

# APSKATS PAR AUSTRUMBALTIJAS REĢIONA MODERNO ZEMESTRĪČU AVOTU PARAMETRIEM UN MEHĀNISMIEM

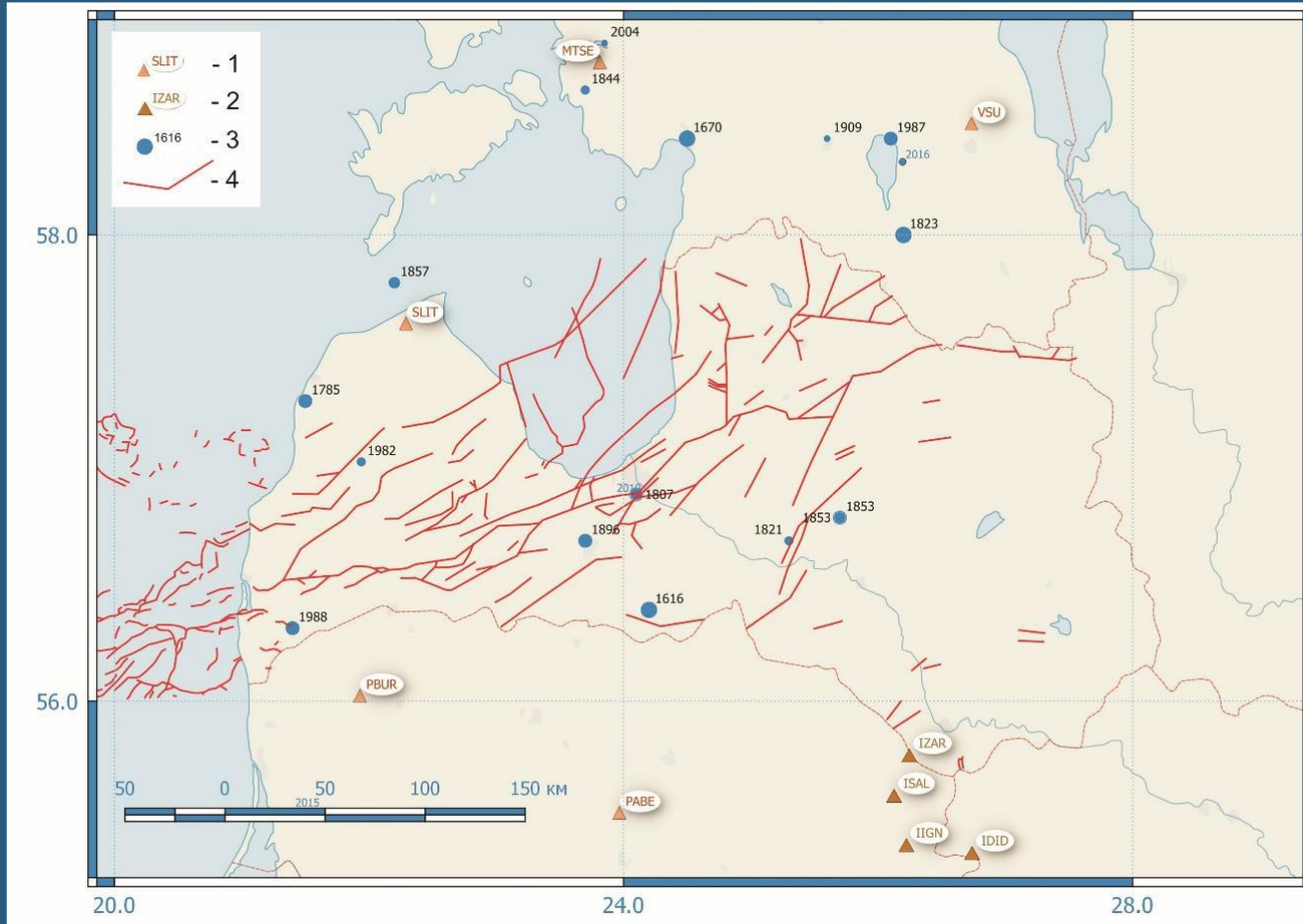
## REVIEW OF PARAMETERS AND FOCAL MECHANISMS OF MODERN EARTHQUAKES OF EASTERN BALTIC REGION

