

Bättre klimatanpassning av plantmaterial – från det globala till det lokala

ANALYS AV TOPOGRAFISKA INDEX FÖR ATT FÖRBÄTTRA PREDIKTIONER AV TILLVÄXT
OCH ÖVERLEVNAD VID VAL AV SKOGSODLINGSMATERIAL I VERKTYGET PLANTVAL

Plant material for climate change – applying global models to local growing conditions

Analysis of topographic index to improve predictions of height growth and survival when selecting plant material in the Plantval tool.

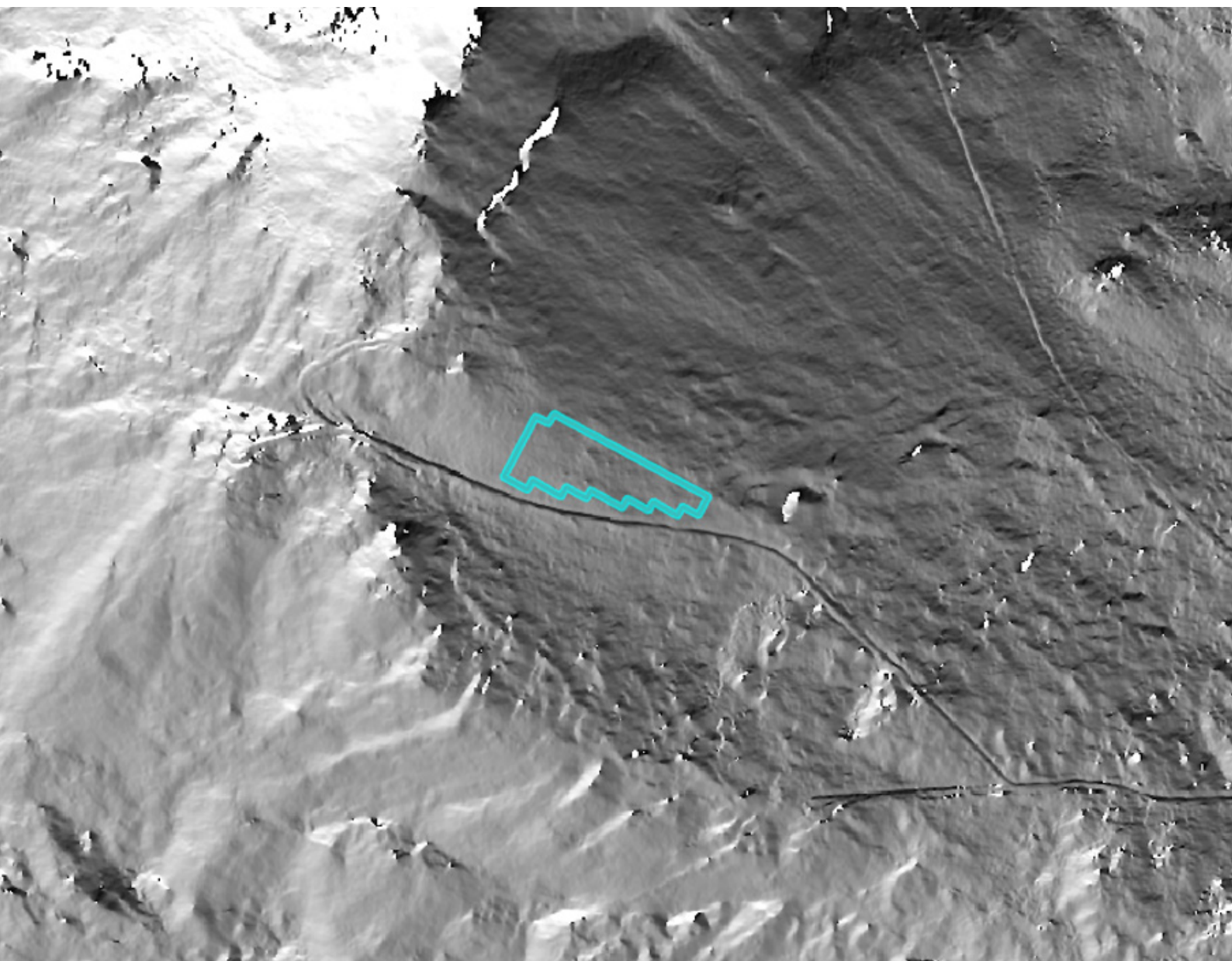


Foto: (Bild: Tallförsök S23F9310560 Lidsjöberget (blå polygon) ovanpå det topografiska indexet sluttningensriktning vid 2 x 2 m upplösning).

Innehåll

Summary.....	2
Förord	3
Sammanfattning.....	5
Bakgrund	6
Syfte	7
Material och metoder	8
Utveckling och urval av topografiska index och markmodell.....	8
Analys och uppdatering av modellerna i Plantval	9
Potentiell implementering i Plantvals verktygstjänster.....	10
Resultat.....	11
Utveckling och urval av topografiska index och markmodell.....	11
Analys och uppdatering av modellerna i Plantval	12
Potentiell implementering i Plantvals verktygstjänster.....	14
Diskussion	16
Referenser.....	18



skogforsk

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts den 8 april 2021 av Erik Willén, Processledare. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 22 april 2021.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2021 ISSN 1404-305X

Förord

Denna rapport redovisar en analys av möjligheterna att inkludera en justering för lokala förutsättningar på en planteringstrakt i Plantvals användningsrekommendationer. Resultaten kommer att kunna användas i framtida vidareutveckling av såväl Plantvals modeller som den tekniska implementeringen i webbverktyget. Projektet har finansierats av Skogssällskapet (Ansökan 2019-640) och av Skogforsk.

Uppsala i april 2021
Mats Berlin

Summary

Plantval is a tool that provides decision support for selecting plant material of the most common tree species at an arbitrarily selected regeneration site in Sweden. This tool, which has been developed and managed by Skogforsk for several decades, is currently an openly available web service accessible at www.skogforsk.se and www.skogskunskap.se.

