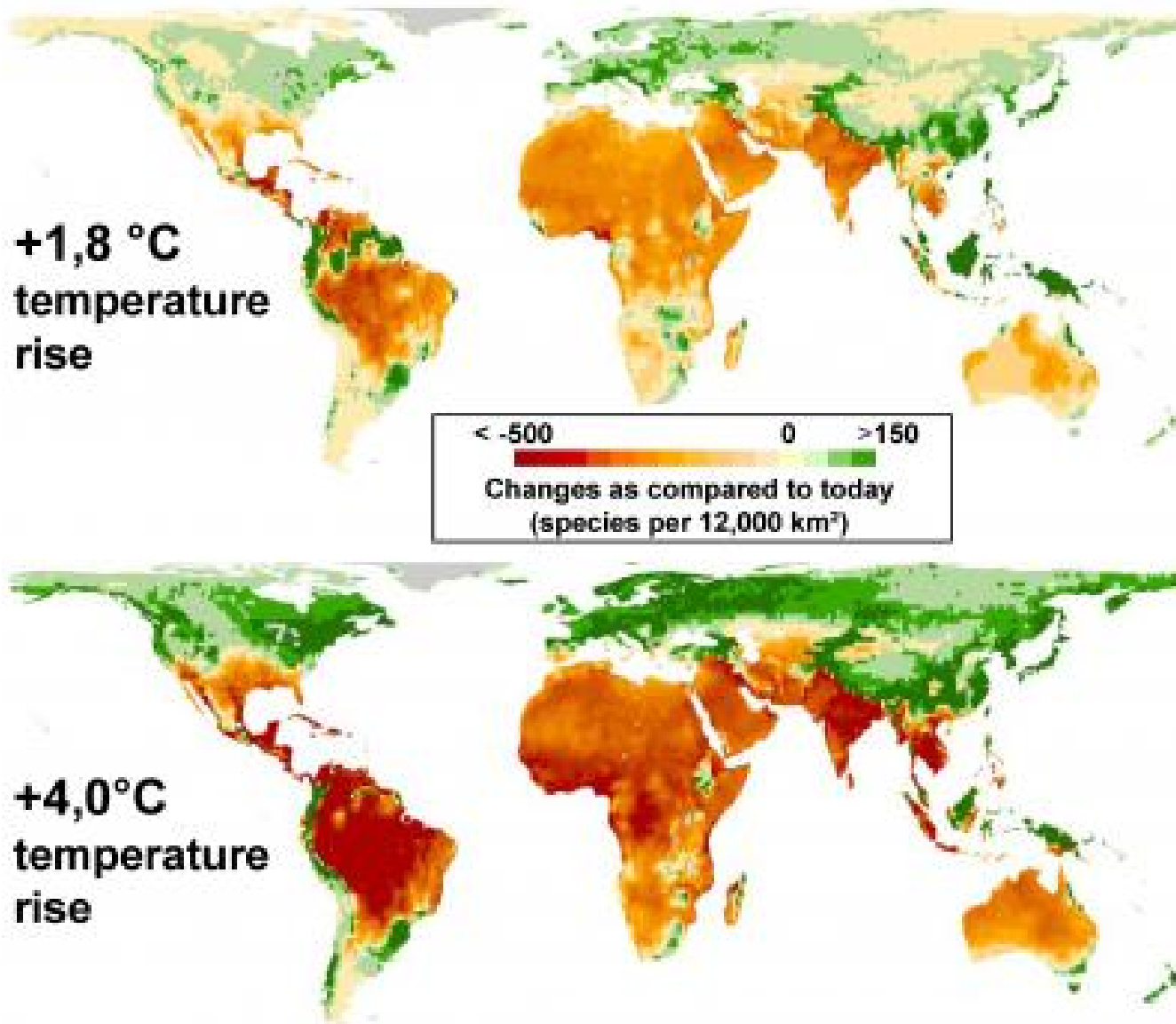


Myndir: Bruno Fady



Plant diversity and climate change

Possible changes in the climatic potential for plant species richness by 2100 as compared to today

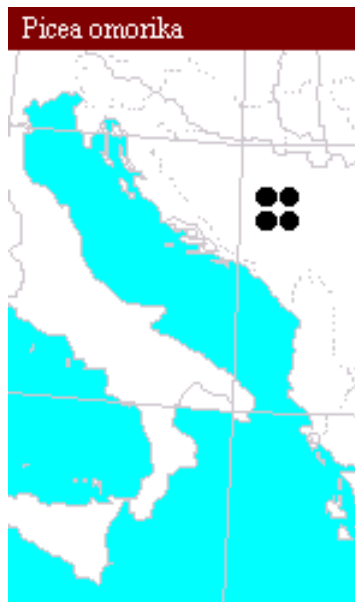


- Climate change will have a clear impact on plant diversity worldwide. Today's cool and moist areas could in future offer habitats for additional species (green areas on the maps), in arid and hot regions the climatic prerequisites for a high species richness will deteriorate (orange-red areas on the maps). The illustration shows a comparison of the conservative 1.8°C scenario (IPCC B1) and a 4.0°C scenario (IPCC A1FI) which, if present climate policy is maintained, is clearly the more likely. Credit: (c) University of Bonn

Náttúrlegur furuskógur (*Pinus pallasiana*) á Kýpur (sem haldið hefur velli í milljónir ára)



Í Evrópu steðjar mest útrýmingarhætta að fágætum tegundum í fjöllum við Miðjarðarhaf sem hafa afar takmarkaða útbreiðslu



Serbagreni (*Picea omorika*)

Slíkum tegundum gæti þurft að "bjarga" með því → að rækta þær norðar



Balkanfura
(*Pinus peuce*)

Pinus leucodermis
Abies borisii-regis
og margar fleiri



Hvað verður um trén þegar hitafar er komið langt út fyrir þolmörk?