**Valērijs Nikulins<sup>1</sup>, Dmytro Malytskyy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> – SIA Geo Consultants, Latvia, Rīga, e-pasts: [seismolat@gmail.com](mailto:seismolat@gmail.com)

<sup>2</sup> – Carpathian Branch of Subbotin Institute of Geophysics,  
NAS of Ukraine, Lviv, e-pasts: [dmalytskyy@gmail.com](mailto:dmalytskyy@gmail.com)

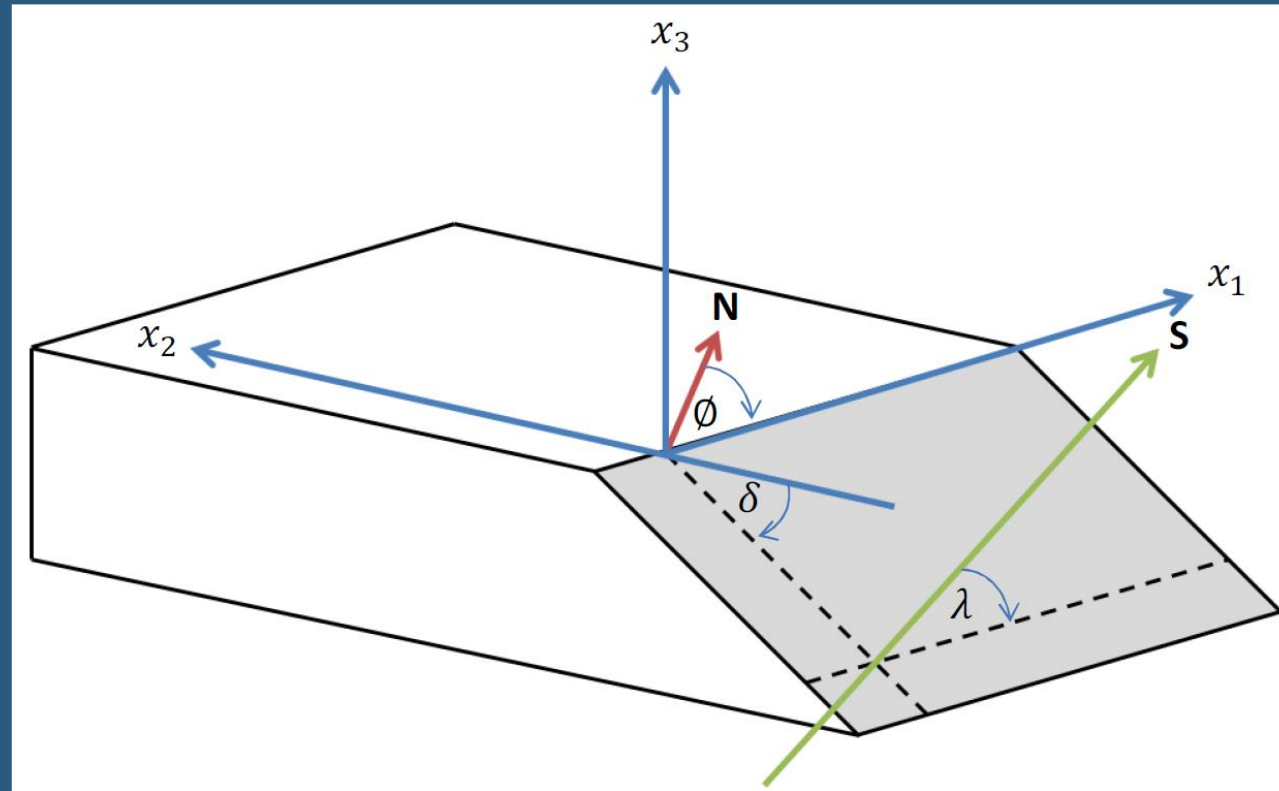
### Vēsturiskas relatīvi spēcīgas zemestrīces