The Plantval models have recently been updated with modern climate data, based on new climate variables averaged to 4x4-km grids, which is currently the highest resolution available for downscaled climate scenarios. For a single regeneration site, local conditions in climate and topography can differ from the averaged climate of the grid, which affects growth, survival, and adaptation of the plant material. In this project we have analysed whether the Plantval models predicting growth and survival could be improved by including topographic indices in the modelling step, and investigated how such a local adjustment to the site could be implemented in practice.

Topographic indices considered to affect forest growth and vitality were calculated at two spatial resolutions (2x2 m and 50x50 m) for all Swedish field trials used in the development of the Plantval models. The combination of all topographic indices and spatial resolutions resulted in 130 potential candidate variables for analysis. However, subsequent evaluation steps excluded topographic indices that were non-informative, non-reliable, or redundant, leaving only around 30 indices at the 50x50-m resolution for further analysis.

The selected indices were then introduced and tested in the Plantval models for height growth and survival. Only average altitude of the trial site (nh), the difference between site altitude and average grid altitude ($\Delta_{nh-Grid_ALT}$), and north-easterly aspect (NO) were statistically significant and increased the explanatory power of the models for both growth and survival.

As $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ and NO were basically uncorrelated with the existing model variables, temperature sum, and average altitude of the climate grid, and do not affect their coefficient estimates, this suggests that $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ and NO are able to model a variation that the gridded climate variables cannot, and are therefore the best candidates for inclusion in the current Plantval platform. In contrast, nh seems to compete for much of the same variation as the gridded climate variables, as it is highly correlated with the variables describing the site. Both NO and $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ also offer biologically sound effects in the models, where an increased altitude and northerly aspect reduce both growth and survival. The model with best explanatory power included both these topographic indices simultaneously.

The effect of nh suggests that it is important to introduce and test an accurate description of the trial site altitude in the modelling steps of transfer effects when new models (with higher spatial resolution) are developed in the future.

Finally, we have developed alternative options to include the calculation of aspect and site altitude, either by external systems that provide input data to the Plantval platform, or directly in the Plantval web tool. We have provided suggestions on how this could be implemented in practice in both cases.

Sammanfattning

Plantval är ett beslutsstöd i val av plantmaterial för de vanligaste trädslagen på en valfri planteringstrakt i Sverige. Verktöget har utvecklats av Skogforsk under många år och fungerar idag som en publik webbtjänst. Plantvals modeller är sedan några år tillbaka klimatanpassade och baseras på medelvärdesbildade data för rutor om 4 x 4 km, vilket är den högsta upplösning som klimatscenarier i dagsläget kan skalas ned till. För en enskild planteringstrakt kan därför lokala förutsättningar i klimat och topografi skilja sig åt från rutans medelvärde och påverka tillväxtförutsättningarna och anpassningen av skogsodlingsmaterialet. I detta projekt har vi analyserat om Plantvals funktioner som predikterar tillväxt och överlevnad kan förbättras genom att inkludera utvalda topografiska index i modelleringssteget och undersökt möjligheterna till en praktisk implementering av en lokalklimatisk justering på traktnivå.

För de svenska fältförsök som använts i utvecklingen av Plantvals funktioner beräknades topografiska index som bedömdes kunna påverka skoglig tillväxt och vitalitet. Detta gjordes för två markmodeller med olika rumslig upplösning (2 x 2 m och 50 x 50 m). Alla kombinationer av topografiska index med beräkningsmetoder och markmodeller resulterade i ett mycket högt antal topografiska variabler att undersöka (130 stycken), men i påföljande analyssteg exkluderades de index som visade sig vara icke-informativa, icke-pålitliga eller redundanta varvid endast dryga 30 index för 50 x 50m-markmodellen gick till vidare analys. De utvalda topografiska indexen testades därefter i modellerna för både höjd och överlevnad. Av alla testade topografiska index var endast medelaltitud av yta (nh), skillnaden mellan medelaltitud av yta och klimatruta ($\Delta_{nh-Grid_ALT}$) samt sluttningens riktning åt nordost (NO) signifikanta och gav en förbättrad förklaringsgrad för både höjd och överlevnad.

Variablerna $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ och NO var okorrelerade med de existerande modellvariablerna temperatursumma och medelaltitud för klimatrutan och påverkade heller inte deras koefficientvärden. Det betyder sammantaget att dessa variabler fångar en annan variation än den som modelleras på klimatrutenivå och därmed är de bästa kandidaterna för att inkluderas i Plantvals nuvarande modeller. Nh däremot konkurrerar i större utsträckning om samma variation, vilket syns genom de höga korrelationerna med redan existerande modellvariabler. Både NO och $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ ger effekter som också är biologiskt rimliga där ökad altitud och sluttning mot nordost ger lägre trädhöjd och överlevnad. Modellen med bäst förklaringsgrad är den då båda dessa topografiska index samtidigt är inkluderade.

