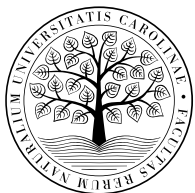


A correction of the local incidence angle of SAR data: a land cover specific approach for time series analysis

(Korekce lokálního dopadového úhlu SAR dat pro analýzu časových řad:
metoda specifická pro krajinný pokryv)



CHARLES UNIVERSITY
Faculty of science

Autor: Mgr. Daniel Paluba
Vedúci práce: doc. RNDr. Přemysl Štych, Ph.D.
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie,
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

Obsah

1. Motivácia a úvod do problematiky
2. Ciele štúdie
3. Záujmové územia
4. Dáta a metodika
5. Výsledky
6. Záver a diskusia



Motivácia a úvod do problematiky

- Predošlé štúdiá na sledovanie zdravotného stavu lesov pomocou časových radov (Štych et al. 2019a; Štych et al. 2019b; Laštovička et al. 2020)
- Spracovanie veľkého množstva dát DPZ na desktopu - časové a výkonnostné problémy → riešenia na cloudových platformách, napr. Sentinel Hub, GEE
- Optické dáta → oblačnosť = nedostatky pri sledovaní lesov v horských oblastiach
 - Radarové dáta – prenikajú cez oblačnosť, snímanie v dni a noci

Odlíšnosti v geometrii:

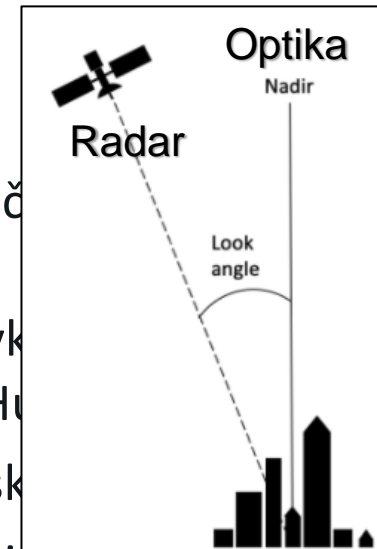
- Bočný pohľad → horské oblasti
 - orientácia a sklon terénu →
 - iné odrazivosti → najvýraznejšie
 - pri kombinovaní dát z rôznych
 - dráh → periodická fluktuácia
 - radarového spätného rozptylu
 - (σ^0) v časových radách

- Potreba eliminácie vplyvu topografie



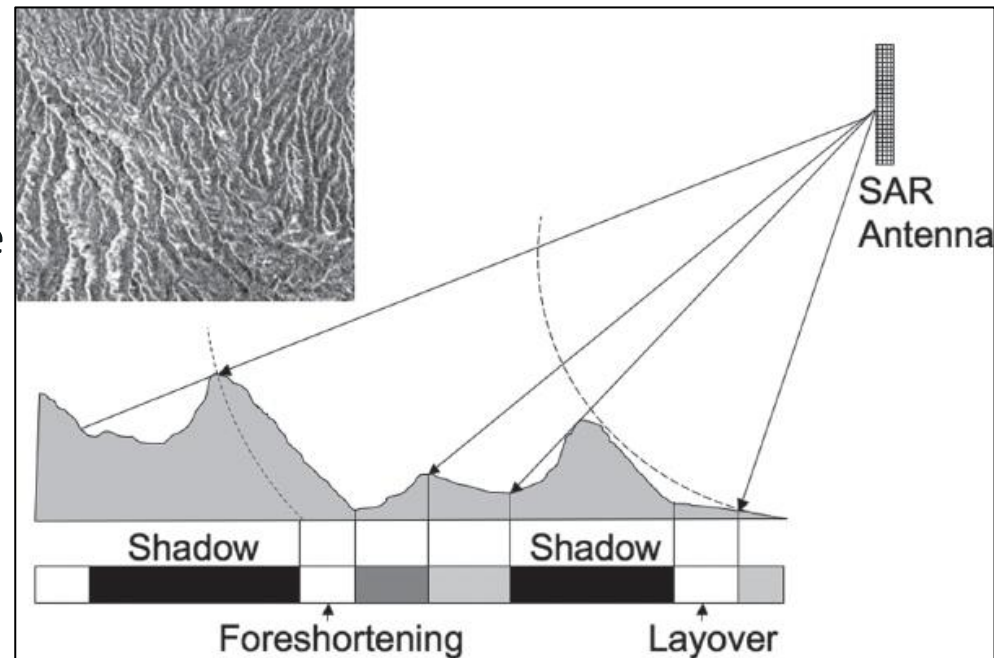
Motivácia a úvod do problematiky

- Predošlé štúdiá na sledovanie zdravotného stavu lesov pomocou č (Štych et al. 2019a; Štych et al. 2019b; Laštovička et al. 2020)
- Spracovanie veľkého množstva dát DPZ na desktopu - časové a výk problémy → riešenia na cloudových platformách, napr. Sentinel H
- Optické dáta → oblačnosť = nedostatky pri sledovaní lesov v horsk
→ Radarové dáta – prenikajú cez oblačnosť, snímanie v dni a noci



Odlíšnosti v geometrii:

- Bočný pohľad → horské oblasti – orientácia a sklon terénu → iné odrazivosti → najvýraznejšie pri kombinovaní dát z rôznych dráh → periodická fluktuácia radarového spätného rozptylu (σ^0) v časových radách
- Potreba eliminácie vplyvu topografie



Ciele štúdie

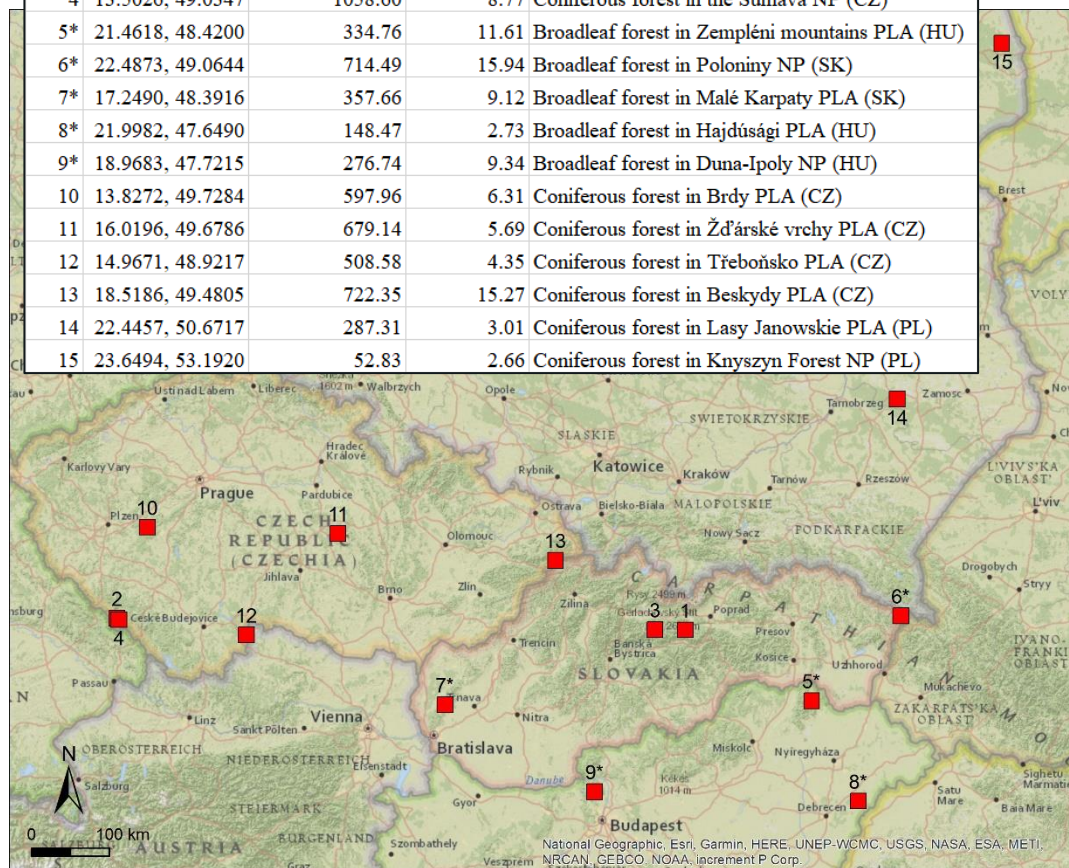
- Navrhnuť metódu pre odstránenie závislosti radarového spätného rozptylu (σ^0) na lokálnom dopadovom uhle (LIA) v prostredí GEE pre územia pokryté lesmi
- Zameranie sa na horské oblasti, kde závislosť σ^0 – LIA je najväčšia
- Štatistické testovanie presnosti a vhodnosti navrhnutej metódy na časových radách lesov s rôznymi charakteristikami
- Vytvoriť „plugin“ v GEE, ktorý budú môcť používať ostatní užívatelia



Záujmové územia (study areas)

- 10 ihličnatých lesov, 5 listnatých v Česku, Poľsku, Maďarsku a na Slovensku
- 20x20 km bounding box
- Podiel lesov > 50% (výnimka pre study area 8 – 26% - nížina v HU)
- Národné parky alebo CHKO → motivácia v našich predošlých štúdiách Štych et al. 2019; Laštovička et al. 2020; Štych et al. 2019
- Rôzne priemerné nadmorské výšky a sklonitosti
- Pre testovanie presnosti navrhutej metódy v časových radách – centrálné body záujmových území 1, 4, 6 a 12