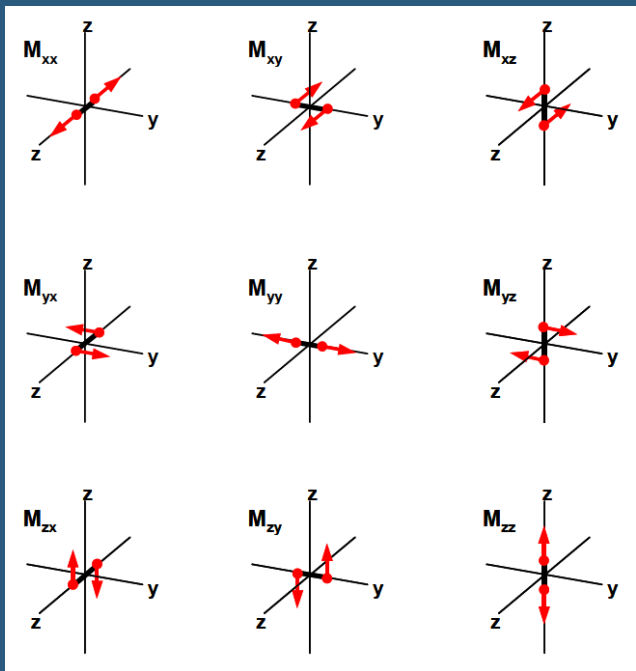
Gads	Laiks	Lat	Lon	I/M	D
1616/06/30	05:30	56.4	24.2	7/4.1	5
1670/02/01	~ 22	58.4	24.5	6/3.9	8
1821/02/20	-	56.6	25.4	7/4.5	13
1857/05/18	~ 11	57.7	22.2	7/4.5	10
-	-	-	-	-	-

### Relatīvi spēcīgas zemestrīces par instrumentālo periodu (kopš 20. gadsimta 60. gadu vidus)

Gads	Laiks	Lat	Lon	I/M	D
1976/10/25	08:39:00	59.26	23.39	6/4.5	10
2004/09/21	11:05:03	54.86	19.98	6/4.6	15
2004/09/21	13:32:30	54.84	19.91	6.5/4.7	15



Lūzuma ģeometrija. Tumša plakne ir lūzuma plakne. Sarkanais vektors norāda virzienu uz ziemeļiem. Strike ( $\phi$ ) pārstāv leņķu starp ziemeļu virzienu un pārrāvuma līniju. Dip ( $\delta$ ) – krītuma leņķis. Zaļais vektors S, kas ir paralēls lūzuma virsmai, attēlo piekaramās sienas slīdēšanas virzienu ar slīdes leņķu -  $\lambda$ .



Deviņi vispārināti pāri, kas pārstāv Grīna funkciju  $G_{sk,j}(x, \xi, t)$  vienādojumā (1)