Aðlögun



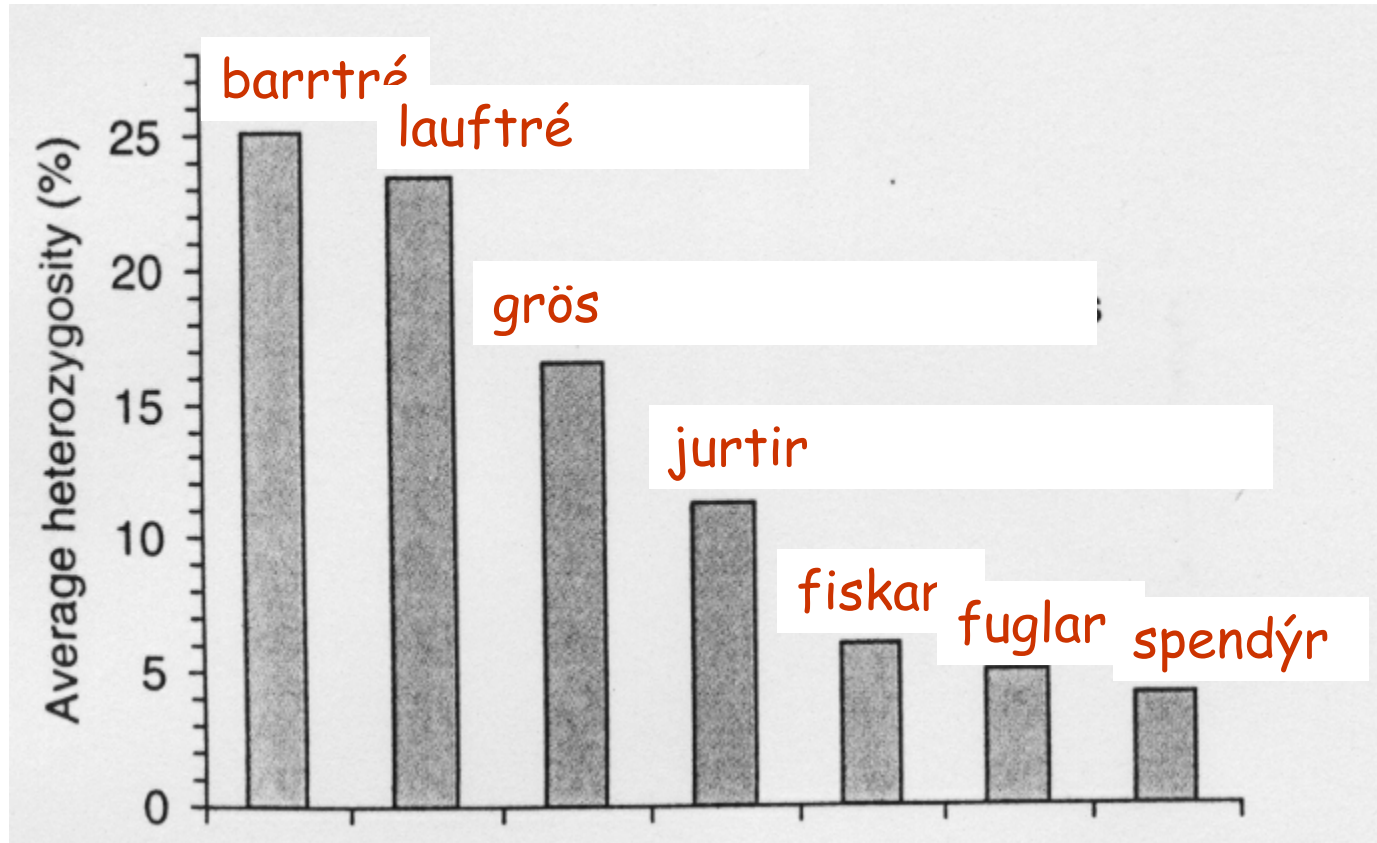
Adaptation.
Nicolas Cage

Tré:

- eru erfðafræðilega afar breytileg (á við um flestar trjátegundir)
- sýna hnig (e. cline) eftir t.d. breiddargráðu eða hæð yfir sjávarmáli í mörgum arfgengum eiginleikum sem tengjast aðlögun
 - D: dvalarof að vori eða brumproski síðsumars

Það ættu því að vera möguleikar á erfðafræðilegri aðlögun þegar breytingar verða á umhverfi

Erfðafræðileg misleitni (heterozygosity) meðal lífvera



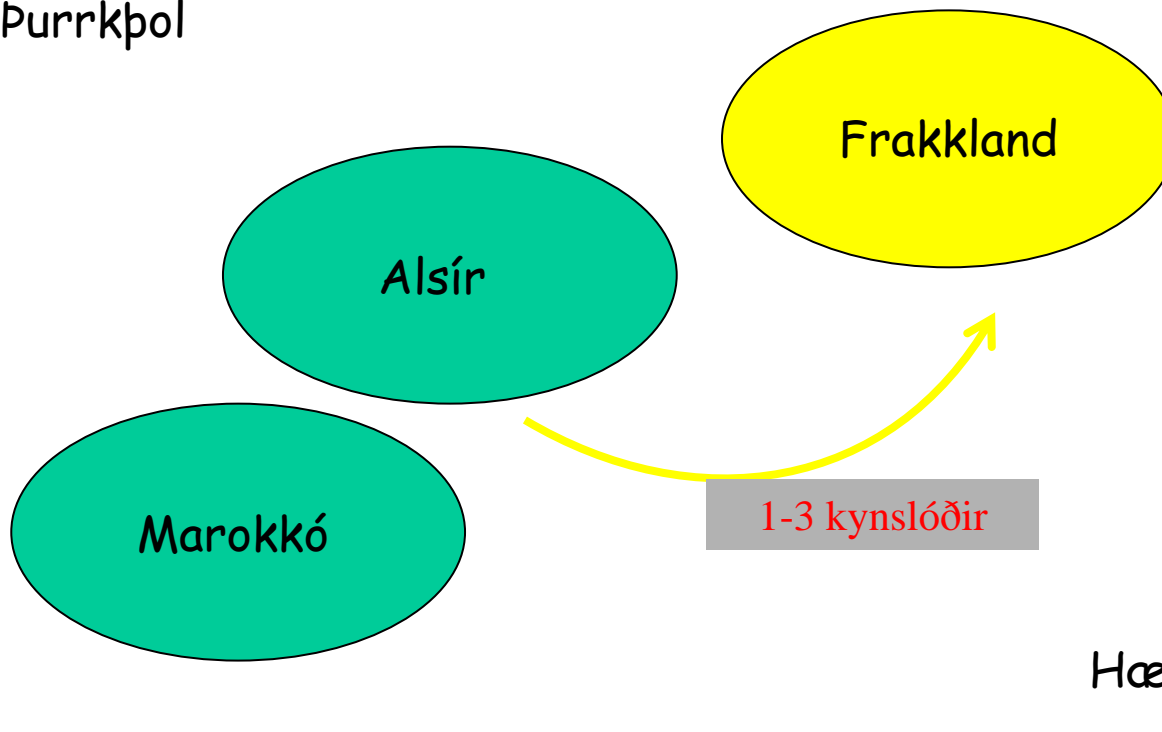
- Tré almennt, og barrtré sérstaklega:
 - 'hlaðin' erfðabreytileika
 - Trygging fyrir varðveislu erfðabreytileika innan tegunda

Hvað verður um trén þegar hitafar er komið langt út fyrir þolmörk?

Aðlögun

Dæmi: Sedrusviður frá N-Afríku (*Cedrus atlantica*) í Frakklandi

Þurrkþol



Hæðarvöxtur

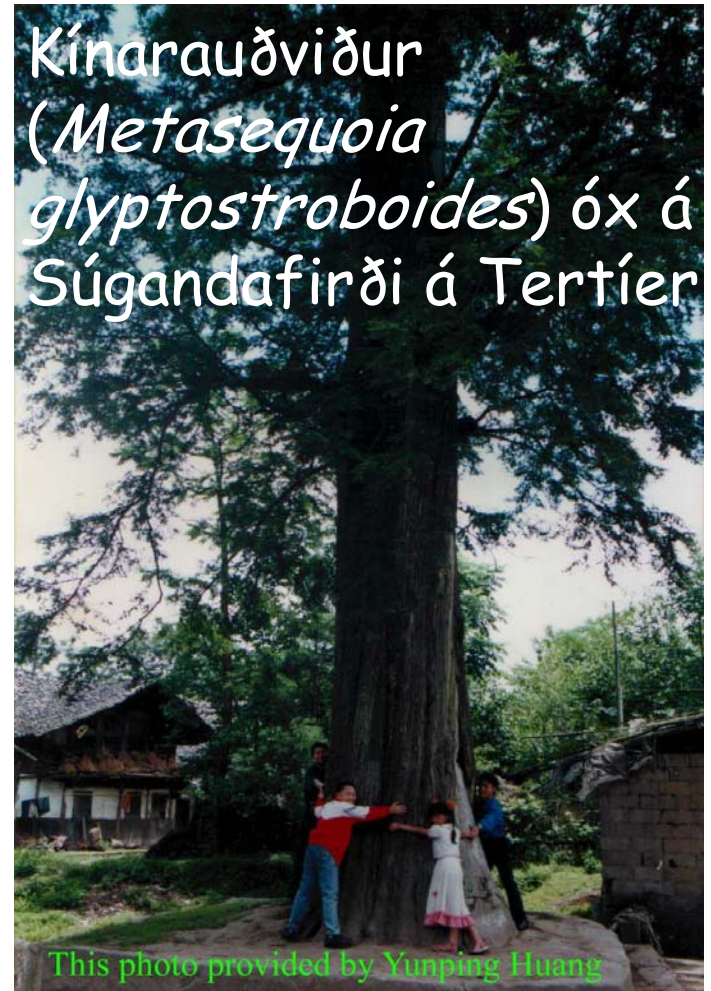

(Bruno Fady)

"vistkreppa" getur framkallað öra aðlögun að nýjum aðstæðum, með úrvali og "erfðafræðilegum flöskuháls" ==> hráefni í kynbætur!!