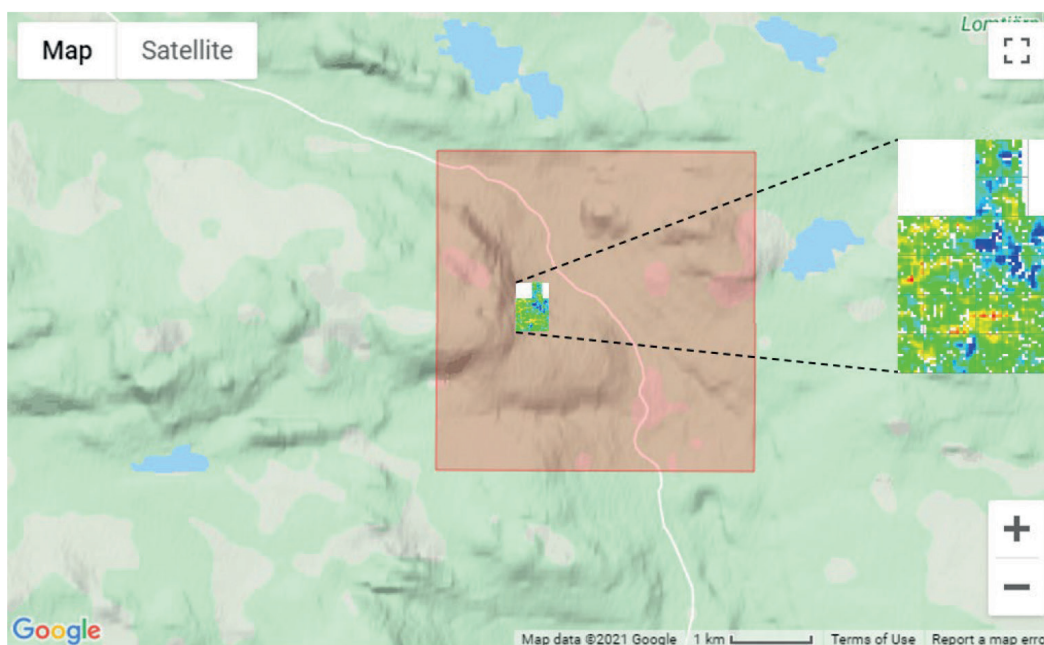
Dock antyder effekterna av nh att det kan finnas vinster av att få en förbättrad och mer exakt bestämning av altituden på försökslokalen vid modellering av förflyttningseffekter motsvarande de som utvecklats för Plantval.

Vi har tagit fram ett antal alternativa utvecklingssteg som innefattar beräkning av lutningsriktning och traktaltitud antingen i externa system och därmed som indata till Plantval eller direkt i Plantvals webbtjänst. I båda fall har vi givit förslag på hur detta praktiskt skulle kunna lösas.

Bakgrund

Plantval är ett beslutsstöd i val av plantmaterial för de vanligaste trädslagen på en valfri planteringstrakt i Sverige. Verktöget har utvecklats av Skogforsk under många år och fungerar idag som en publik webbtjänst. I ett nytt verktyg (Plantval Optimal) har Skogforsk vidareutvecklat Plantval för tall och gran för att kunna hantera många planteringstrakter samtidigt samt optimera var det förädlade plantmaterialet ska användas för att ge högsta arealproduktion över en omloppstid. Preliminära resultat tyder på att tillväxtökningen kan fördubblas när urval och utplacering av det förädlade skogsmaterialet optimeras (Davidsson m.fl. 2018).

Plantvals modeller är sedan några år tillbaka klimatanpassade (Berlin m.fl. 2016) och baseras på medelvärdesbildade data för rutor om 4 x 4 km, vilket är den högsta upplösning som klimatscenarier i dagsläget kan skalas ned till (Bärring m.fl. 2016). För en enskild planteringstrakt kan därför lokala förutsättningar i klimat och topografi skilja sig åt från rutans medelvärde och påverka tillväxtförutsättningarna och anpassningen av skogsodlingsmaterialet. Det finns många topografiska index som kan påverka tillväxtförutsättningarna på en planteringstrakt, till exempel lutning, sluttningsriktning och variation samt in- och utströmningsområden (Pennock m.fl. 1987) och relevanta index kan beräknas ur den nationella markmodellen (Lantmäteriet 2016). De fältförsök som använts för att göra Plantvals modeller är oftast i storleksordningen 2–5 ha och som rutin utförs en så kallad spatialjustering av småskalig variation inom fältförsöket (Dutkowski m.fl. 2002). I den här studien är vi ute efter att fånga en hittills oförklarad variation inom klimatrutan men på en större skala än den småskaliga justeringen inom försöket (Figur 1).



Figur 1: Bild från Plantval tall som visar en 4 x 4 km klimatruta (röd transparent färg) och ett fältförsök inom rutan som skalats upp för att illustrera den småskaliga justeringen inom fältförsöket.

Vi vill därför undersöka om Plantvals funktioner som predikterar tillväxt och överlevnad kan förbättras genom att inkludera något eller några av dessa index i modelleringssteget. Om så är fallet kan Plantvals webbtjänst uppdateras och rekommendationerna för förädlad skogsodlingsmaterial förbättras, vilket får ett brett genomslag i skogsbruket för såväl skogsbolag som mindre markägare via skogsägarföreningar. Genom en förbättrad användning av tillgängligt skogsodlingsmaterial kommer plantornas tillväxt och hårdighet att bättre matchas mot den individuella planteringstrakten med ökad skoglig (biomassa)produktion som resultat. Bättre utnyttjande av det förädlade skogsodlingsmaterialet har visat sig ha en betydande potential för att öka skogsproduktionen och har också lyfts fram i en remissversion av en rapport från Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen 2018) som en viktig pusselbit för att kunna möta ökad efterfrågan på skogsråvara som en förnybar och miljövänlig resurs, både nationellt och globalt.

Syfte

Syftet med projektet är att undersöka möjligheterna till ett förbättrat beslutsstöd i val av förädlade plantmaterial genom utökad hänsyn till lokalklimatiska tillväxtförhållanden. Detta syfte är uppdelat på tre delmål:

- 1) Att ta fram, välja ut och beräkna relevanta topografiska index som kan antas påverka skoglig tillväxt för alla 89 svenska fältförsök som använts i Plantvals modeller. Detta görs för två markmodeller med olika rumslig upplösning (2 x 2 m och 50 x 50 m) och skillnaderna mellan dessa utvärderas för de utvalda topografiska indexen.
- 2) Att genom att använda Plantvals modellplattform finna den eller de topografiska index och markmodeller som kan förbättra prediktionsförmågan hos modellerna för tillväxt och överlevnad.
- 3) Att analysera och utvärdera möjligheterna att inkludera framtagna topografiska index i verktygsplattformen Plantval så att den lokalklimatiska justeringen blir enklare och bättre.