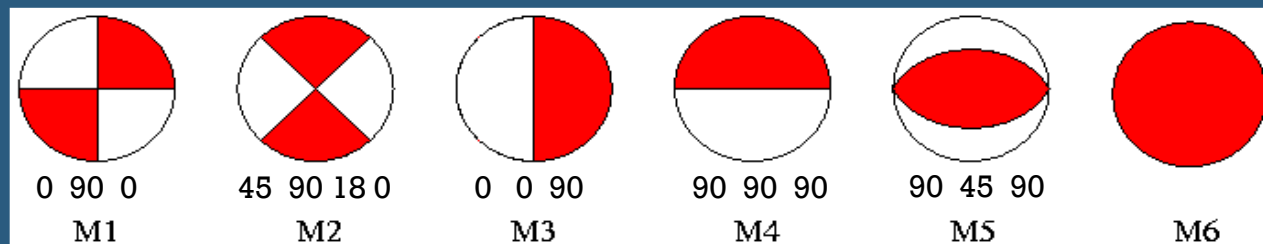
$$\begin{aligned}
 M_{xx} &= -M_0(\sin\delta \cos\lambda \sin 2\phi + \sin 2\delta \sin\lambda \sin^2\phi) \\
 M_{xy} &= M_0(\sin\delta \cos\lambda \cos 2\phi + 0.5 \sin 2\delta \sin\lambda \sin 2\phi) \\
 M_{xz} &= -M_0(\cos\delta \cos\lambda \cos\phi + \cos 2\delta \sin\lambda \sin\phi) \\
 M_{yy} &= M_0(\sin\delta \cos\lambda \sin 2\phi - \sin 2\delta \sin\lambda \cos^2\phi) \\
 M_{yz} &= -M_0(\cos\delta \cos\lambda \sin\phi - \cos 2\delta \sin\lambda \cos\phi) \\
 M_{zz} &= M_0 \sin 2\delta \sin\lambda
 \end{aligned}$$

Punktveida avota gadījumā, nobīdi uz Zemes virsmas stacijā var izteikt kā no laika atkarīgu momenta tenzora elementu lineāru kombināciju  $M_{kj}(\xi, t)$  ar Grīna funkciju atvasinājumu  $G_{sk,j}(x, \xi, t)$ .

$$u_s(x, t) = M_{kj}(\xi, t) * G_{sk,j}(x, \xi, t) \quad (1)$$

$u_s(x, t)$  - s-komponents grunts nobīdes  $x$  un laikā  $t$ .

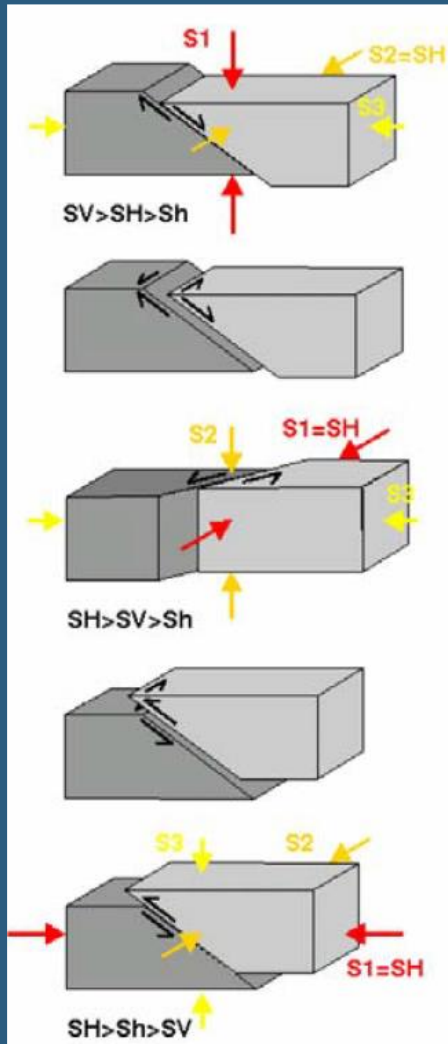
**Momenta tenzors sadalās uz elementārā dubultpārī avotiem un sprāgstavots**



M1 un M2 ir tīras nobīdes; M3 un M4 ir nobīdes lūzumi vertikālās plaknēs, kas attiecīgi stiepjas no ziemeļiem uz dienvidiem un no austrumiem uz rietumiem, bet M5 ir nobīde 45° slīpumā. M6 ir izotropis avots, kas izstaro enerģiju vienādi visos virzienos (t.i., eksplozija).