Hvað gerist þegar vistfræðilegar aðstæður eru ekki lengur hentugar (streitusvið-óþolssvið)?

Aðlögun er möguleg, en...

- Þrátt fyrir erfðafræðilega fjölbreytni innan trjátegunda, urðu margar útdauðar í Evrópu, vegna loftslagsbreytinga, á Ísöld. *Taxodium, Sequoia, Cedrus, ...*



Friðgeir Grímsson: The Miocene Floras of Iceland (2007)

- Tegunda-samsetning skóga á Barðaströnd á miósen (f. 15 m árum)
- Rauðviðir, beyki, álmur, hrossakastanía, lind, magnólía, lífviðir, greni, lyngrósir o.fl.

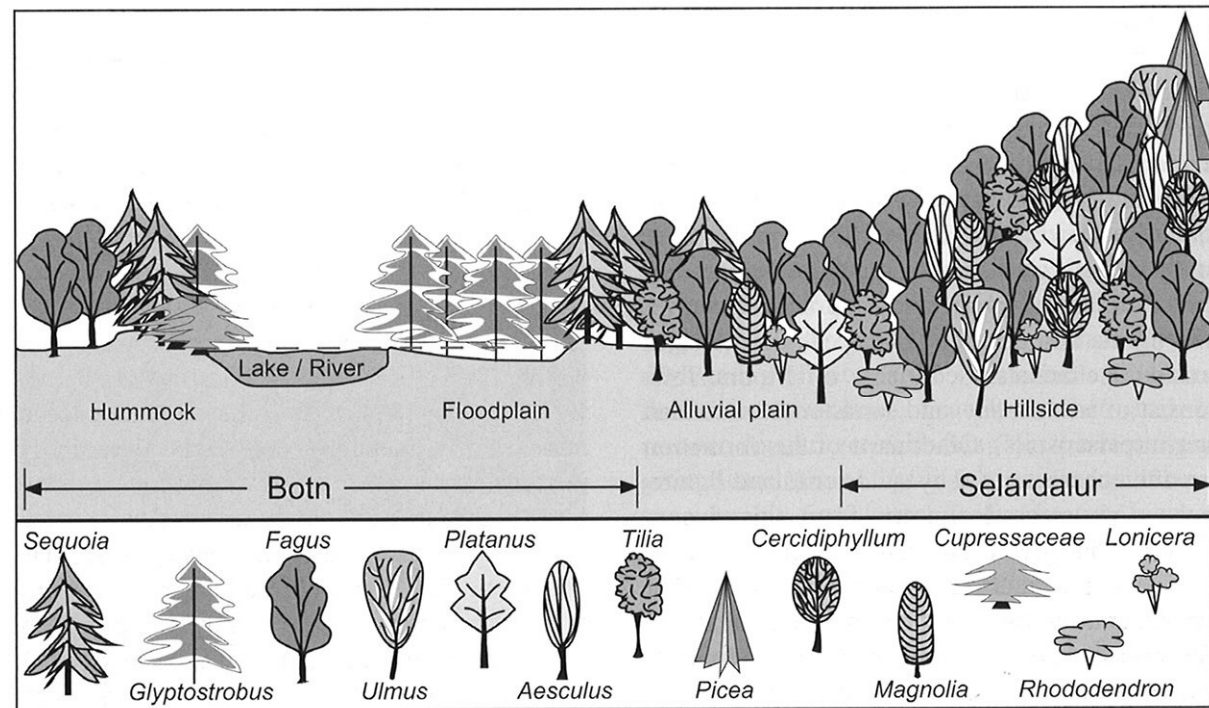


Figure 4.

Reconstruction of the oldest woody vegetation known from Icelandic Miocene sediments.

*Hvað gerist þegar vistfræðilegar aðstæður eru ekki lengur hentugar (streitusvið-óþolssvið)?
Aðlögun er möguleg, en seinleg*

Eiginleikar sem ráða hæfni til að lifa af (e. fitness) ráðast af mörgum genum og áhrif genanna geta verið margbreytileg..

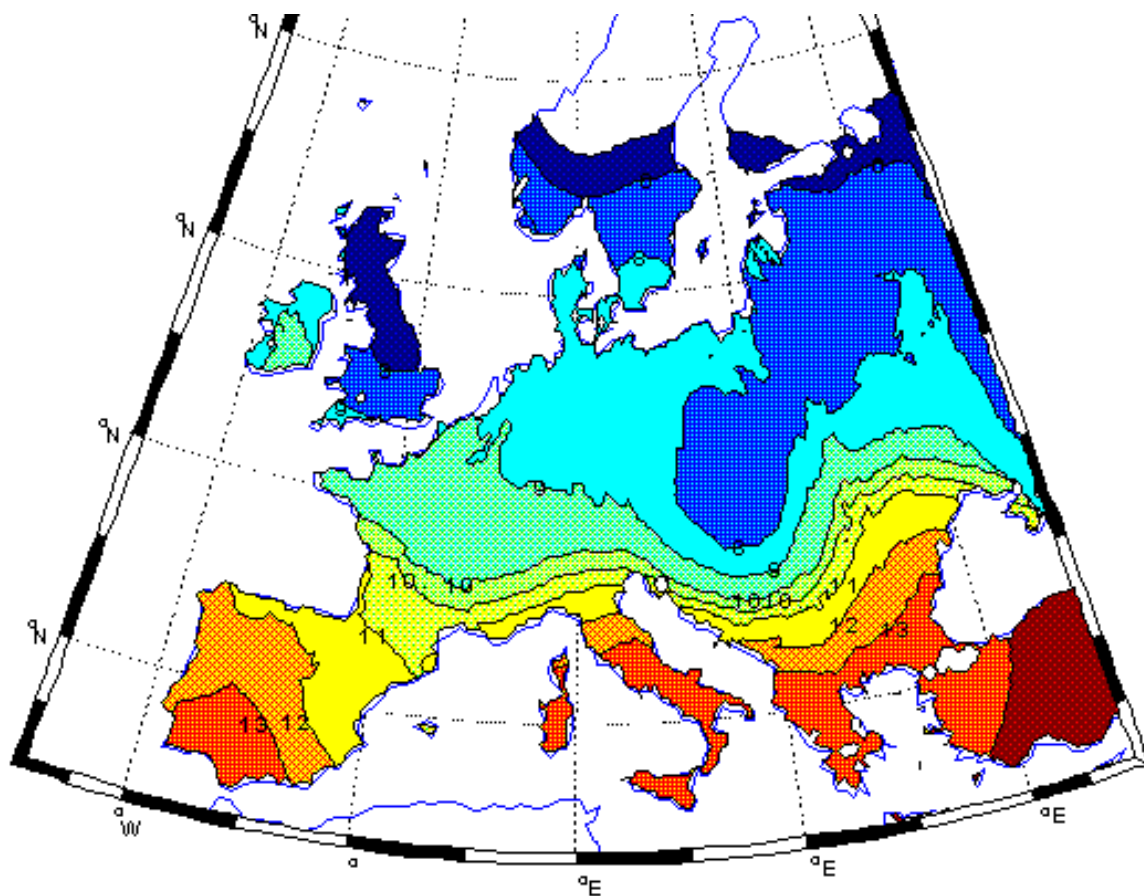
- Hjá skógarfuru (*Pinus sylvestris*) þarf allt að 12 kynslóðir til þess að aðlögun að loftslagsbreytingum geti verið fullnægjandi (Rehfeldt et al. 2002 *Global Change Biology*)=> þetta getur tekið 1000 ár!