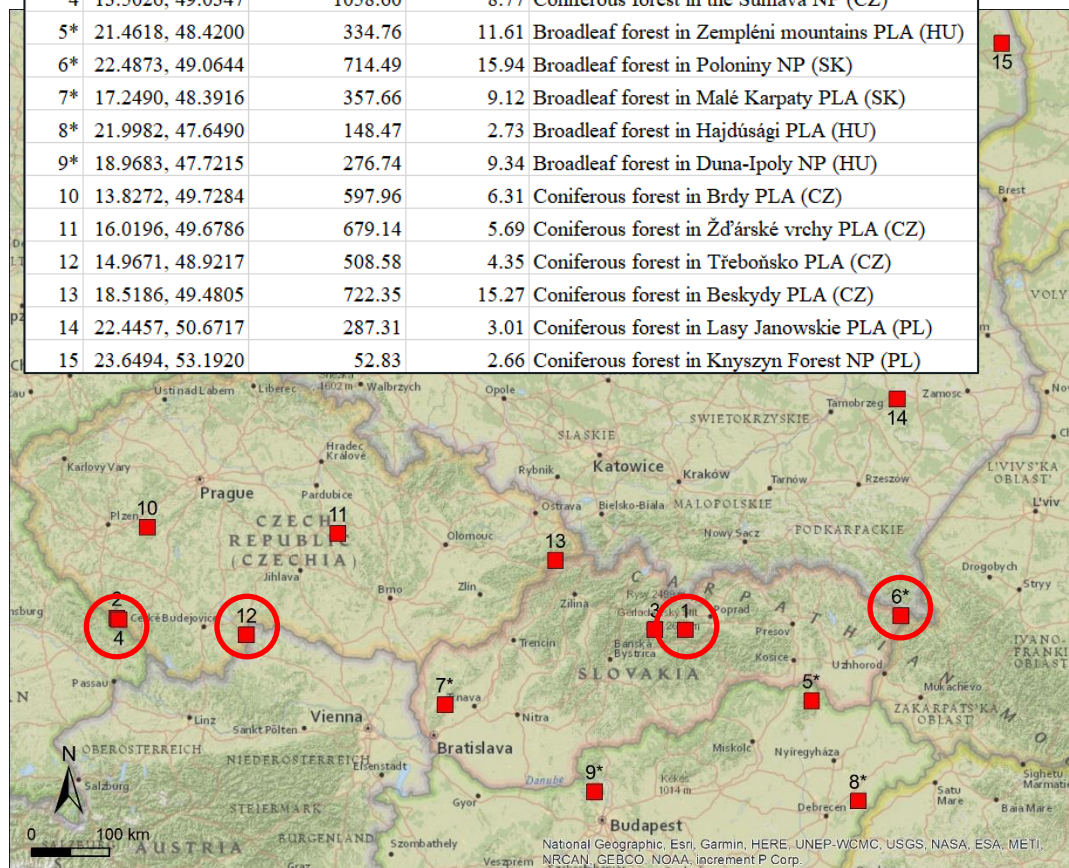
Study area	Coordinates of the central point (x, y)	Mean elevation (m a.s.l.)	Mean slope (degrees)	Description
1	20.0088, 48.9569	1098.24	18.44	Coniferous forest in the Low Tatras NP (SK)
2	13.4776, 49.0457	1044.99	9.17	Coniferous forest in the Šumava NP (CZ)
3	19.6625, 48.9596	1133.66	22.54	Coniferous forest in the Low Tatras NP (SK)
4	13.5026, 49.0347	1058.60	8.77	Coniferous forest in the Šumava NP (CZ)
5*	21.4618, 48.4200	334.76	11.61	Broadleaf forest in Zempléni mountains PLA (HU)
6*	22.4873, 49.0644	714.49	15.94	Broadleaf forest in Poloniny NP (SK)
7*	17.2490, 48.3916	357.66	9.12	Broadleaf forest in Malé Karpaty PLA (SK)
8*	21.9982, 47.6490	148.47	2.73	Broadleaf forest in Hajdúsági PLA (HU)
9*	18.9683, 47.7215	276.74	9.34	Broadleaf forest in Duna-Ipoly NP (HU)
10	13.8272, 49.7284	597.96	6.31	Coniferous forest in Brdy PLA (CZ)
11	16.0196, 49.6786	679.14	5.69	Coniferous forest in Žďárské vrchy PLA (CZ)
12	14.9671, 48.9217	508.58	4.35	Coniferous forest in Třeboňsko PLA (CZ)
13	18.5186, 49.4805	722.35	15.27	Coniferous forest in Beskydy PLA (CZ)
14	22.4457, 50.6717	287.31	3.01	Coniferous forest in Lasy Janowskie PLA (PL)
15	23.6494, 53.1920	52.83	2.66	Coniferous forest in Knyszyn Forest NP (PL)



Záujmové územia (study areas)

- 10 ihličnatých lesov, 5 listnatých v Česku, Poľsku, Maďarsku a na Slovensku
- 20x20 km bounding box
- Podiel lesov > 50% (výnimka pre study area 8 – 26% - nížina v HU)
- Národné parky alebo CHKO → motivácia v našich predošlých štúdiách Štych et al. 2019; Laštovička et al. 2020; Štych et al. 2019
- Rôzne priemerné nadmorské výšky a sklonitosti
- Pre testovanie presnosti navrhutej metódy v časových radách – centrálné body záujmových území 1, 4, 6 a 12

Study area	Coordinates of the central point (x, y)	Mean elevation (m a.s.l.)	Mean slope (degrees)	Description
1	20.0088, 48.9569	1098.24	18.44	Coniferous forest in the Low Tatras NP (SK)
2	13.4776, 49.0457	1044.99	9.17	Coniferous forest in the Šumava NP (CZ)
3	19.6625, 48.9596	1133.66	22.54	Coniferous forest in the Low Tatras NP (SK)
4	13.5026, 49.0347	1058.60	8.77	Coniferous forest in the Šumava NP (CZ)
5*	21.4618, 48.4200	334.76	11.61	Broadleaf forest in Zempléni mountains PLA (HU)
6*	22.4873, 49.0644	714.49	15.94	Broadleaf forest in Poloniny NP (SK)
7*	17.2490, 48.3916	357.66	9.12	Broadleaf forest in Malé Karpaty PLA (SK)
8*	21.9982, 47.6490	148.47	2.73	Broadleaf forest in Hajdúsági PLA (HU)
9*	18.9683, 47.7215	276.74	9.34	Broadleaf forest in Duna-Ipoly NP (HU)
10	13.8272, 49.7284	597.96	6.31	Coniferous forest in Brdy PLA (CZ)
11	16.0196, 49.6786	679.14	5.69	Coniferous forest in Žďárské vrchy PLA (CZ)
12	14.9671, 48.9217	508.58	4.35	Coniferous forest in Třeboňsko PLA (CZ)
13	18.5186, 49.4805	722.35	15.27	Coniferous forest in Beskydy PLA (CZ)
14	22.4457, 50.6717	287.31	3.01	Coniferous forest in Lasy Janowskie PLA (PL)
15	23.6494, 53.1920	52.83	2.66	Coniferous forest in Knyszyn Forest NP (PL)



Dáta – Sentinel-1

- Družicové snímky – Sentinel-1 SAR GRD
 - Pásmo C ($\lambda = 5.5 \text{ cm} - 5.405 \text{ GHz}$)
 - Dvojica družíc Sentinel-1A a B
 - Použité snímky v módu IW (250 km) s dopadovým uhlom $31^\circ - 46^\circ$
 - GRD produkty = bez fázovej informácie, priestorové rozlíšenie 10 m
 - Pásmo VV, VH a radarový dopadový uhol
 - Pred-procesované Sentinel-1 dáta v GEE

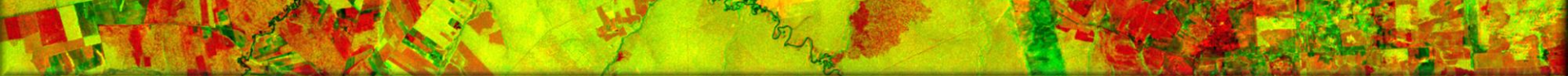


DMT SRTM

Land Cover databázy

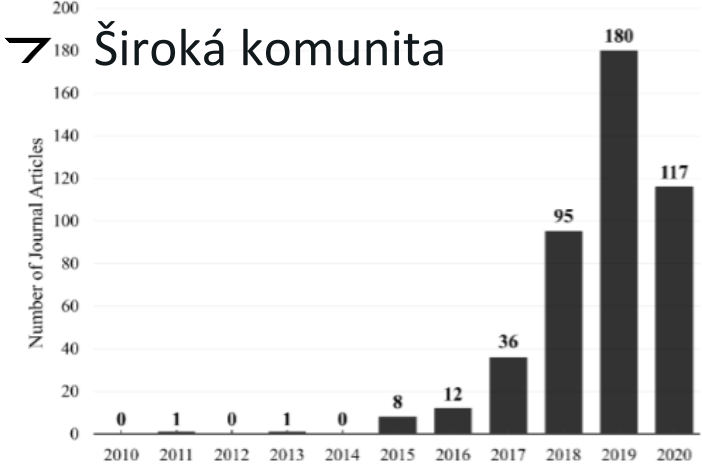
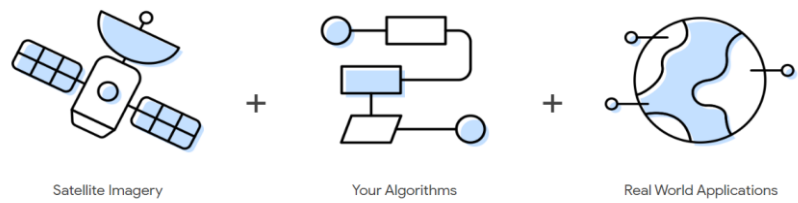
- Corine Land Cover (CLC) 2018
- Hansen Global Forest Change database, verzia 1.6 (do 2018)





Použitý nástroj – GEE

- Obrovský katalóg dát + možnosť analýzy
- Viac ako 30 rokov historických satelitných snímok a databáz. Viac ako 20 PB dát.
- Jednoduché, ale silné API (Python alebo JavaScript)
- Web based code editor (JavaScript)
- Použitie vlastných dát a algoritmov, voľné zdieľanie výskumných metód
- Rýchlosť