← Seismiskā momenta tenzoram  $M$  ir, vispār sakot, seši neatkarīgi komponenti, kas izriet no nosacījuma, ka ekvivalentu spēku pilnīgam leņķim avotā jābūt nullei.

## Pārrāvuma, pārbīdes un slīdēšanas tipa tektoniskās struktūras



**NF:** Normal faulting [Tektoniskās kustības tips - nomats, normāla tektoniskā lūzuma veidošana]

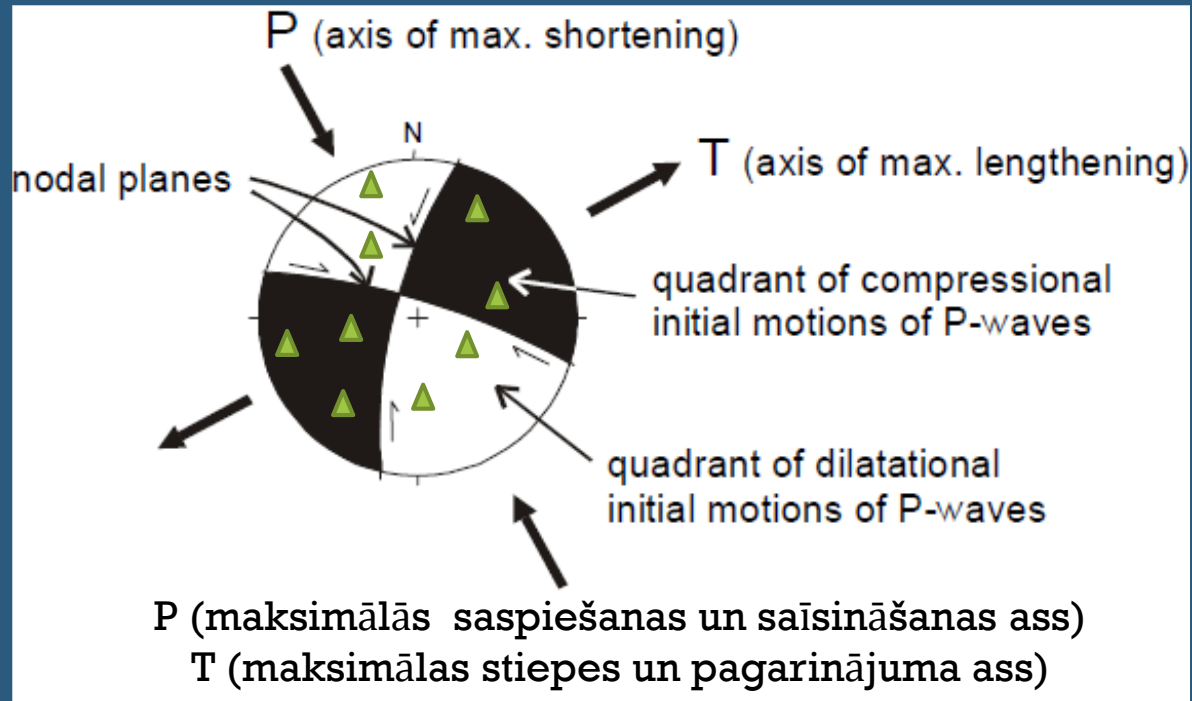
**NS:** Predominately normal faulting with strike-slip component (Normal oblique faulting) [Nomata dominējoša tipa lūzuma veidošana ar pārbīdi un slīdēšanu]

**SS:** Strike-slip faulting (includes minor normal or thrust component) [Pārbīdes un slīdēšanas lūzuma veidošana (ietver nelielu normālu vai vilces komponentu)]

**TS:** Predominately thrust faulting with strike-slip component (Reverse oblique faulting) [Uzmata dominējošā tipa lūzuma veidošana ar pārbīdi un slīdēšanu]