Material och metoder

UTVECKLING OCH URVAL AV TOPOGRAFISKA INDEX OCH MARKMODELL

88 av de 89 svenska fältförsöken (ett försök gick ej att använda då det utvecklats till förmån för järnvägsbygge), som använts i utvecklingen av Plantvals funktioner, åsattes topografiska index försöksvis. Försöken, som har arealer mellan 2 och 5 hektar, tilldelades högupplösta koordinater som beskrev deras rumsliga utbredning. Dessa koordinater samlades in genom nyttjande av försökskartor och GIS-analys.

Därefter utvecklades en uppsättning topografiska index utifrån två olika markmodeller, en med 2 x 2 meters upplösning och en med 50 x 50 m upplösning (Lantmäteriet, 2016). De topografiska indexen (Tabell 1) baserades på höjd över havet, grad av lutning, sluttningens riktning samt karakteriseringar av marklutning utgående från Pennocks metod (Pennock m.fl. 1987), till exempel huruvida marken lutar på ett konvext eller konkavt sätt och huruvida karaktären på lutningen antyder en begynnande sluttning eller krönet på densamma. Även variationsmått på dessa index beräknades för att beskriva variationen i lokala förhållanden som antas kunna påverka den skogliga produktionen. Skillnaderna mellan markmodellerna är givetvis upplösningen, men framför allt att den högre upplösningen (2 x 2 meter) inte i dagsläget är fri att använda medan den med 50 x 50 m upplösning är det.

Tabell 1: Sammanfattning av beräknade topografiska variabler i projektet.

Indexförkortning	Förklaring	Enhet
nh	Medelaltitud av yta	M
nh_sd	Standardavvikelse av altitud inom yta	M
cv_nh	Variationskoefficient av altitud inom yta	%
slope	Medellutning inom yta	°
slope_sd	Standardavvikelse av lutning inom yta (kupering)	°
cv_slope	Variationskoefficient av lutning inom yta (kupering)	%
N_*	Areaandel inom yta med lutning åt norr större än * grader	%
NO_*	- " - med sluttning åt nordost (lutning > * grader)	%
O_*	- " - med sluttning åt öster - " -	%
SO_*	- " - med sluttning åt sydost - " -	%
S_*	- " - med sluttning åt söder - " -	%
SV_*	- " - med sluttning åt sydväst - " -	%
V_*	- " - med sluttning åt väster - " -	%
NV_*	- " - med sluttning åt nordväst - " -	%
FL_*	- " - med lutning mindre än * grader oavsett riktning	%
FS_*	- " - med ökande uppförslut större än * grader (Pennocks - Footslope)	%
BS_*	- " - med konstant lutning större än * grader (Pennocks - Backslope)	%
SH_*	- " - med minskande uppförslut större än * grader (Pennocks - Shoulder)	%
dom.aspect*	Dominerande lutningsriktning för yta (lutning > * grader)	riktning

Detaljeringsgraden av de valda topografiska indexen anpassades till att beskriva hela planteringsytan i sig (både för 2 x 2 m och 50 x 50 m upplösning). En ytterligare uppsättning topografiska index beräknades för att beskriva hela den 4 x 4 km ruta från Plantval där planteringsytan är belägen för att därigenom erbjuda en landskapskontext för varje planteringsyta (beräknad enbart för 50 x 50 m). Således aggregerades indexvärden för varje fältförsök även om det fanns variationer inom ytan. Dessa index kopplades sedan till varje fältförsök inför den andra fasen.

Vissa av de topografiska indexen, till exempel sluttningsriktning och Pennocksvariablerna, var beroende av ett tröskelvärde för att styra huruvida någon lutning alls förelåg. Inom projektet beräknade vi sådana index med åsatta tröskelvärden på 0°, 1° och 3°. All area inom ytan som inte uppnådde dessa tröskelvärden räknades som platta (illustrerad av variabeln FL, Tabell 1).

ANALYS OCH UPPDATERING AV MODELLERNA I PLANTVAL

De framtagna topografiska indexen användes och testades i de modeller som predikterar tillväxt och överlevnad i Plantval (se Berlin m.fl. 2016 och tabell 2) för att finna den eller de index som kunde öka modellens förklaringsgrad.

Tabell 2: Sammanfattning av variabler i modellerna för tillväxt och överlevnad i Plantval.

Variabel	Modell ¹	Förklaring	Syfte ²
Intercept	H,Ö	Medelvärde	-
ln_AGE_hjd	H	Justering för trädålder	M
ln_Establ_yr	H	Justering för etableringsår	M
TSUM	Ö	Temperatursumma för trakt	T
ln_TSUM	H,Ö	Temperatursumma för trakt	T
ΔLAT	H,Ö	Förflyttningseffekt i latitud	F
ΔLAT ²	H,Ö	Förflyttningseffekt i latitud	F
TSUM×ΔLAT	H	Interaktionsterm	I
TSUM×ΔLAT ²	H	Interaktionsterm	I
GRID_ALT×ΔLAT	Ö	Interaktionsterm	I
GRID_ALT×ΔLAT ²	Ö	Interaktionsterm	I

¹ H=ingår i höjdmodellen, Ö=ingår i överlevnadsmodell (Berlin m.fl. 2016).

² M=modeljusteringsterm, T=variabel för att modellera planteringstrakt, F=variabel för att modellera förflyttningseffekt, I=interaktionsterm mellan trakt och förflyttning.