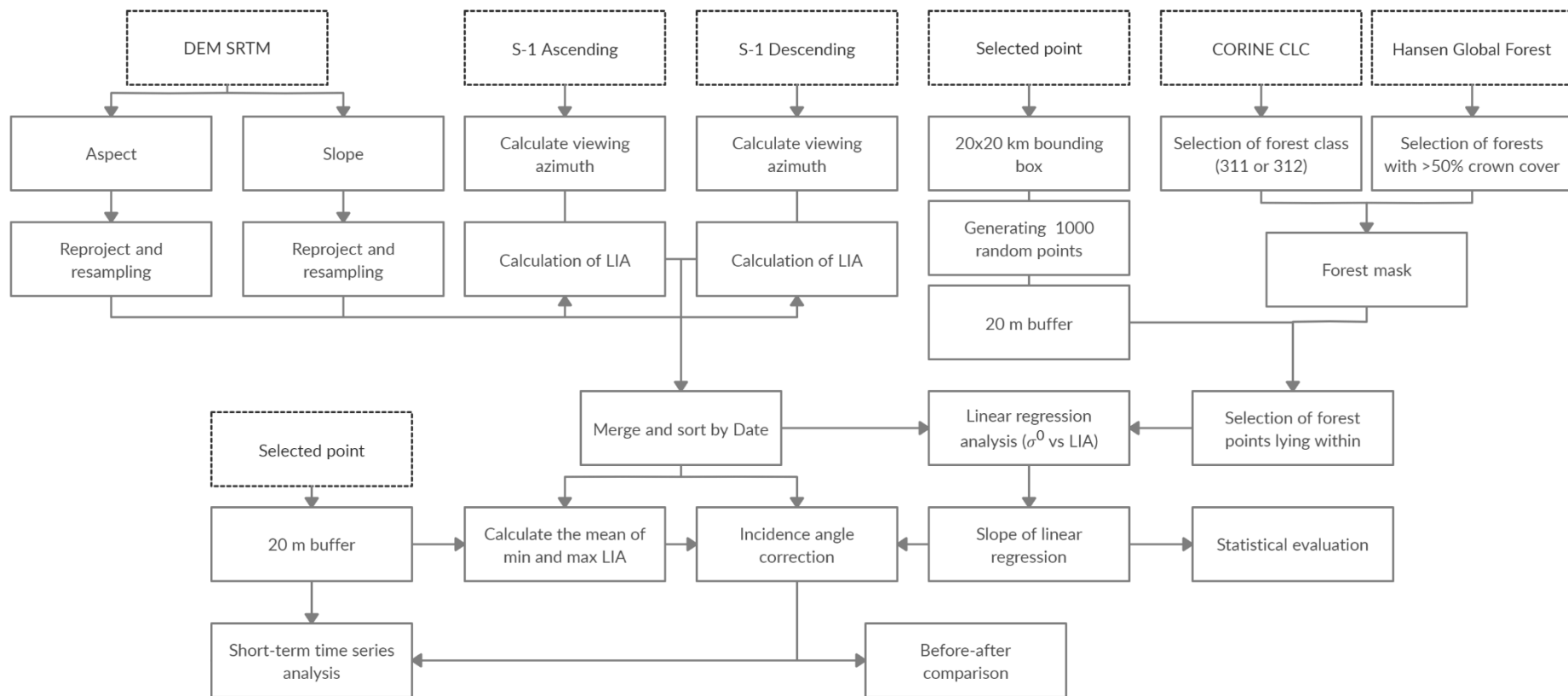
Prebraté z Amani et. Al 2020 (Máj 2020)

The screenshot displays the Google Earth Engine web interface. At the top, there's a search bar and navigation tabs for Scripts, Docs, and Assets. The main area is divided into three panels: a left sidebar with a script list, a central code editor with JavaScript code for calculating vegetation indices, and a right sidebar with an Inspector and Console. The map at the bottom shows a satellite view of a region with a green overlay representing the calculated vegetation index.

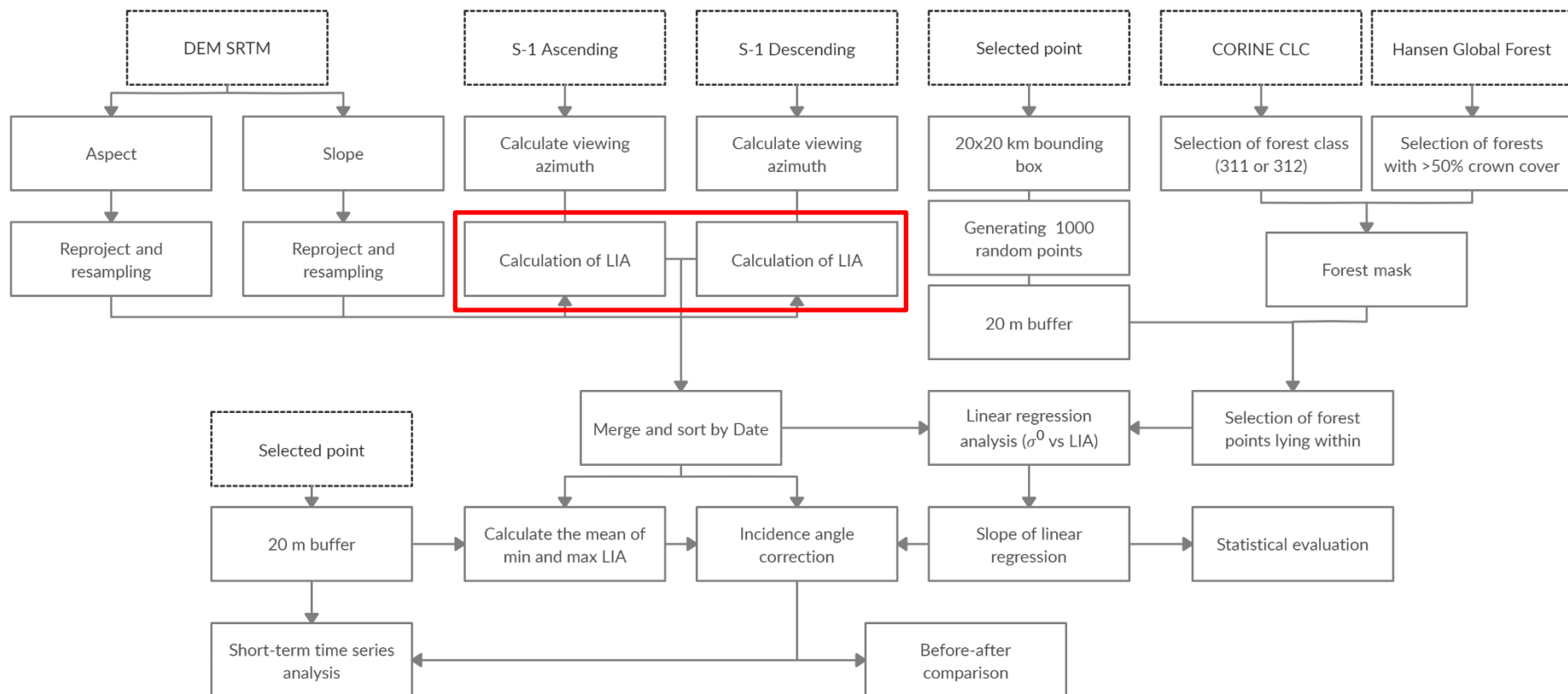


Why is Google working on Earth Engine?
 Google strives to make the world a better place through the use of technology.

Metodika



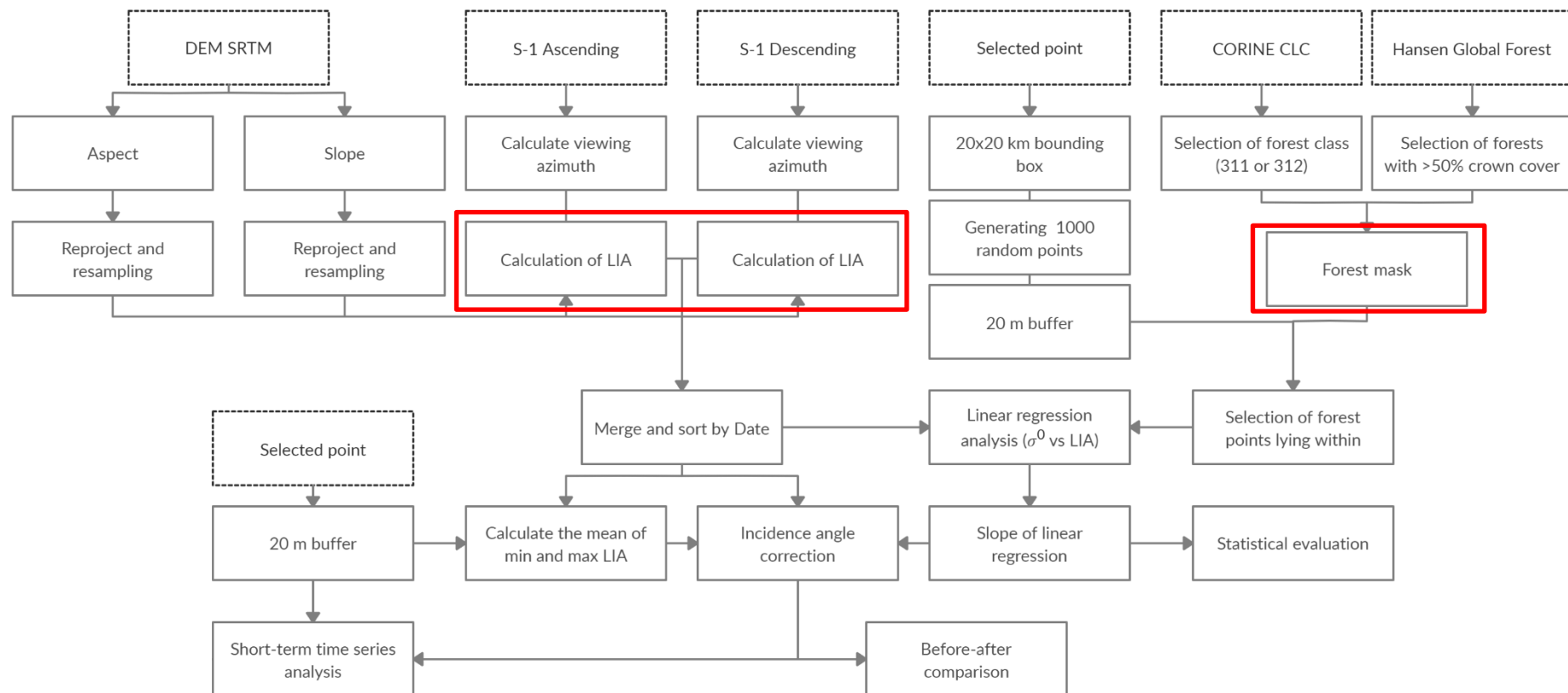
Metodika



$$\cos \theta_0 = \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \theta \cos (\gamma - \beta)$$