- hjá kvæmi á útjaðri útbreiðslusvæðisins (í framrás í hlýnandi loftslagi) er erfðabreytileiki jafnan minni en hjá kvæmi við miðbik útbreiðslusvæðisins.



Eina lausnin fyrir tegundina: að leggja á flóttu og finna sér ný heimkynni?

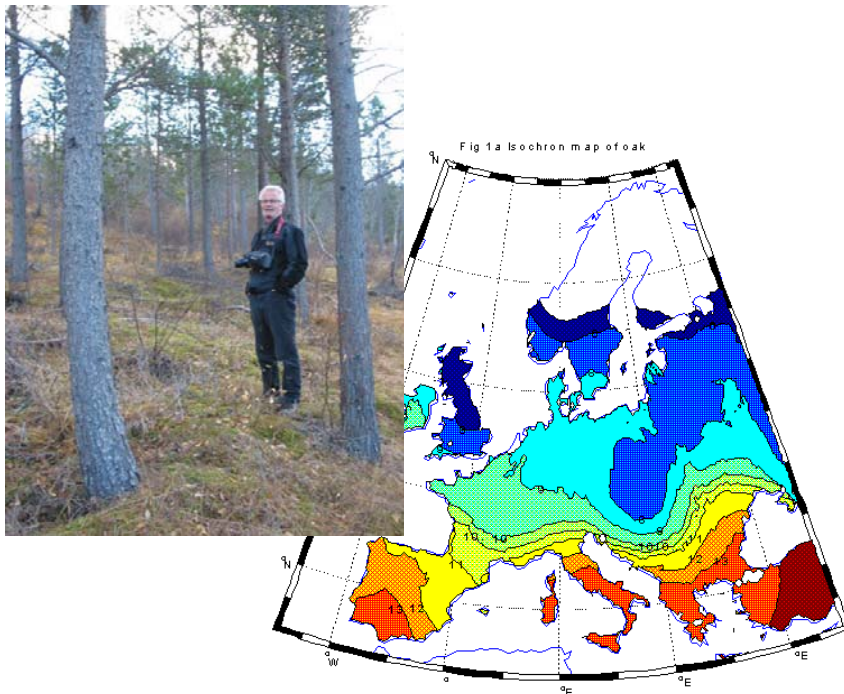
Dreifing um langan veg



Frjókornarannsóknir benda til að trjátegundir hafi skjótt numið land í Evrópu eftir síðustu Ísöld (allt að 500 m á ári að jafnaði á síðustu 12 þús. árum) ... er það nóg?

Er dreifingarhæfnin nægjanleg til að fylgja loftslagsbreytingum?

"... arfgerðir skógarfuru (*Pinus sylvestris*) sem munu best henta aðstæðum árið 2090 er nú að finna meira en 1000 km frá þeim stað sem þeim mun best henta í framtíðinni" (Rehfeldt et al. 2002 *Global Change Biology*)

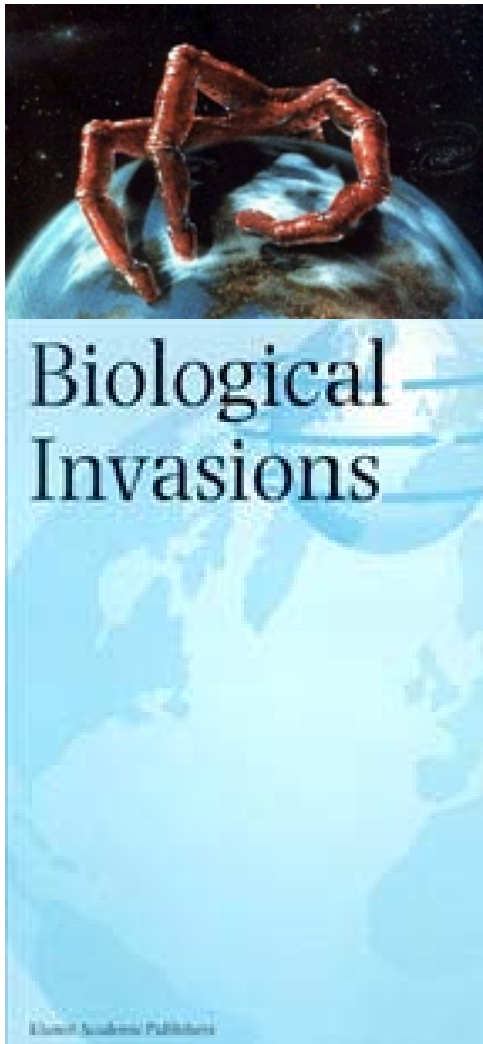


==> það mun taka 2000 ár að komast (með náttúrl. hætti) á svæði þar sem skilyrði verða hentug árið 2090!!

+

núverandi landnýting og landfræðilegar aðstæður (fjöll, borgir, akurlendi) hindra dreifingu!

Stjórnvaldsákvarðanir og eftirlitsiðnaður gætu hamlað tilflutningi flóru og fínu milli landssvæða



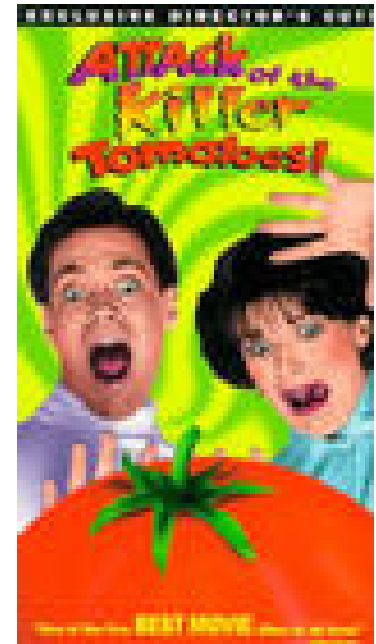
- Innrásarlíffræði = *Invasion biology*
- Nýtt fræðasvið innan vistfræði
- Mikil pólitísk áhrif, s.s. í löggjöf
 - Noregs
 - Íslands?
 - Ný náttúruverndar lög væntanleg með haustinu



Aukinn fjöldi framandi plöntutegunda
→ fjölgun plöntutegunda → ↑ (líffr. fjölbr.)

- Eftir landnám Evrópumanna á Kyrrahafseyjum hafa sárafáar "einlendar" plöntutegundir dáið út, en fjöldi tegunda ríflega tvöfaldast:
 - Nýja-Sjáland: úr 2000 í 4000
 - Hawaii: úr 1300 í 2300
 - Lord Howe eyja: úr 221 í 421
 - Páskaeyja: úr 50 í 111
 - Pitcairneyja: úr 44 í 80
- *Tegundafjölbreytni plantna hefur m.ö.o. aukist með innflutningi framandi tegunda, og líffræðileg fjölbreytni þar með*

Sax, D.F., Gaines, S.D. and Brown, J.H. 2002. Species invasions exceed extinctions on islands worldwide: a comparative study of plants and birds. American Naturalist 160: 766-783.



„Ágengar framandi tegundir og meintur skaði af þeirra völdum á einangruðum eyjum í Kyrrahafi“

Hvað mun gerast með trjátegundir og skógarvistkerfi í framtíðinni?