Analysen gjordes genom att testa variablerna direkt i modelleringssteget som oberoende variabler. Även korrelationer mellan identifierade topografiska index och modellens drivande klimatiska variabler undersöktes. Jämförande analyser utfördes mellan de två markmodellernas index för att utröna hur mycket den högre spatiala upplösningen faktiskt tillför. Analyserna är nödvändiga för att kunna arbeta med olika implementeringslösningar i nästa steg.

POTENTIELL IMPLEMENTERING I PLANTVALS VERKTYGSTJÄNSTER

Analysen var konceptuell och inkluderade inte en rent praktisk implementering av följande skäl:

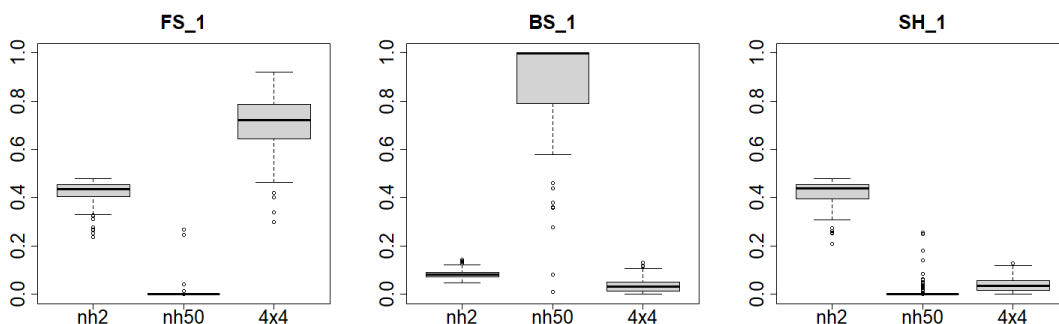
- Denna studie avser endast Sverige och för att kunna inkludera en implementering behöver analysen göras på den gemensamma modellen för Sverige och Finland.
- Plantvals grundklimatdata håller på att bytas ut för att kunna inkludera fler länder och bättre/mer/modernare klimatscenarier. Det innebär att den rumsliga upplösningen på klimatrutorna kommer att ökas till 1 x 1 km och att potentiellt fler eller justerade klimat- och/eller fotoperiodiska variabler kan komma att användas. Sålunda skulle funktionerna för lokalklimatisk justering behöva göras om för de nya modellerna.

Resultat

UTVECKLING OCH URVAL AV TOPOGRAFISKA INDEX OCH MARKMODELL

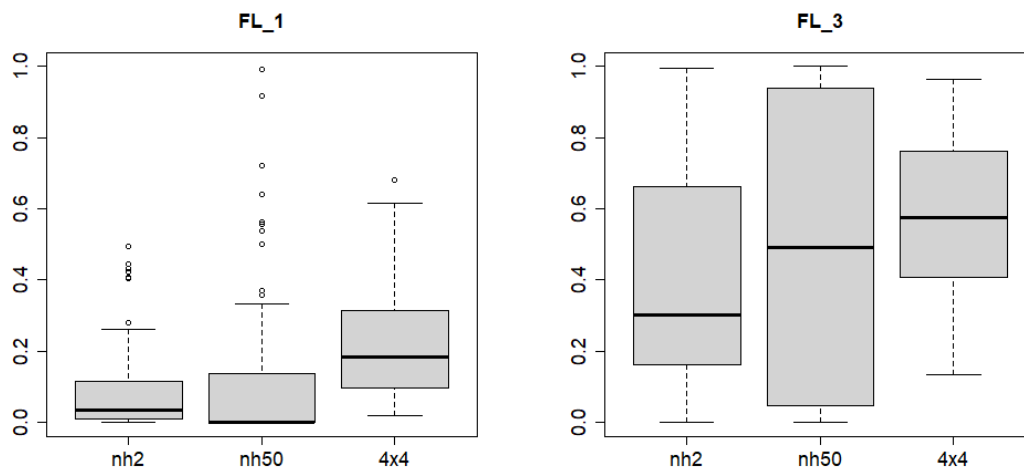
Alla kombinationer av topografiska index med beräkningsmetoder och markmodeller resulterade i ett mycket högt antal topografiska variabler att undersöka (130 stycken). Detta var inte särskilt praktiskt och kunde dessutom leda till statistiska problem i modellutvärderingen (till exempel falsk signifikans på grund av masstestning). Inledande variations- och korrelationsanalyser av de 130 variablerna gav oss dock anledning att minska antalet väsentligt eftersom många av indexen visade sig vara icke-informativa (på grund av låg variation), icke-pålitliga (ej konsekvent reproducerbara mellan upplösningar) eller redundanta (till exempel starkt korrelerade med ett annat lämpligare index).

Till exempel visades de variabler som baserades på Pennocks-klasser vara svåra att använda (svårtolkade). Den klass som tilldelades berodde mycket på vilken upplösning som användes och huruvida man betraktade försöket i sig eller den närmaste omgivningen (gridrutan 4 x 4). Vid 50 x 50 m upplösning observerade vi kategoriska och skilda klassificeringar av såväl försök som gridruta och variationen inom 50 m-försök och 50 m-gridruta var liten (Figur 2). Pennocks verkar ge ett relativt pålitligt intryck när man studerar den i 2 m upplösning. Men den variation som då fångas är mest relevant för analys inom försök som ju redan rutinmässigt justeras genom spatialanalys vid genetisk utvärdering. Således uteslöts Pennocks-variablerna från vidare analys på grund av bristande pålitlighet.



Figur 2: Pennocks-klasserna presenteras i ordningen "Footslope, FS_1", "Backslope, BS_1" samt "Shoulder, SH_1". De tre boxarna motsvarar 2 m upplösning i försök (nh2), 50 m upplösning i försök (nh50) samt 50 m upplösning i gridrutan (4 x 4). Brytpunkt för Pennockskupering sattes till 1 grad.