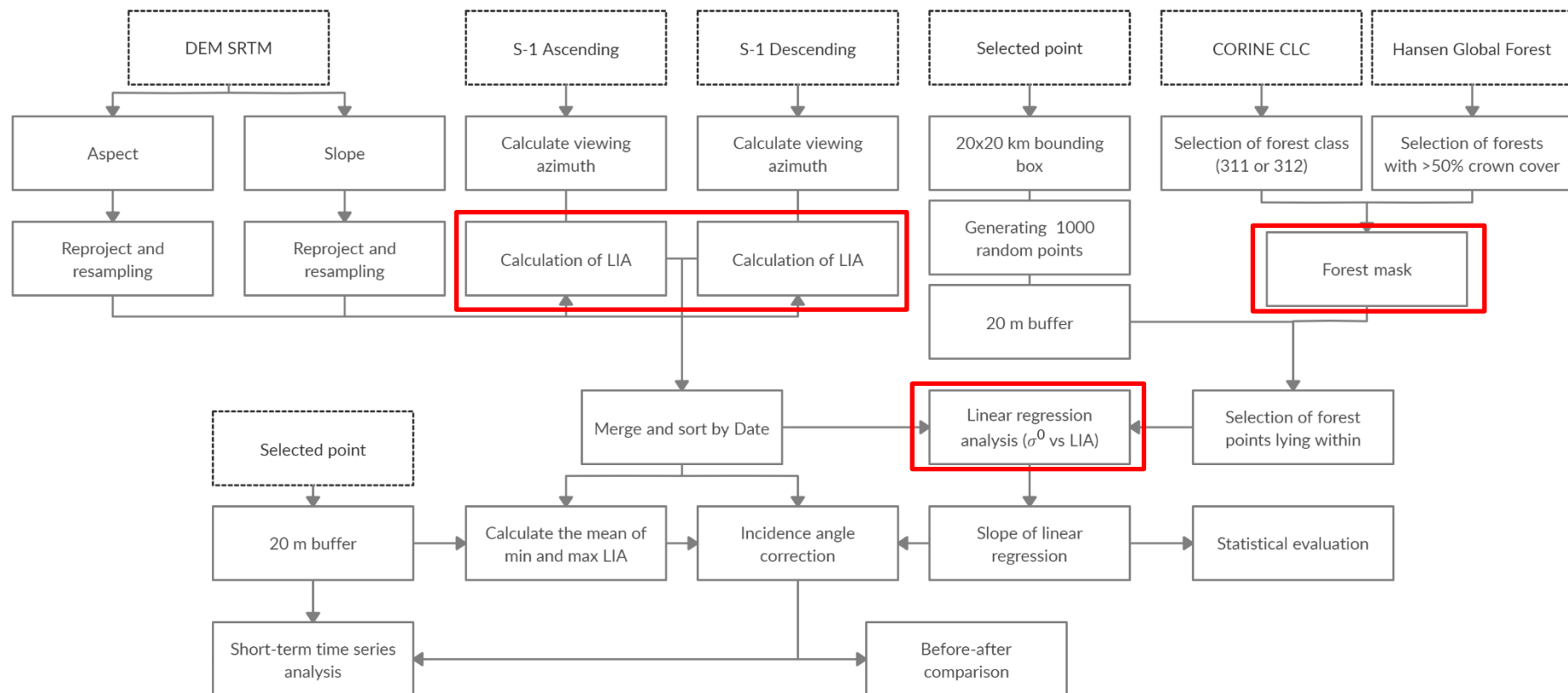
Metodika



$$\cos \theta_0 = \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \theta \cos (\gamma - \beta)$$



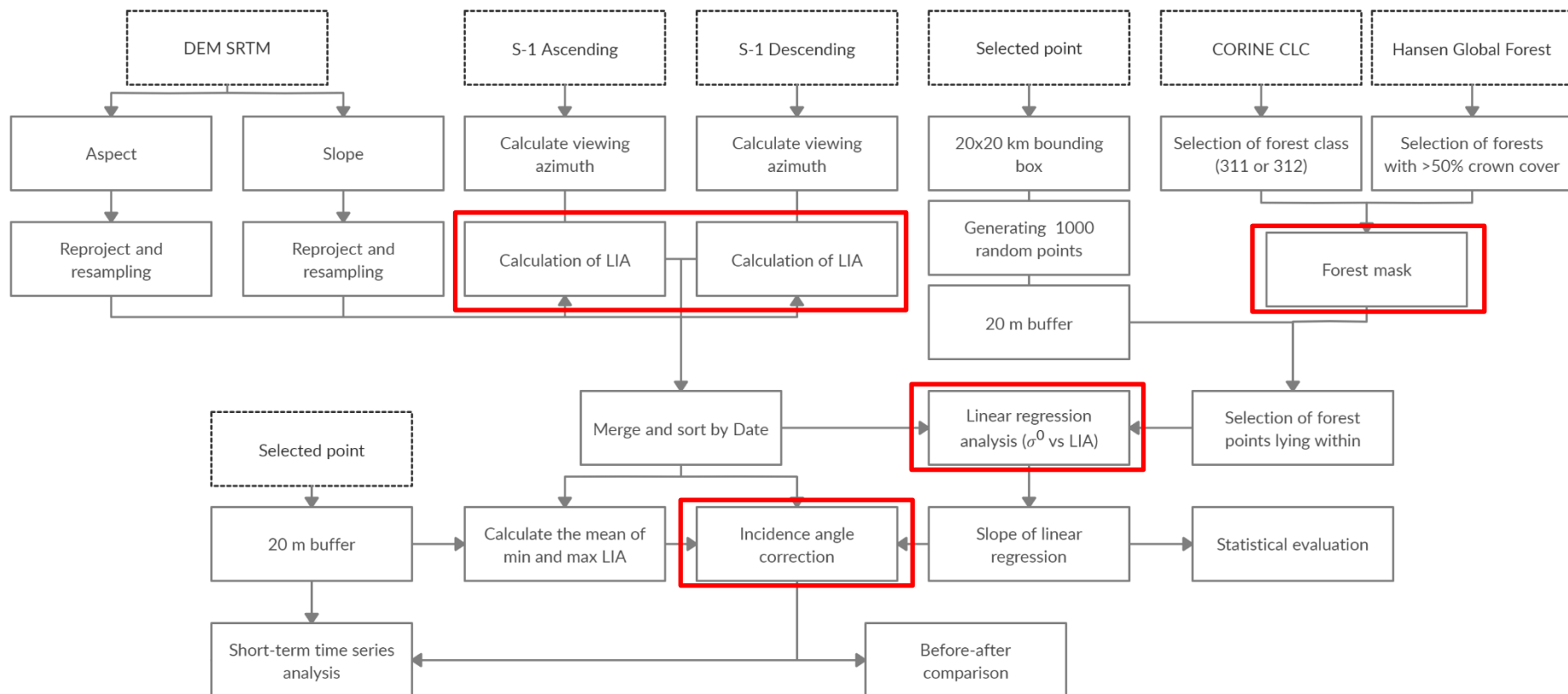
Metodika



$$\cos \theta_0 = \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \theta \cos (\gamma - \beta)$$



Metodika



$$\cos \theta_0 = \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \theta \cos (\gamma - \beta)$$

$$\sigma_{ref}^0 = \sigma_0^0 - b (\theta_0 - \theta_{ref})$$



Metodika

Google Earth Engine Search places and datasets...

Scripts Docs Assets

Filter scripts... NEW

Owner (5)

- users/danielp/DGClimate
- users/danielp/LC-SLIAC
 - Other-DEMs
 - Available-DEMs
 - LC-SLIAC_with_ALOS
 - LC-SLIAC_with_ALOS_example
 - LC-SLIAC_with_EU-DEM
 - LC-SLIAC_with_NASADEM
 - LC-SLIAC_with_SR-DEM10m
 - Other_methods
 - Vollrath2020
 - LC-SLIAC
 - LC-SLIAC_example
- users/danielp/LIA_Correction
 - LC-SLIAC_NEW
 - TestOfOtherMethods
 - AndreasVollhartMethod
 - Correlation_test
 - DifferentSlopes test of AndreasVollr...
 - Statistics and graphs22 for TF!
 - TESTING with TF and Gamma metho...
 - Test of AndreasVollhart method

LC-SLIAC *

Get Link Save Run Reset Apps

```

377
378 // Add corrected values to the Sentinel-1 ImageCollection
379 var addCorrectedValues = function(img) {
380
381     var VV = img.select('VV'),
382         VH = img.select('VH'),
383         VHscale = ee.Image(ee.Number(img.get('VHscale'))),
384         VVscale = ee.Image(ee.Number(img.get('VVscale'))),
385         angleDiff = (img.select('LIA').subtract(referenceAngle)),
386         radarAngle = img.select('angle'),
387         LIA = img.select('LIA');
388
389     var corrected_VV = VV.subtract((VVscale).multiply(angleDiff))
390         .rename('corrected_VV');
391
392     var corrected_VH = VH.subtract((VHscale).multiply(angleDiff))
393         .rename('corrected_VH');
394
395     return img.addBands([corrected_VH, corrected_VV]);
396 };
397
398 // Add LIA corrected bands to the Image Collection
399 var correctedValues = ImgCollWithRegression.map(addCorrectedValues);
400
401 return correctedValues;
402 };
403
404 // export the function
405 exports.LC_SLIAC = LC_SLIAC;
406

```

Inspector Console Tasks

Use print(...) to write to this console.