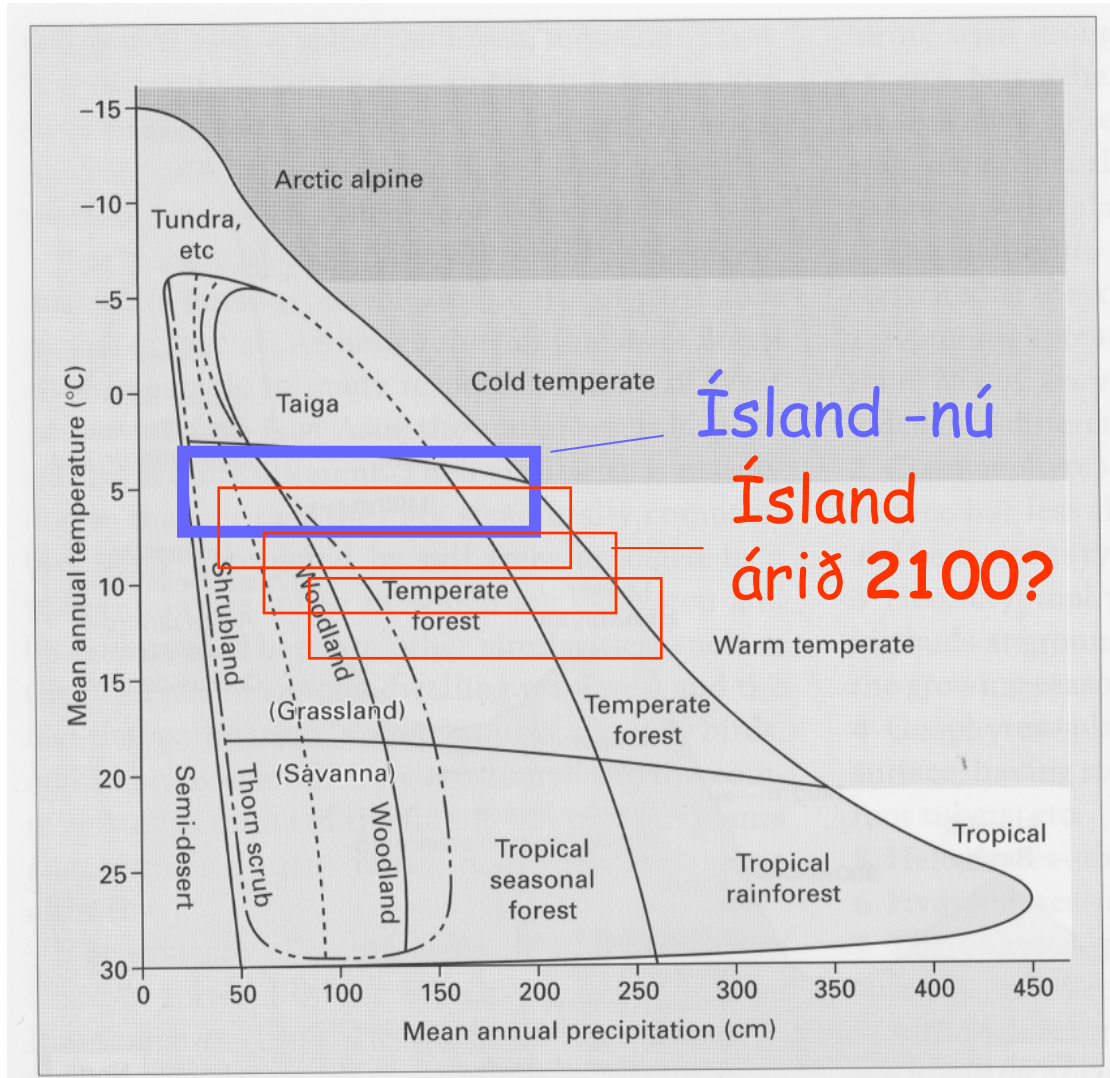
Að sjálfsgöðu geta trén:

- sýnt sveigjanleika,
- aðlagast,
- flutt sig um set ...

... en aðeins upp að vissu marki!

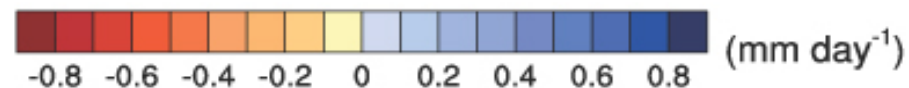
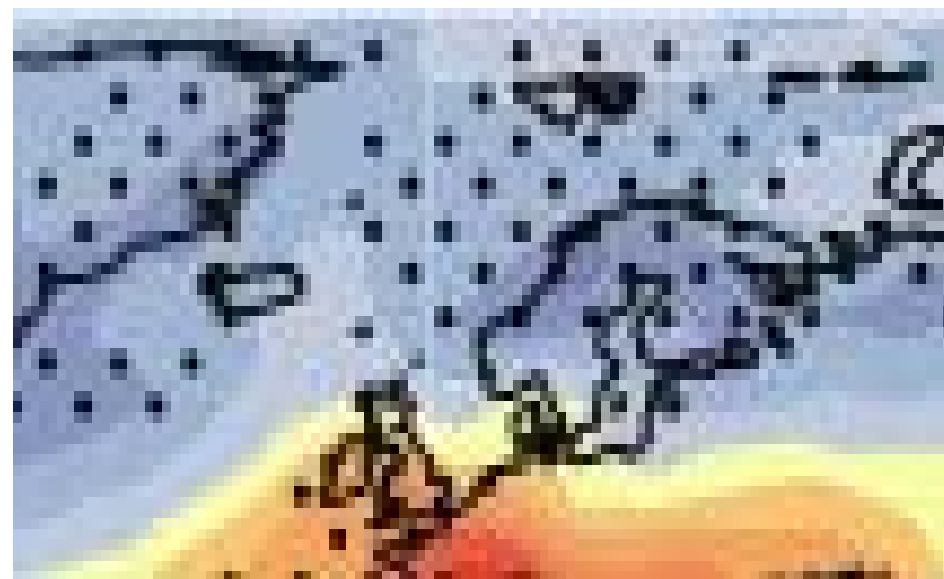
Mennirnir verða að hafa hönd í bagga með þróuninni, og hér reynir á getu til ákvarðana, stefnumörkunur og stýringar, hnattrænt og innan þjóðríkja. **Er sú geta fyrir hendi?**

Íslensk skógrækt í hlýrri heimi



Norræna sviðsmyndin (A1B, JJA 2080-2099)

= aukinn sumarhiti (+2 to 4.5°C) og úrkoma (0.1 to 0.3 mm á dag)!



Norræna sviðsmyndin (A1B, DJF 2080-2099)

= aukinn vetrarhititi (+2 - 7°C) og aukin rigning (0.1 to 0.4 mm á dag)!