Med undantag för Pennocks-klasserna var korrelationerna mellan 2 m och 50 m upplösning inom försöket överlag goda ($r \geq 0,68$). Dock fanns det ofta systematiska skillnader, samt lägre korrelationer mellan försök och gridruta. Detta borgar för att det finns potentiellt intressanta skillnader mellan försök och omgivning att studera och att det är godtyckligt huruvida man använder sig av 2 m eller 50 m upplösning. Med anledning av detta samt för att bevara full konsistens mellan analys av försöksytan och den 4 x 4 km ruta som representerade omgivningen uteslöt vi således alla index beräknade på 2 m upplösning. Vidare analyser fokuserades istället på 50 m upplösning på både försöksnivån och på omgivande ruta.



Figur 3: Arealandel (0–1) som klassificeras som platt (FL) med brytpunkter på 1 grad (vänster) och 3 grader (höger). De tre boxarna motsvarar 2 m upplösning i försök (nh2), 50 m upplösning i försök (nh50) samt 50 m upplösning i den närmaste omgivningen (4 x 4 km ruta).

Beträffande val av tröskelvärden för att beräkna lutningsriktning, observerades att 3° resulterade i ett orimligt stort antal försök och gridrutor som klassificerades som ”platta” och således saknar lutningsriktning (Figur 3). Dock ville vi inte använda oss av data som totalt stryker kravet på viss lutning för att riktning skall anges (tröskelvärde på 0°) eftersom denna visade sig vara mycket känslig för brus. Därför beslutade vi oss för att i fortsättningen fokusera på data där tröskelvärdet för att klassificera lutningsriktning låg på 1°. Ett ytterligare argument för detta val var att det med 1° tröskelvärde var möjligt att observera en viss bias i lutningsriktningarna hos försöken (S- och SV-sluttningar var vanligare) som potentiellt skulle kunna påverka klimatmodellerna.

Sammanfattningsvis begränsades antalet topografiska index till 32 stycken beräknade med markmodellen med 50 m upplösning. Beräkningarna gjordes för själva försöksytan och i vissa fall för skillnaden mellan försöksytan och klimatrutan. För varje topografiskt index som var beroende av ett tröskelvärde för lutningen, sattes tröskelvärdet till 1°.

ANALYS OCH UPPDATERING AV MODELLERNA I PLANTVAL

De utvalda topografiska indexen har testats i modellerna för både höjdtillväxt och överlevnad (Tabell 2). Av alla testade topografiska index var medelaltituden av yta (nh), skillnaden mellan medelaltitud av yta och klimatruta ($\Delta_{nh-Grid_ALT}$) samt sluttningens riktningen åt nordost (NO) signifikanta för både höjd och överlevnad.

Korrelationerna mellan dessa index och de existerande modellvariablerna (TSUM & GRID_ALT) som beskriver planteringstrakt eller interaktion skilde sig däremot åt. Korrelationerna mellan nh och de existerande modellvariablerna var mycket höga medan de endast var marginella mellan de existerande modellvariablerna och både NO och $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ (Tabell 3).

Tabell 3. Korrelation mellan modellvariabler (TSUM, GRID_ALT) och topografiska index (nh, NO, $\Delta_{nh-Grid_nh}$). Som kontrolljämförelse ingår också klimatrutans altitud beräknad från topografiska data (GRID_nh) och differensen mellan denna och nh ($\Delta_{nh-Grid_ALT}$).

Variabler/index	TSUM	nh	NO	GRID_nh	$\Delta_{nh-Grid_nh}$	$\Delta_{nh-Grid_ALT}$
GRID_ALT	-0,792	0,946	-0,085	0,974	0,097	0,109
TSUM		-0,745	0,024	-0,762	-0,096	-0,073
nh			-0,119	0,969	0,334	0,426
NO				-0,102	-0,091	-0,130
GRID_nh					0,092	0,252
$\Delta_{nh-Grid_nh}$						0,756

Baserat på dessa resultat har vi valt att bara gå vidare i analysen med de topografiska index (NO och $\Delta_{nh-Grid_nh}$) som inte uppvisat någon betydande korrelation med redan existerande variabler.

I tabell 4 och 5 jämförs de resulterande koefficienterna för alla variabler i referensmodellen (Ref) utan topografiska index (Berlin m.fl. 2016), med två modeller som innehåller antingen $\Delta_{nh-Grid_nh}$ eller NO, och med en modell som samtidigt innehåller både $\Delta_{nh-Grid_nh}$ och NO.

I höjdmodellen blev effekten signifikant för både $\Delta_{nh-Grid_nh}$ och NO ($p < 0,05$), där var och en gav ungefär lika stor förbättringsgrad för modellen. Båda koefficienternas tecken är också biologiskt rimliga (ökad altitud och sluttning mot nordost ger lägre höjd). Modellen med bäst förklaringsgrad är den då båda dessa topografiska index samtidigt är inkluderade. Modellkoefficienterna som beskriver förflyttning och interaktion påverkas inte av inkluderingen av de topografiska indexen och den traktbeskrivande variabeln (\ln_TSUM) påverkas endast marginellt.

Tabell 4: Sammanfattning av beräknade koefficienter och förklaringsgrad (R^2) för referensmodellen (Ref) för höjdtillväxt samt modellerna där de topografiska variablerna $\Delta_{nh-Grid_nh}$ och NO lagts till. Signifikanta koefficienter ($p < 0,05$) är markerade i fet stil.