ImageCollection (225 elements) JSON

Time-series of corrected and uncorrected data

Mapa Satelitné

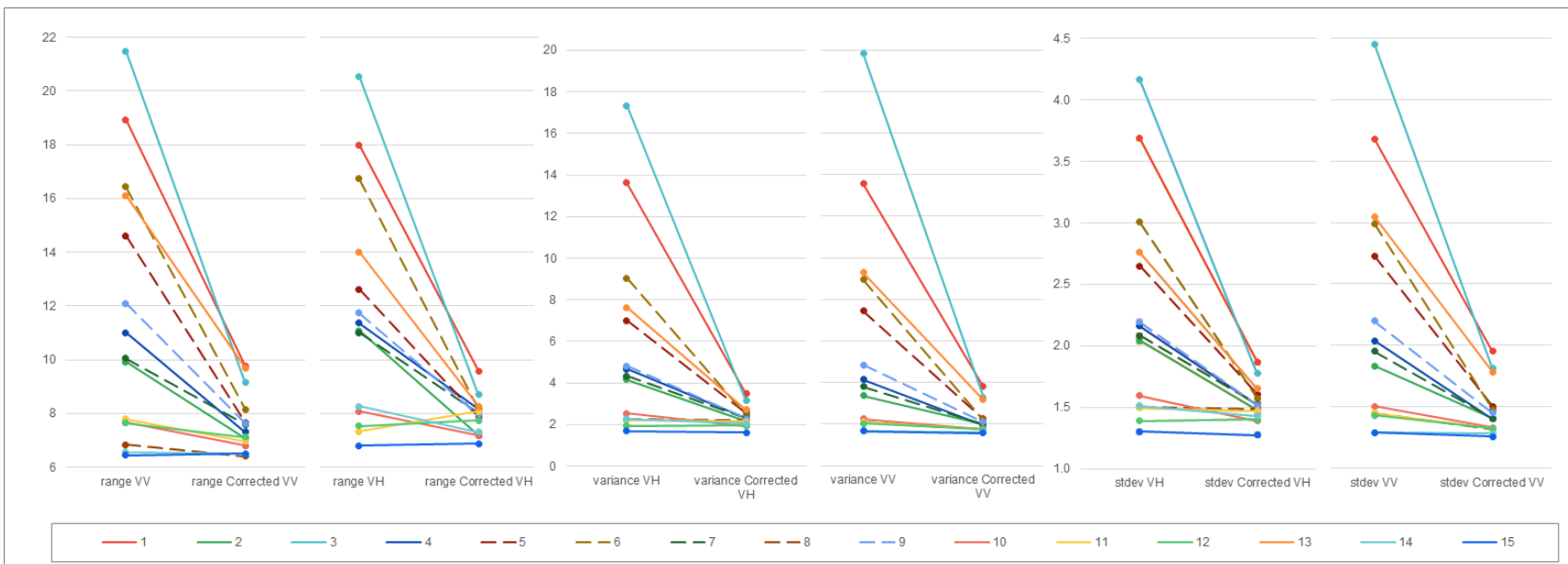
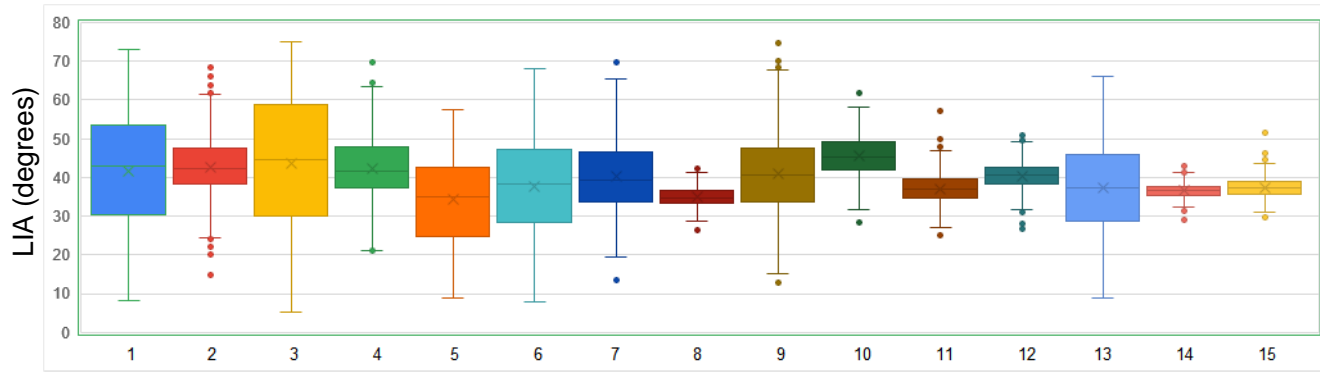
$$\cos \theta_0 = \cos \theta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \theta \cos (\gamma - \beta)$$

$$\sigma_{ref}^0 = \sigma_0^0 - b (\theta_0 - \theta_{ref})$$



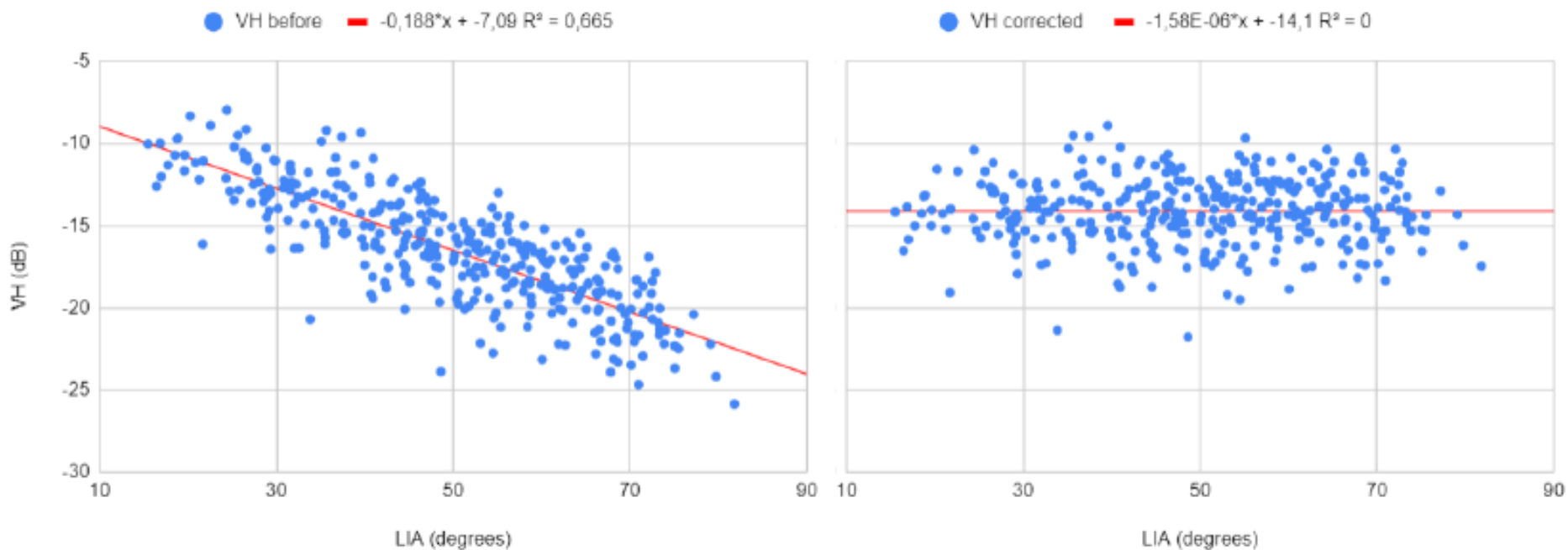
Korekcia LIA

- Negatívna lineárna závislosť
- Štatistické testovanie
- vyradenie extrémnych hodnôt (lower and upper fence)
- Najvyššie zníženie: územia s vyšším rozpätím LIA a IQR $>17^\circ$ → **zníženie rozpätia σ^0** o $>50\%$ pre územia, **Rozptyl** vyše 80% zníženie
- Najmenšie zníženie rozpätia pre LIA IQR $<5^\circ$ a LIA rozpätie $<32^\circ$ (8, 11, 12, 14 a 15)
- Po korekcii → vyšší rozptyl → vyššia heterogenita lesov vo vyšších nadmorských výškach



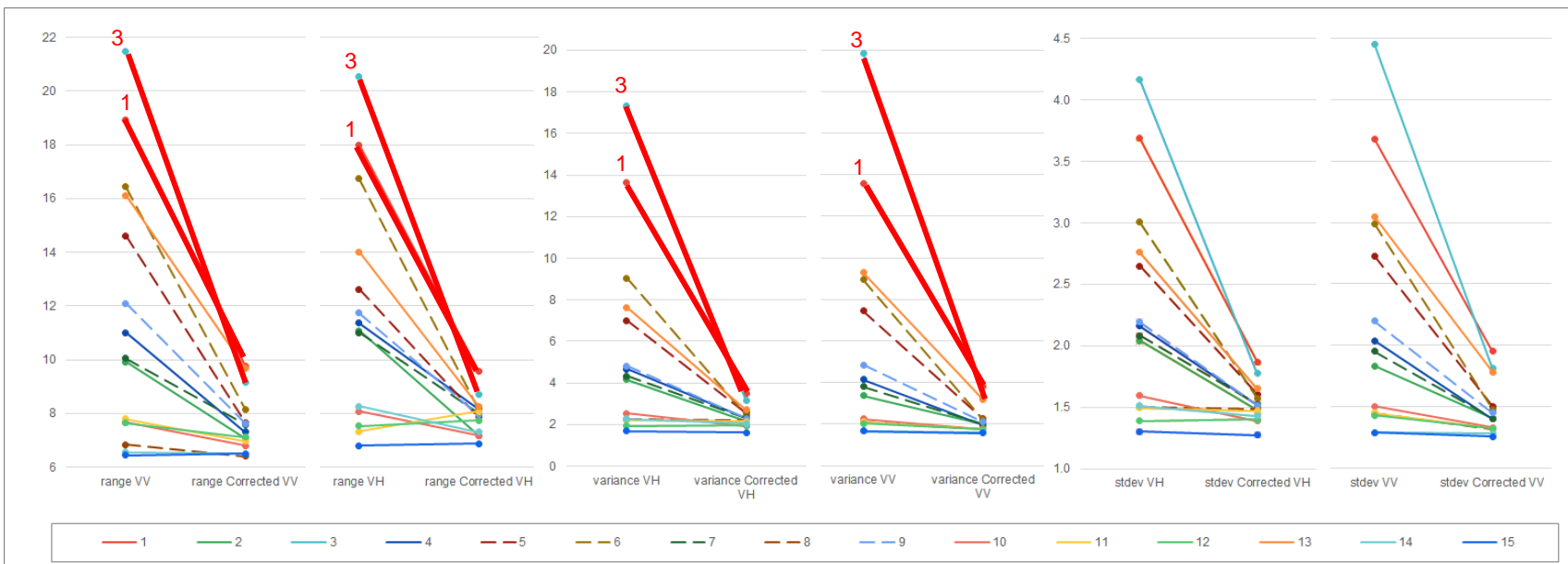
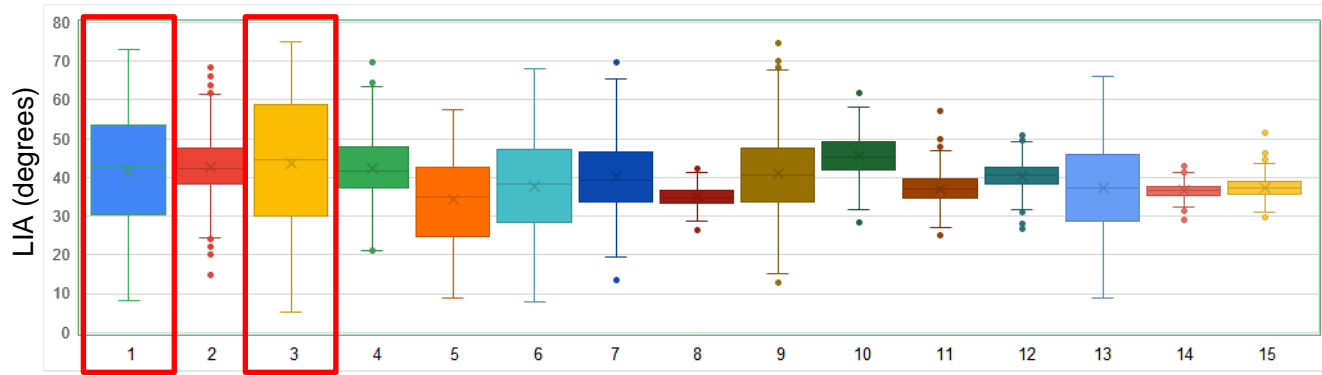
Korekcia LIA

- Negatívna lineárna závislosť
- Štatistické testovanie
vyradenie extrémnych hodnôt (lower and upper fence)