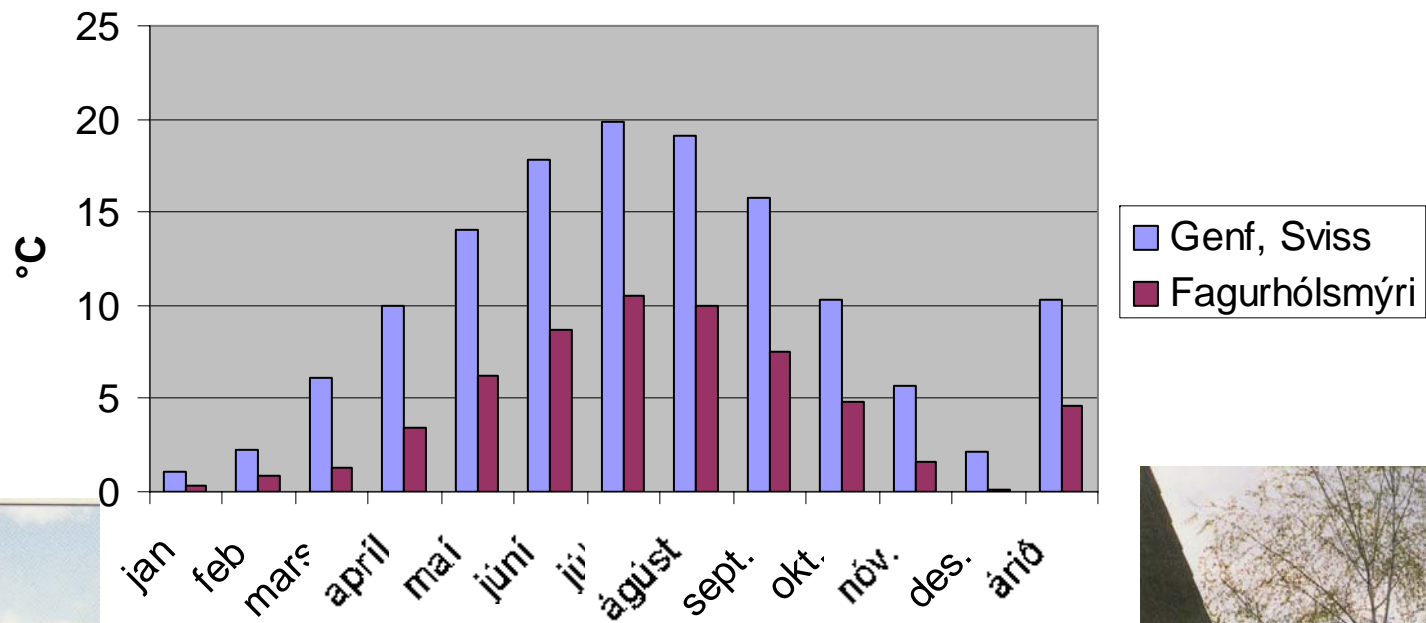


Örlög íslenska birkisins í breyttu loftslagi

- 12 ára gamlar íslenskar bjarkir í garði Theodórs Lúðvíkssonar, í Frakklandi (v. svissnesku landamærin)
- 600 m yfir sjávarmáli og 500 km frá Miðjarðarhafi
- Líklega af Bæjarstaðaruppruna
- Heimild: Laufblaðið, 2001



Samanburður á meðalhita á Fagurhólsmýri á Fagurhólsmýri í Öræfum og Genf í Sviss



Íslenska birkið



Niðurstaða, út frá afar takmörkuðu gagnasafni:
-íslensku birki er ekki bráð hættu búin þótt hlýni umtalsvert

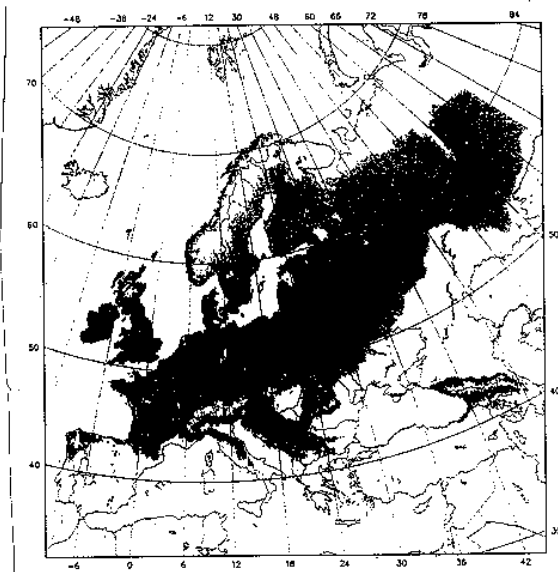


Franska birkið

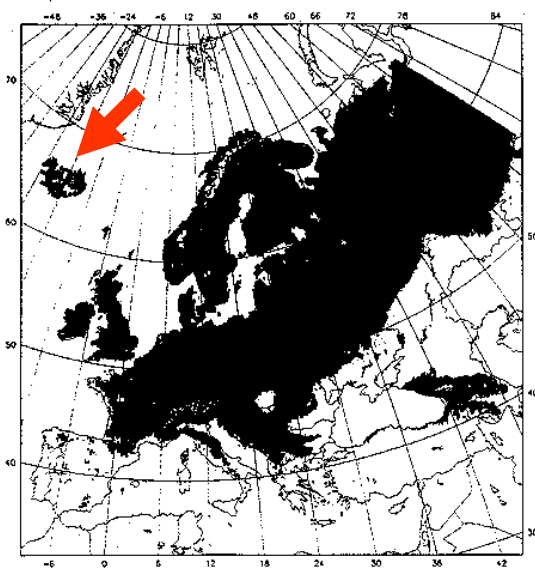
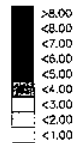
Útbreiðsla hengibjarkar (*Betula pendula*) fyrir við núverandi og tvöfaldaðan styrk CO_2

Núverandi útbreiðsla

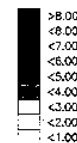
Útbreiðslan um 2050?



Betula pendula



Betula pendula future climate



Heimild: Sykes, Prentice & Cramer 1996

Örlög lævirkjatrésins

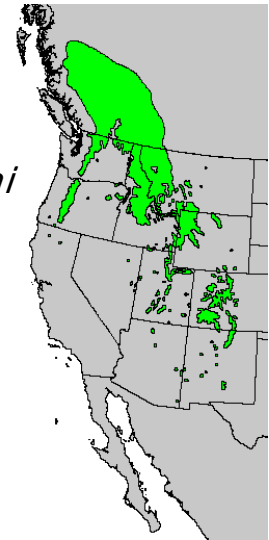
- Rússalerki (*Larix sibirica* L.) hefur til skamms tíma verið mest gróðursetta tegundin í íslenskri skógrækt
- Þrífst ekki á Bretlandseyjum vegna mildra vetra, síðvetrar- og vorkals (Mitchell. A. F. Conifers in the British Isles. HMSO 1975)
- Skemmdir og afföll á Suður- og Vesturlandi nú þegar meiri en við verður unað
- Ef hlýnar um 3-4°C heyrir rússalerki sögunni til í skógrækt víðast hvar á landinu
- Aðrar lerkitegundir (evrópulerki, japanslerki, sífjalerki) gætu tekið sess rússalerkis