Modell	Ref	Ref + $\Delta_{nh-Grid_nh}$	Ref + NO	Ref + $\Delta_{nh-Grid_nh}$ + NO
Intercept	7,21E+00	6,78E+00	7,05E+00	6,62E+00
\ln_AGE_HJD	1,52E+00	1,52E+00	1,52E+00	1,51E+00
\ln_Establ_yr	1,62E-01	1,48E-01	1,45E-01	1,31E-01
\ln_TSUM	1,23E+00	1,18E+00	1,22E+00	1,17E+00
D_LAT	2,81E-02	2,81E-02	2,81E-02	2,81E-02
D_LAT2	-1,13E-02	-1,13E-02	-1,13E-02	-1,13E-02
SITE_TSUM×D_LAT	-4,63E-05	-4,64E-05	-4,63E-05	-4,63E-05
SITE_TSUM×D_LAT ²	3,70E-06	3,65E-06	3,63E-06	3,58E-06
$\Delta_{nh-Grid_nh}$		-1,77E-03		-1,79E-03
NO			-4,03E-01	-4,09E-01
R^2	0,9321	0,9356	0,9348	0,9385

Även i modellen för överlevnad blev effekten signifikant för både $\Delta_{nh-Grid_nh}$ och NO, men här gav endast $\Delta_{nh-Grid_nh}$ en tydlig förbättringsgrad på modellen. Båda koefficienternas tecken är också biologiskt rimliga (ökad altitud och sluttning mot nordost ger lägre överlevnad). Modellen med bäst förklaringsgrad är den då båda topografiska index samtidigt är inkluderade. Modellkoefficienterna som beskriver förflyttning och interaktion påverkas endast marginellt av inkluderingen av de topografiska indexen medan de traktbeskrivande variablerna (TSUM & ln_TSUM) förändras något.

Tabell 5: Sammanfattning av beräknade koefficienter och förklaringsgrad (R^2) för referensmodellen (Ref) för överlevnad samt modellerna där de topografiska variablerna $\Delta_{nh-Grid_nh}$ och NO lagts till. Signifikanta koefficienter ($p < 0,05$) är markerade i fet stil.

Modell	Ref	Ref + $\Delta_{nh-Grid_nh}$	Ref + NO	Ref + $\Delta_{nh-Grid_nh}$ + NO
Intercept	5,19E+01	5,45E+01	4,22E+01	4,44E+01
TSUM	1,75E-02	1,76E-02	1,54E-02	1,55E-02
ln_TSUM	-9,79E+00	-1,02E+01	-8,06E+00	-8,38E+00
D_LAT	3,10E-01	3,09E-01	3,10E-01	3,09E-01
D_LAT2	-6,80E-02	-6,83E-02	-6,80E-02	-6,82E-02
GRID_ALT×D_LAT	4,38E-04	4,39E-04	4,37E-04	4,39E-04
GRID_ALT×D_LAT ²	1,19E-05	1,26E-05	1,13E-05	1,20E-05
$\Delta_{nh-Grid_nh}$		-9,68E-03		-9,69E-03
NO			-1,87E+00	-1,88E+00
R^2	0,7544	0,7606	0,7542	0,7642

POTENTIELL IMPLEMENTERING I PLANTVALS VERKTYGSTJÄNSTER

En viktig fråga blir huruvida framtagandet av planteringstraktens sluttningsriktning och medelaltitud ska ingå i Plantval eller om de ska vara externt genererade och därmed vara indata till Plantval. Ett framtagande av sluttningsriktning och medelaltitud för en specifik trakt definierad på det sätt som behövs för Plantvals modeller skulle relativt enkelt kunna göras i GIS-baserade verktyg som till exempel ArcGis. Det finns ett antal uppenbara fördelar med detta. Dels har många skogliga aktörer (inte minst större bolag och skogsägarföreningar) god erfarenhet av denna typ av verktyg och oftast sina trakter definierade som lager. Här skulle det vara lätt att utveckla ett lager som innehåller dessa topografiska index baserat på 50 x 50 m-markmodellen och också enkelt att kombinera dessa båda lager för att åsätta sluttningsriktningen och medelaltituden för en eller flera trakter.

Man skulle också kunna bygga in en funktionalitet så att Plantvals plattform kan generera en sluttningsriktning och medelaltitud. Detta skulle kräva att vi inför det topografiska rutnätet (50 x 50 m) i Plantval med sluttningsriktningarna och medelaltituderna beräknade för vart och ett av de topografiska rutorna. Här uppstår dock en problematik i att Plantval i dagsläget väljer planteringstrakt som en punkt/koordinat och när vi ska räkna ut en sluttningsriktning och medelaltitud för en trakt behövs istället en polygon/rumslig fördelning. Här skulle det kunna finnas två angreppssätt.

Det ena är att man approximerar trakten med en förenklad form (till exempel en cirkel eller kvadrat runt punkten) vars storlek eventuellt skulle kunna väljas beroende på hur stor den verkliga planteringstrakten är (1 ha = mindre cirkel/kvadrat och 5 ha = större cirkel/kvadrat). Det skulle dock kräva en analys av hur väl sluttningsriktningen och medelaltituden beräknade från den approximerade trakten stämmer överens med de som beräknats på den faktiska polygonen/trakten. Om denna förenklade approximation skulle byggas in i Plantval kommer användaren att få ett förslag till sluttningsriktning och traktaltitud givet att en punkt anges. Då skulle Plantvals webbgränssnitt ändras till att man får välja sluttningsriktning och altitud på samma sätt som man ändrar temperatursumma, men att startläget visar den framräknade sluttningsriktningen och traktaltituden. Om då skogsägaren vet att det inte är en nordsluttning utan plan mark eller till och med sydsluttning samt en annan altitud än den framräknade kan detta manuellt justeras. Det torde vara lättare att kunna veta än temperatursumman.

Det andra angreppssättet är att faktiskt inkludera ett system där man kan rita ut trakten i Plantvals karta, alternativt importera trakten med dess utbredning, och därmed generera en mer exakt bild av trakten och därmed sluttningsriktningen och medelaltituden. Dock är denna lösning mer komplicerad och sannolikt lite för krånglig för den typiske enskilde användaren. Däremot är alternativet med import av sluttningsriktning och traktaltitud sannolikt huvudalternativet för större aktörer som använder gränssnittet Plantval optimal.