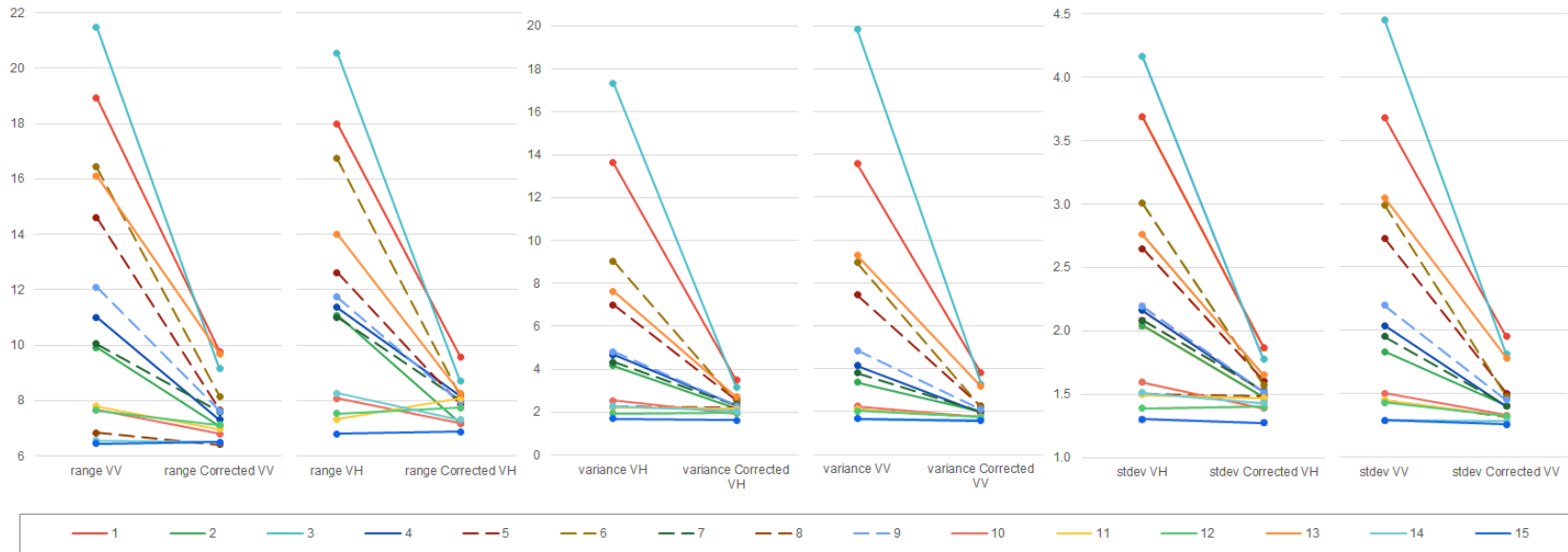
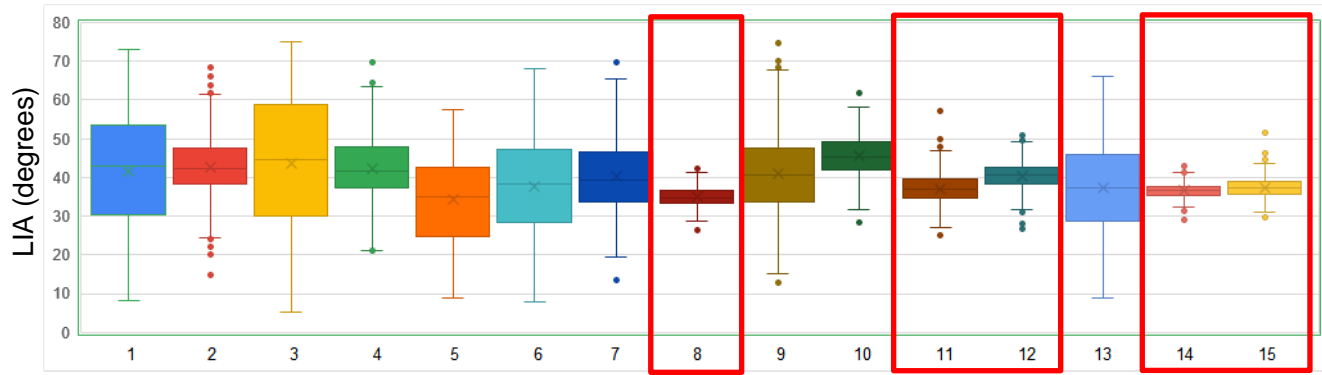
Korekcia LIA

- Negatívna lineárna závislosť
- Štatistické testovanie vyradenie extrémnych hodnôt (lower and upper fence)
- Najvyššie zníženie: územia s vyšším rozpätím LIA a IQR $>17^\circ$ → **zníženie rozpätia σ^0** o $>50\%$ pre územia, **Rozptyl** vyše 80% zníženie
- Najmenšie zníženie rozpätia pre LIA IQR $<5^\circ$ a LIA rozpätie $<32^\circ$ (8, 11, 12, 14 a 15)
- Po korekcii → vyšší rozptyl → vyššia heterogenita lesov vo vyšších nadmorských výškach



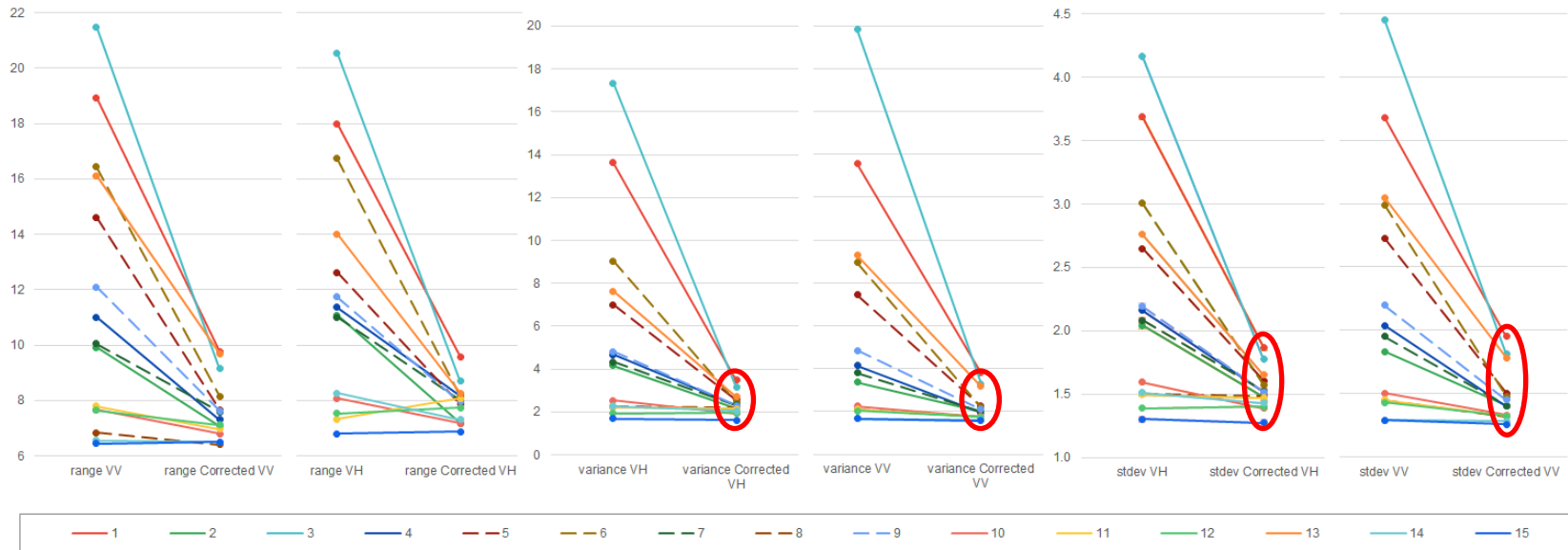
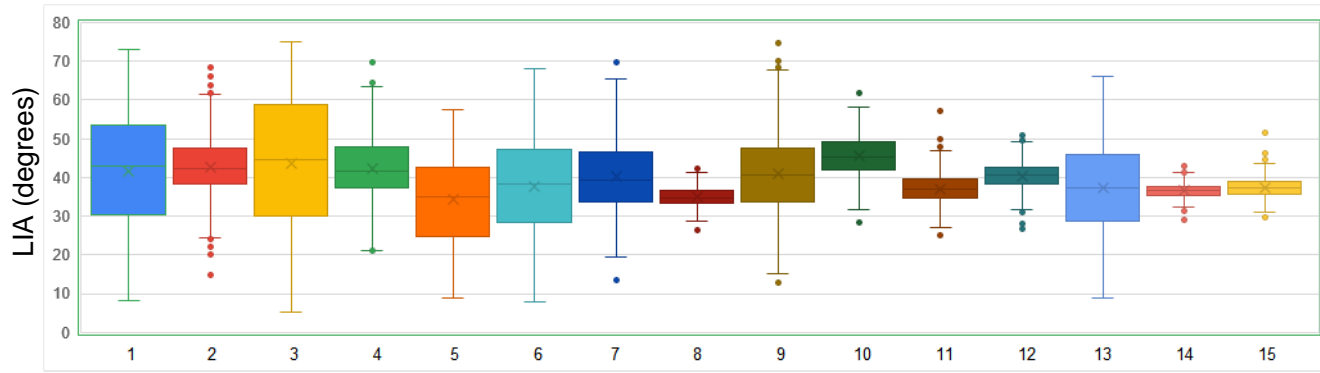
Korekcia LIA

- Negatívna lineárna závislosť
- Štatistické testovanie vyradenie extrémnych hodnôt (lower and upper fence)
- Najvyššie zníženie: územia s vyšším rozpätím LIA a IQR $>17^\circ$ → **zníženie rozpätia σ^0** o $>50\%$ pre územia, **Rozptyl** vyše 80% zníženie
- Najmenšie zníženie rozpätia pre LIA IQR $<5^\circ$ a LIA rozpätie $<32^\circ$ (8, 11, 12, 14 a 15)
- Po korekcii → vyšší rozptyl → vyššia heterogenita lesov vo vyšších nadmorských výškach



Korekcia LIA

- Negatívna lineárna závislosť
- Štatistické testovanie
- vyradenie extrémnych hodnôt (lower and upper fence)
- Najvyššie zníženie: územia s vyšším rozpätím LIA a IQR $>17^\circ$ → **zníženie rozpätia σ^0** o $>50\%$ pre územia, **Rozptyl** vyše 80% zníženie
- Najmenšie zníženie rozpätia pre LIA IQR $<5^\circ$ a LIA rozpätie $<32^\circ$ (8, 11, 12, 14 a 15)
- Po korekcii → vyšší rozptyl → vyššia heterogenita lesov vo vyšších nadmorských výškach