Loftslagssumbúnaður og
útbreiðsla
þriggja N-amerískra
grenitegunda

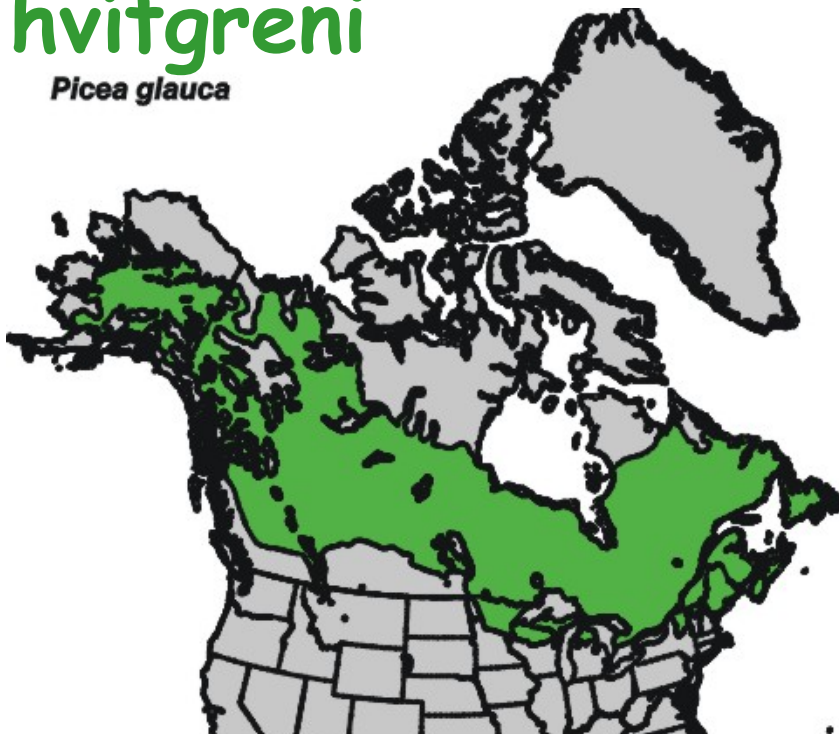
blágreni

Picea engelmanni



hvítgreni

Picea glauca

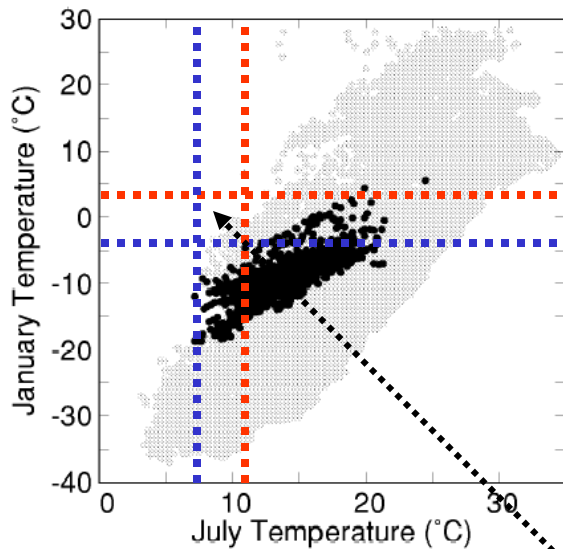


sitkagreni

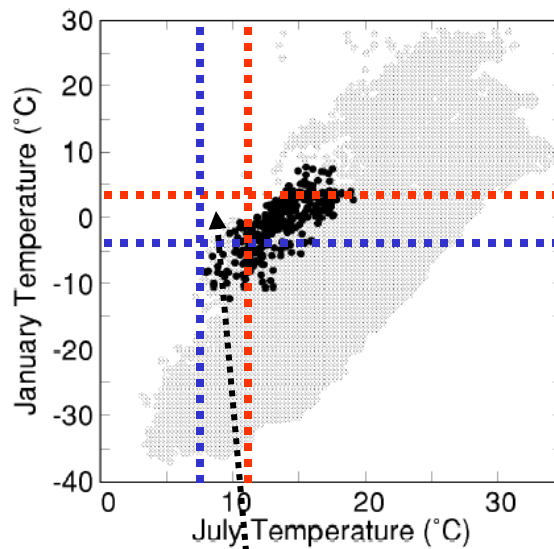
Picea sitchensis



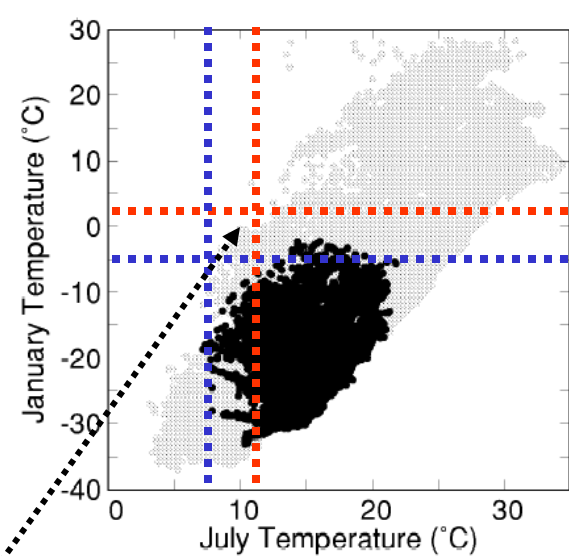
Náttúrlegur hitafarsumbúnaður og hitafar á Íslandi (1961-90)



blágreni



sitkagreni

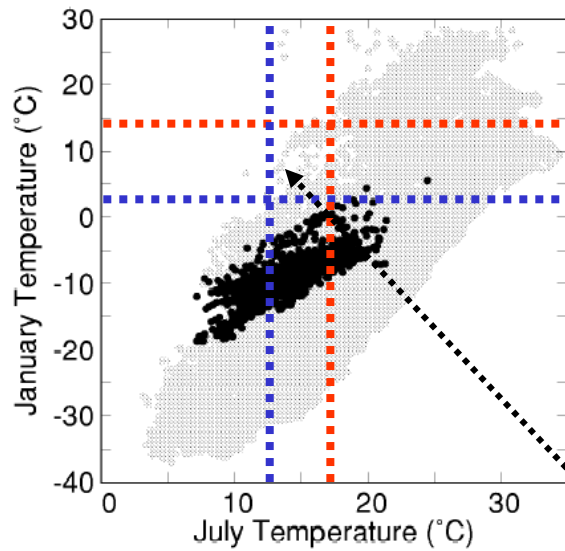


hvítgreni

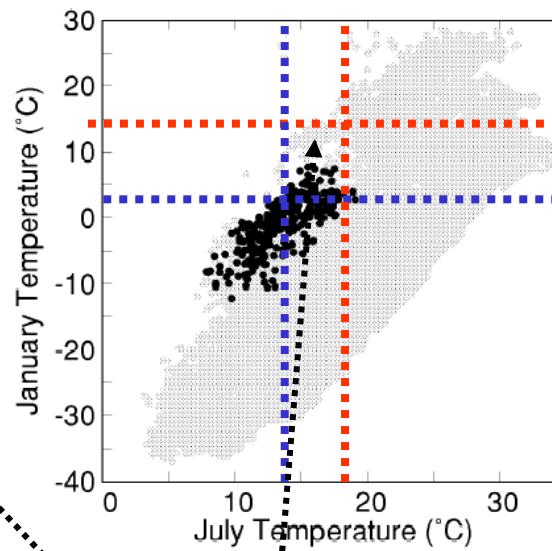


Náttúrleg hitafarsútbreiðsla og hitafar á Íslandi 2100

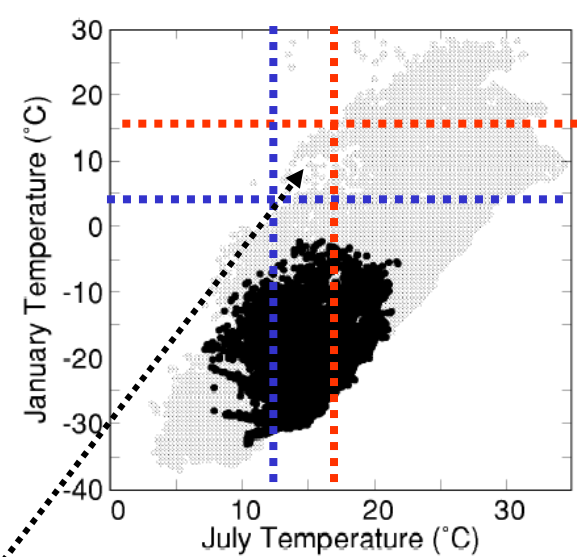
(hækkun um 4°C)



blágreini



sitkagreni



hvítgreini





Við hækkun hita
(einkum vetrarhita):

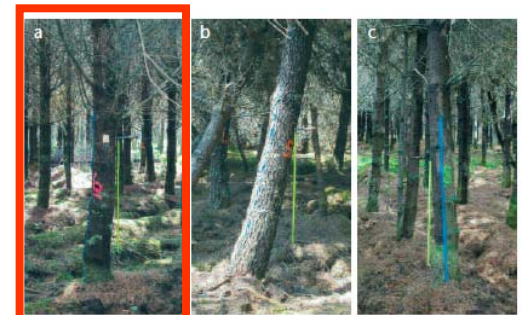
- hvítgreni og blágreni
verr aðlagað íslensku
hitafari (??)
- sitkagreni vegnar
betur en áður



Ályktun:

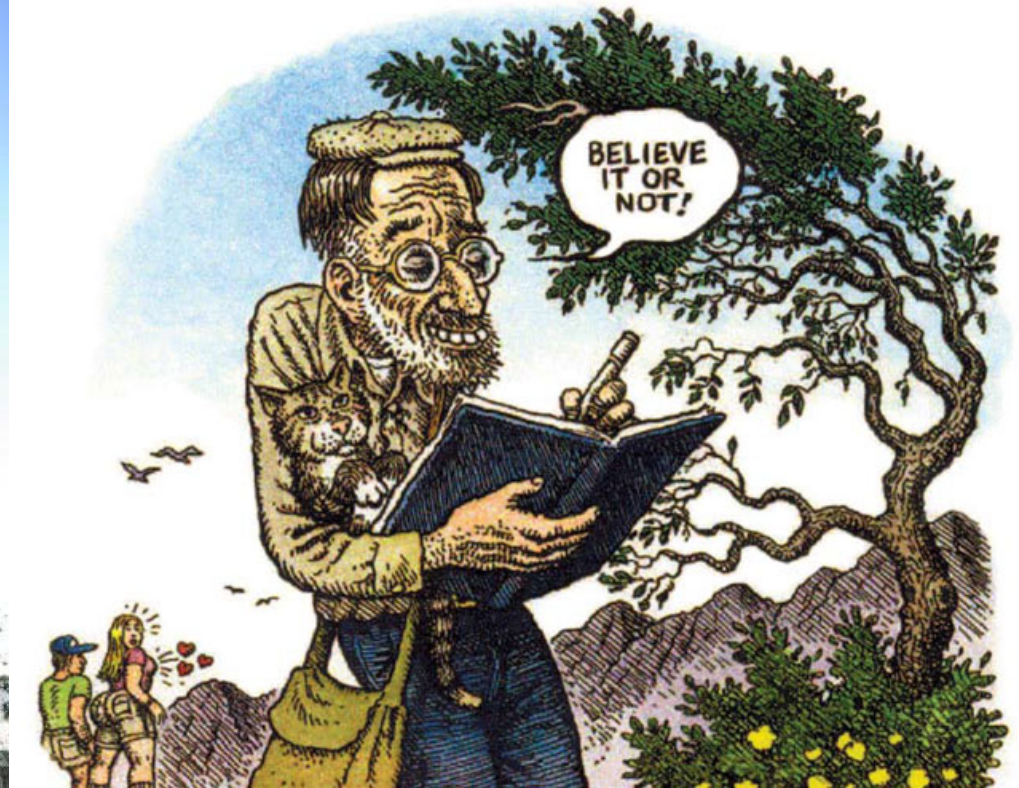
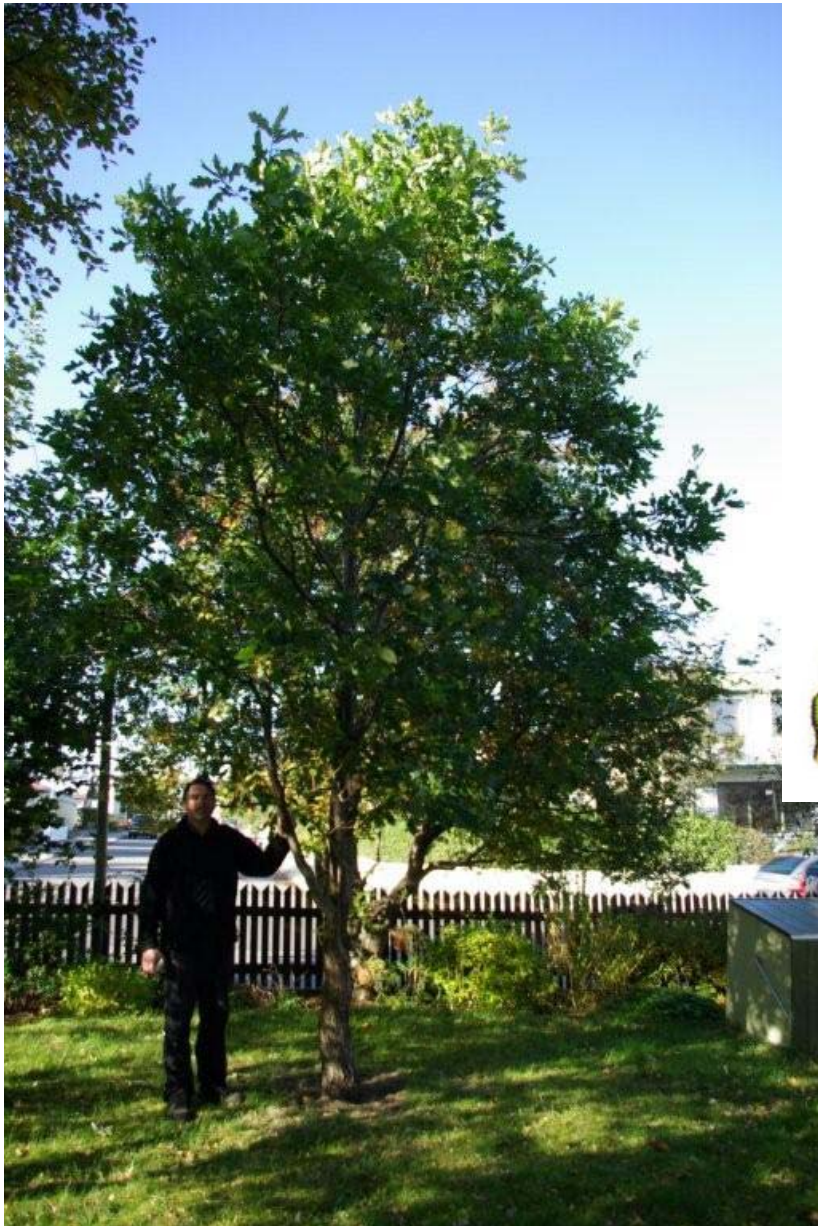
Sömu sitkagreni- og
stafafurukvæmi og við
ræktum hér er að finna
í írskum og skoskum
kvæmatilraunum
-og þrífast vel!

-stafafura frá Alaska í Skotlandi



Niðurstaða

- Hnattræn hlýnun um fáeinar gráður mun hafa víðtæk, stórfelld og víða neikvæð áhrif á líffræðilega fjölbreytni í heiminum
 - Margslungin áhrif á lífkerfi, valdur að útrýmingu tegunda og staðbundinna stofna tegunda
- Fyrir skógrækt á Íslandi munu áhrif hlýnunar líklega f.o.f. felast í auknum möguleikum: betri árangur af skógrækt (skógrækt kemur í stað s.k. „landgræðslu“, framleiðni skóga verður meiri og ræktaðir skógar verða tegundafjölbreyttari)
- Flestar trjátegundir sem eru hér í ræktun munu þrífast betur í hlýrra loftslagi
 - *Þó ekki allar!*
- Vegna hraða spáðra hitabreytinga, mun aðlögun lífríkis að hnattrænni hlýnun krefjast flutnings tegunda (og erfðahópa innan tegunda) til nýrra heimkynna, til þess að fyrirbyggja útrýmingu tegunda
 - “Mannkyn verður að taka þátt í þróunarferlinu”
 - Á Ísland að verða “griðastaður” útlendra tegunda í útrýmingarhættu?



← 30 ára gömul sumareik
(*Quercus robur*) í garði
í Reykjavík (2009)



An advertisement for GLITNIR Smart Banking. The background is a misty forest with sunlight filtering through the trees. In the upper right, there is a white grid with a red line graph showing an upward trend. Below the grid, the text reads "MARKETS GO UP AND DOWN IT'S SUSTAINABLE GROWTH THAT COUNTS". In the bottom right corner, there is a red logo for "GLITNIR" with the tagline "SMART BANKING" underneath.



Hreinn Óskarsson