Behoven och bakgrundskunskapen hos olika användargrupper kan medföra att ett system för förbättrad lokalklimatisk justering behöver kunna beräkna sluttningsriktning/traktaltitud, men även kunna importera dessa data från externa källor. Då behöver Plantvals plattform bestå av modeller som inkluderar och beräknar sluttningsriktning/traktaltitud, men att det görs endast om sluttningsriktning/traktaltitud inte importerats.

Diskussion

Av alla testade topografiska index var endast effekterna av medelaltitud av trakt (nh), skillnaden mellan medelaltitud av trakt och klimatruta ($\Delta_{nh-Grid_ALT}$) samt sluttningsriktning åt nordost (NO) signifikanta för både höjd och överlevnad. Av dessa var nh starkt korrelerad med såväl temperatursumma som medelaltitud för klimatrutan medan de två andra topografiska indexen tvärtom var okorrelerade med de existerande modellvariablerna. Då $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ och NO heller inte påverkar de redan existerande variabelernas koefficientvärden betyder det sammantaget att dessa variabler fångar en annan variation än den som modelleras av klimatvariablerna på klimatrutenivå. Nh däremot konkurrerar i större utsträckning om samma variation, vilket syns genom både den höga korrelationen med de existerande modellvariablerna och genom en påverkan på deras koefficientvärden. De två topografiska indexen $\Delta_{nh-Grid_ALT}$ och NO gav dessutom en biologiskt rimlig effekt samt förbättrade modellens förklaringsgrad och är därmed våra kandidater att inkludera i Plantvals nuvarande modeller och således också i Plantvals verktygstjänster.

Den sluttningsriktningsvariabel vi kommit fram till som en kandidat till förbättrad beskrivning av lokalklimatiska förhållanden på traktnivå har vissa potentiella nackdelar ur ett implementeringsperspektiv. Om den skulle användas exakt som den är definierad just nu är den endast en bedömning av hur stor del av trakten som skulle ha sluttning i nordostlig riktning. Här skulle man kunna justera variabelns definition för att möjliggöra en mer biologisk och pedagogisk tolkning. Till exempel skulle man kunna förändra sluttningsriktningens klassindelning så att fler klasser slås samman och se om denna indelning skulle bibehålla förklaringsgraden men förenkla tolkningen. Ett annat alternativ skulle vara att göra en analys av faktorer där flera sluttningsriktningar skulle kunna ingå (exempelvis skulle då nordriktning kunna vara ofördelaktig medan sydriktning explicit skulle kunna vara fördelaktig).

Den här analysen visar också att det kan finnas vinster av att få en förbättrad och mer exakt bestämning av altituden på försökslokalen vid modellering av förflyttningseffekter motsvarande de som utvecklats för Plantval. Många av de försök som finns i Skogforsks databaser har en tämligen grovt skattad altitud angiven som kan skilja sig åt rejält från de altituder som räknats fram från markmodellerna. En förbättrad bestämning av altitud bör därmed ingå i det modellutvecklingssteg där andra klimatiska variabler också ska justeras och/eller väljas ut. Detta arbete pågår just nu för såväl tall som gran och där kommer denna kunskap att kunna nyttjas direkt.

Som nämndes ovan håller de förflyttningsmodeller för höjd och överlevnad som ligger till grund för Plantval på att vidareutvecklas med nya klimatdata (bland annat kommer klimatrutans upplösning förbättras från 4 x 4 km till 1 x 1 km) och ännu mer fältdata från fler länder. Det innebär att analysen vi utfört i den här studien måste göras om givet att en lokalklimatisk justering ska inkluderas/implementeras i ett framtida Plantval. Den analysen kommer dock att förenklas avsevärt då vi kan använda resultaten och erfarenheterna från den här studien, där vi nu vet att:

- Markmodeller med rumslig upplösning på 50 x 50 m är fullt tillfyllest för att beskriva de topografiska variabler vi är intresserade av. Detta förenklar också framtida analyser och tillämpningar i och med att dessa är fritt tillgängliga i Sverige och dess motsvarigheter kommer att vara möjliga att få tag på i våra grannländer.
- Vi har reducerat antalet relevanta topografiska variabler som modellkandidater. Sluttningsriktning samt skillnaden mellan medelaltitud av trakt och klimatruta är de bästa kandidaterna att börja med i en ny analys.
- Det finns olika sätt att inkludera en förbättrad lokalklimatisk justering på trakt-nivå i Plantval, men då användare av Plantvals plattform bedöms ha olika behov behövs en återkoppling från dem innan vidareutveckling av implementering påbörjas.

Referenser

- Berlin, M. m.fl. 2016. Scots pine transfer effect models for growth and survival in Sweden and Finland. *Silva Fennica*, 50(3, article ID 1562).
- Bärring, L., Berlin, M. & Andersson Gull, B. 2016. Tailored climate indices for climate-proofing operational forestry applications in Sweden and Finland. *International Journal of Climatology*.
- Davidsson, A., Berlin, M. & Jönsson, P. 2018. PlantvalOptimal - Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. [PlantvalOptimal – Improved and more efficient use and distribution of plant material for large holdings of forest land]. Arbetsrapport 996, Skogforsk. 32 s.
- Dutkowski, G.W., Costa e Silva, J., Gilmour, A.R. & Lopez, G.G. 2002. Spatial analysis methods for forest genetic trials. *Can. J. Forest Res.*, 32: 2201-2214.
- Lantmäteriet (2016). Produktbeskrivning GSD Höjddata, grid 2+. Tillgänglig: https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/hojd2_plus.pdf.
- Pennock, D.J., Zebarth, B.J. & De Jong, E. 1987. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 40(3): 297-315.
- Skogsstyrelsen, 2018. Skogsskötsel med nya möjligheter. Dnr 2017/824. Remissversion 2018-11-08.