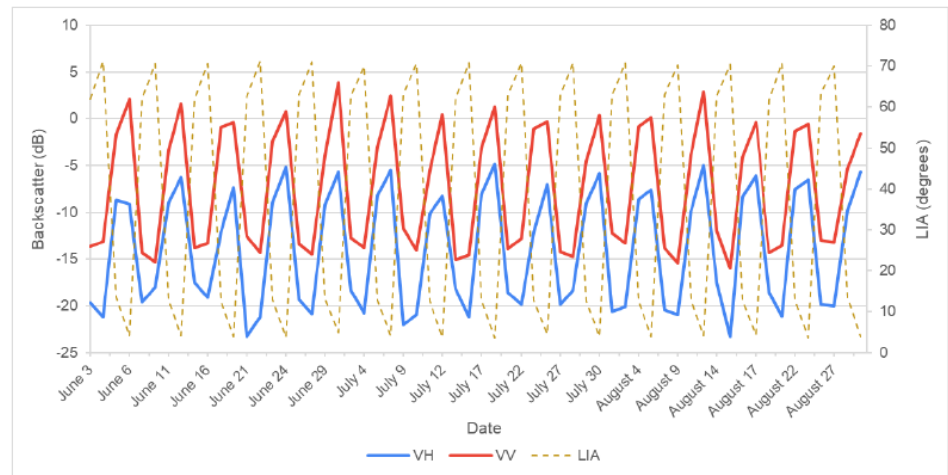
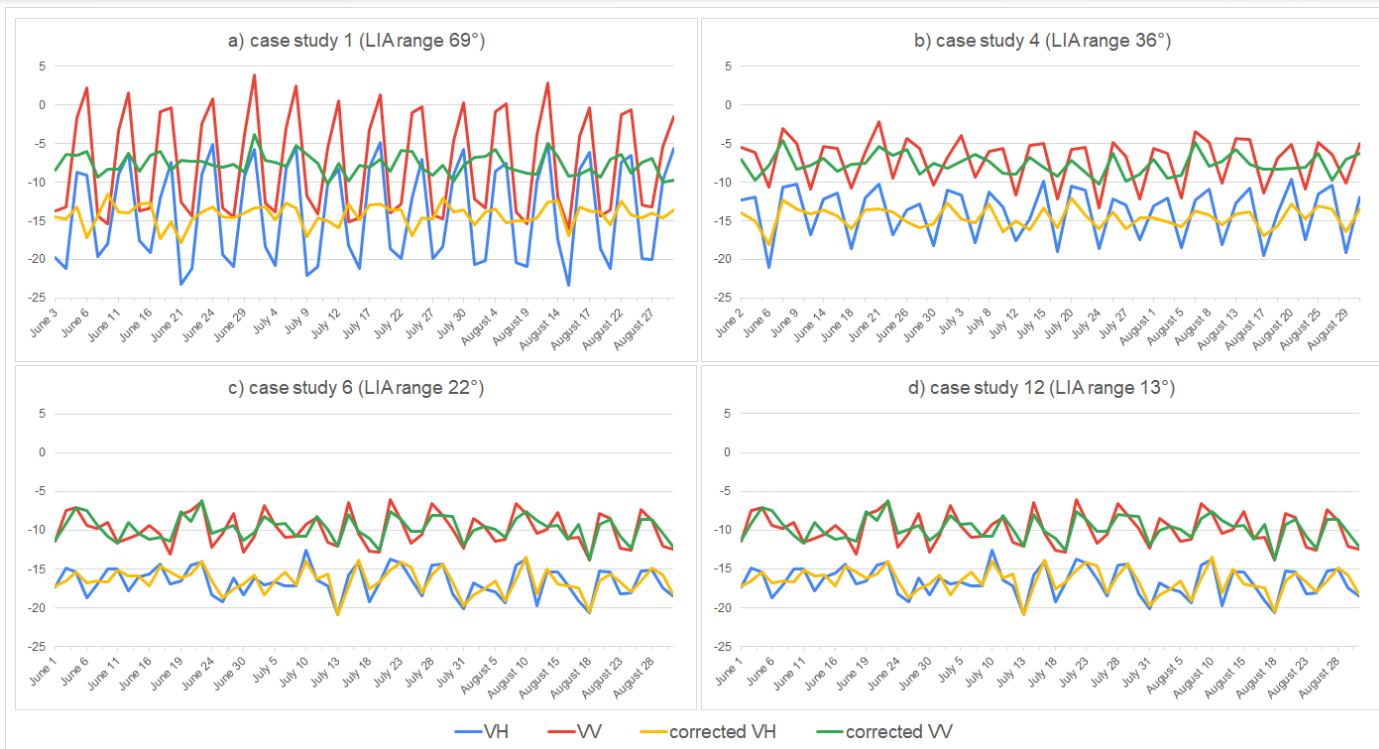


Analýza časových radov

➤ Jún – August 2019 všetky dostupné snímky

➤ Pre územia s vysokým LIA → väčšie zníženie fluktuácie

➤ Fluktuácia po korekcii → krátkodobé zmeny (environmentálne faktory, ako zvýšenie vlhkosti), iná odrazivosť kvôli času snímania (5 A.M. vs 5 P.M.) → teplota (Olesk et al. 2015)



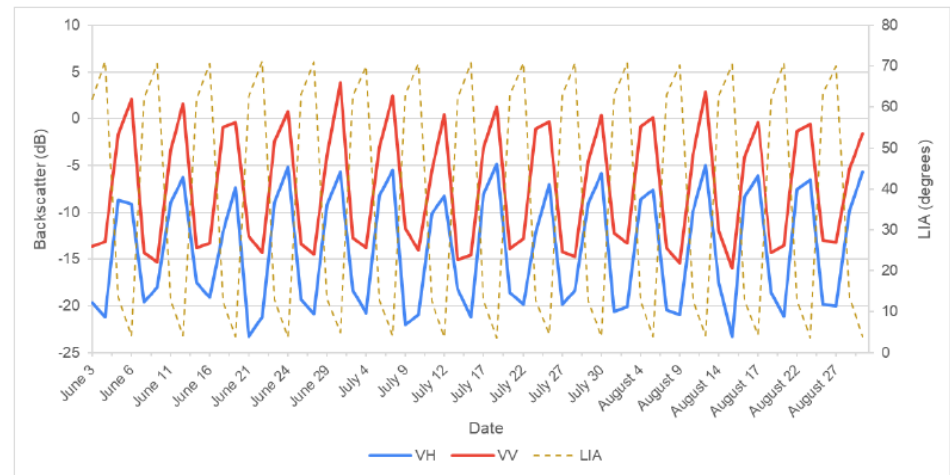
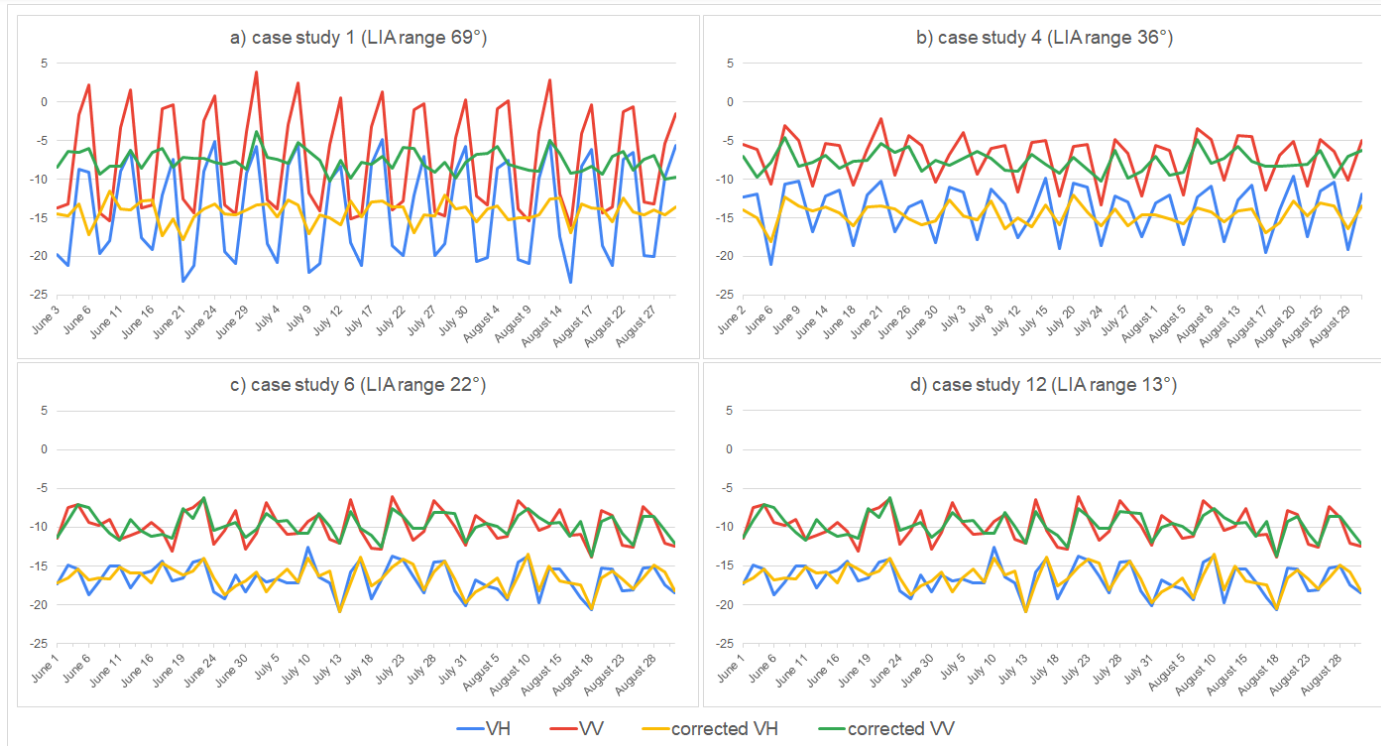
	Case study 1			Case study 4			Case study 6			Case study 12		
	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev
Original VH	43.63	18,42	6,61	9,39	10,89	3,07	4,59	9,29	2,14	1,59	4,85	1,26
Corrected VH	1.88	5,27	1,37	2,29	6,77	1,51	2,71	8,23	1,65	1,39	4,57	1,18
Original VV	46.47	18,87	6,82	9,76	9,65	3,12	4,20	8,35	2,05	1,95	7,74	1,40
Corrected VV	2.28	5,24	1,51	2,09	6,55	1,45	1,98	6,78	1,41	1,84	6,91	1,36

Analýza časových radov

➤ Jún – August 2019 všetky dostupné snímky

➤ Pre územia s vysokým LIA → väčšie zníženie fluktuácie

➤ Fluktuácia po korekcii → krátkodobé zmeny (environmentálne faktory, ako zvýšenie vlhkosti), iná odrazivosť kvôli času snímaniu (5 A.M. vs 5 P.M.) → teplota (Olesk et al. 2015)



Zaujímavé územie č. 1 – LIA rozpätie 69°

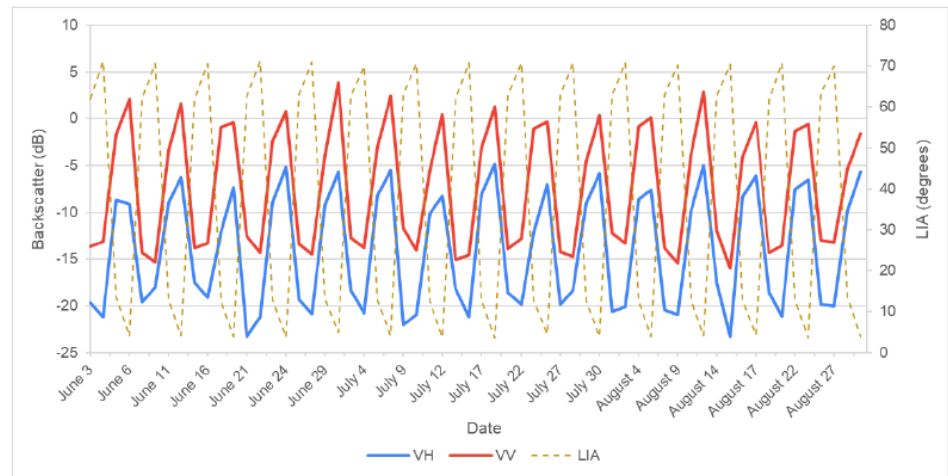
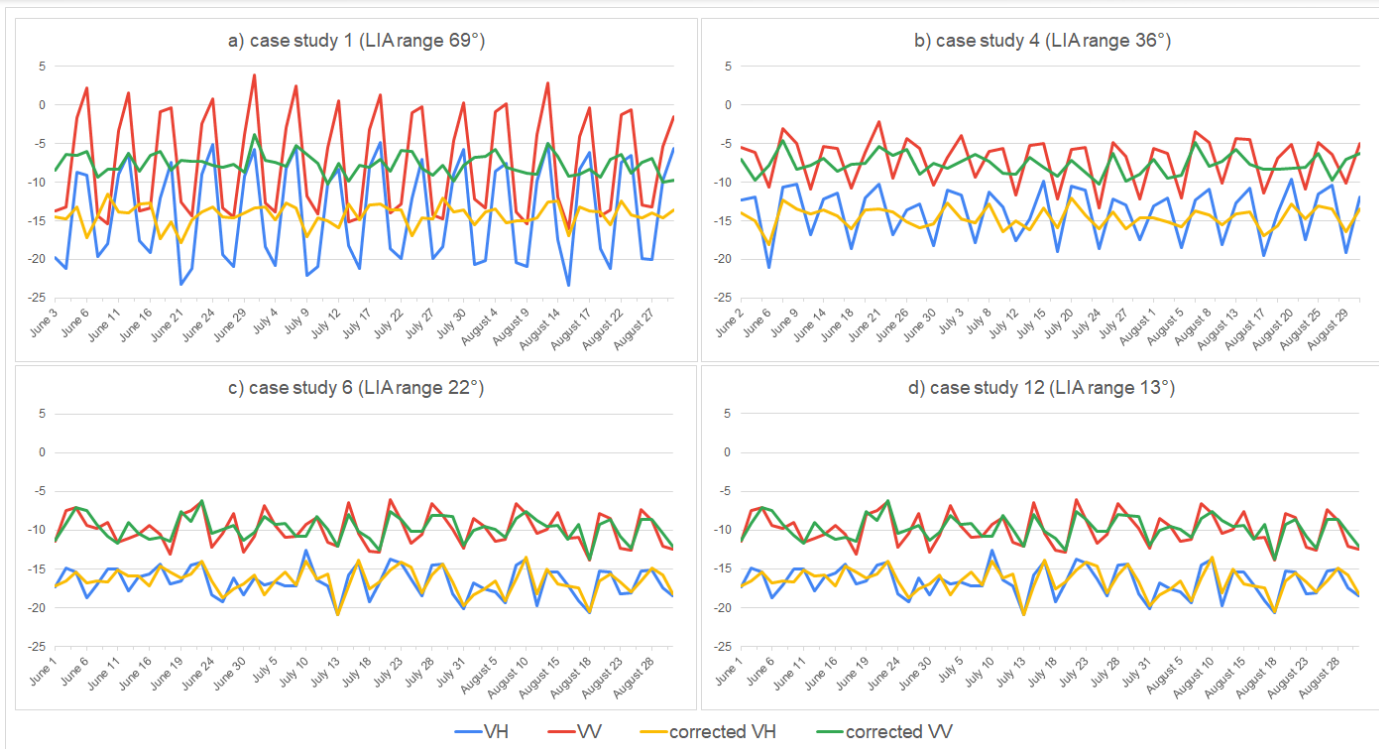
	Case study 1			Case study 4			Case study 6			Case study 12		
	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev
Original VH	43.63	18.42	6.61	9.39	10.89	3.07	4.59	9.29	2.14	1.59	4.85	1.26
Corrected VH	1.88	5.27	1.37	2.29	6.77	1.51	2.71	8.23	1.65	1.39	4.57	1.18
Original VV	46.47	18.87	6.82	9.76	9.65	3.12	4.20	8.35	2.05	1.95	7.74	1.40
Corrected VV	2.28	5.24	1.51	2.09	6.55	1.45	1.98	6.78	1.41	1.84	6.91	1.36

Analýza časových radov

➤ Jún – August 2019 všetky dostupné snímky

➤ Pre územia s vysokým LIA → väčšie zníženie fluktuácie

➤ Fluktuácia po korekcii → krátkodobé zmeny (environmentálne faktory, ako zvýšenie vlhkosti), iná odrazivosť kvôli času snímaniu (5 A.M. vs 5 P.M.) → teplota (Olesk et al. 2015)



Zaujmové územie č. 1 – LIA rozpätie 69°

	Case study 1			Case study 4			Case study 6			Case study 12		
	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev	Var.	range	Stdev
Original VH	43.63	18.42	6.61	9.39	10.89	3.07	4.59	9.29	2.14	1.59	4.85	1.26
Corrected VH	1.88	5.27	1.37	2.29	6.77	1.51	2.71	8.23	1.65	1.39	4.57	1.18
Original VV	46.47	18.87	6.82	9.76	9.65	3.12	4.20	8.35	2.05	1.95	7.74	1.40
Corrected VV	2.28	5.24	1.51	2.09	6.55	1.45	1.98	6.78	1.41	1.84	6.91	1.36

Záver a diskusia

- Inovatívna a voľne dostupná metóda pre analýzu časových radov, kde sú kombinované snímky s rôznou geometriou
<https://code.earthengine.google.com/31f7f395ba64c7bc6bbe4e34eaf7d49c>
- Výrazná korekcia vplyvu topografie v miestach veľkého rozpätia LIA získaných z rôznych dráh (až 95% v prípade rozptylu)
- Rýchlosť a dostupnosť oproti desktopovému riešeniu
- Limitácie:
 - vplyv heterogenity lesných porastov
 - Možné skreslenie odľahlými hodnotami (nelesné oblasti) zahrnuté v regresii → preto použitie 2 LC databáz + >50% pokrytie korunou stromov
- Výskum do budúcnosti – vysvetlenie krátkodobých variácií v časových radoch, aplikácia metódy pre dlhé časové rady (detekcia disturbancií), použitie presnejšieho DTM, Corine High Resolution Layers, rôzne typy krajinného pokryvu, v rôznych geografických podmienkach



Ďakujem za pozornosť!

Daniel Paluba



Vybraná literatúra:

- BAYER, T., WINTER, R., SCHREIER, G. (1991): Terrain influences in SAR backscatter and attempts to their correction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3, 29, 451–462.
- DOSTÁLOVÁ, A., MILENKOVIĆ, M., HOLLAUS, M., WAGNER, W. (2016): Influence of forest structure on the Sentinel-1 backscatter variation-analysis with full-waveform lidar data. European Space Agency, (Special Publication) ESA SP, February 2018, SP-740.
- DOSTÁLOVÁ, A., WAGNER, W., MILENKOVIĆ, M., HOLLAUS, M. (2018): Annual seasonality in Sentinel-1 signal for forest mapping and forest type classification. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 39, 7738–7760.
- FLORES-ANDERSON, A. I., HERNDON, K. E., THAPA, R. B., CHERRINGTON, E. (2019): *The SAR Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation*. SERVIR Global Science Coordination Ofce National Space Science and Technology Center, Huntsville, AL, United States.
- FOODY, G. M. (1986): An Assessment of the Topographic Effects on Sar Image Tone. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2, 12, 124–131.
- Frison, P. L., Fruneau, B., Kmiha, S., Soudani, K., Dufrêne, E., Le Toan, T., Koleč, T., Villard, L., Mougin, E., Rudant, J. P. (2018): Potential of Sentinel-1 data for monitoring temperate mixed forest phenology. *Remote Sensing*, 12, 10.
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R. (2017): Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27.
- HINSE, M., GWYN, Q. H. J., BONN, F. (1988): Radiometric Correction of C-Band Imagery for Topographic Effects in Regions of Moderate Relief. 2, 26, 122–132.
- KAASALAINEN, S., HYYPPÄ, J., KARJALAINEN, M., KROOKS, A., LYYTIKINEN-SAARENMAA, P., HOLOPAINEN, M., JAAKKOLA, A. (2010): Comparison of terrestrial laser scanner and synthetic aperture radar data in the study of forest defoliation. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, January, 38.
- OLESK, A., VOORMANSIK, K., PÕHJALA, M., NOORMA, M. (2015): Forest change detection from Sentinel-1 and ALOS-2 satellite images. *Proceedings of the 2015 IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar, APSAR 2015*, 2, 522–527.
- RAUSTE, Y. (1990): Incidence-angle dependence in forested and non-forested areas in Seasat SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 11, 1267–1276.
- SMALL, D. (2011): Flattening gamma: Radiometric terrain correction for SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 8, 49, 3081–3093.
- TEILLET, P. M., GUINDON, B., MEUNIER, J. F., GOODENOUGH, D. G. (1985): Slope-aspect effects in synthetic aperture radar imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1, 11, 39–49.