**TF:** Thrust faulting (Reverse faulting) [Uzmata (uzbīdījuma) tipa lūzuma veidošana]

## Apakšējās puslodes stereogrāfiskā projekcija



Momenta tenzora inversijai nepieciešami šādi nosacījumi:

### 1. etaps: **Datu apkopošana un priekšapstrāde:**

laba signāla/trokšņa attiecība;  
 neapgraizīti signāli;  
 labs azimutālais pārklājums;  
 vidējās vērtības un lineāro tendenču noņemšana;  
 ierīču atbildes korekcija, seismogrammu pārveidošana nobīdē;  
 apakšējo frekvenču filtrēšana augstfrekvences trokšņa aizvākšanai;  
 apmierināt punktveida avota aproksimācijas.

### 2. etaps: **Grīna sintētisko funkciju aprēķins, kas atkarīgs no:**

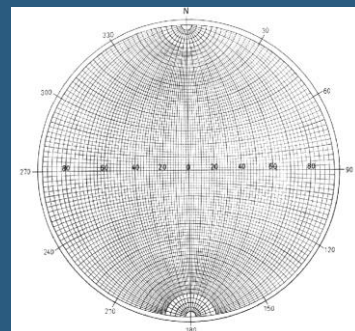
Zemes modelis;  
 avota atrašanās vieta;  
 uztvērēja novietojums.

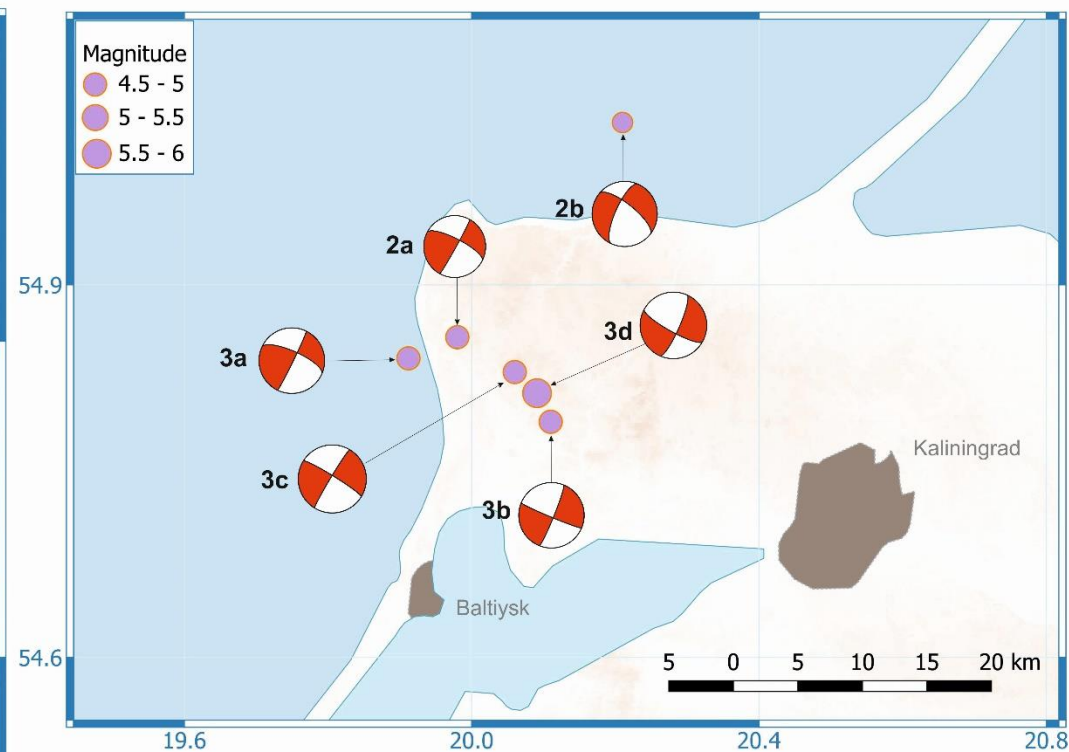
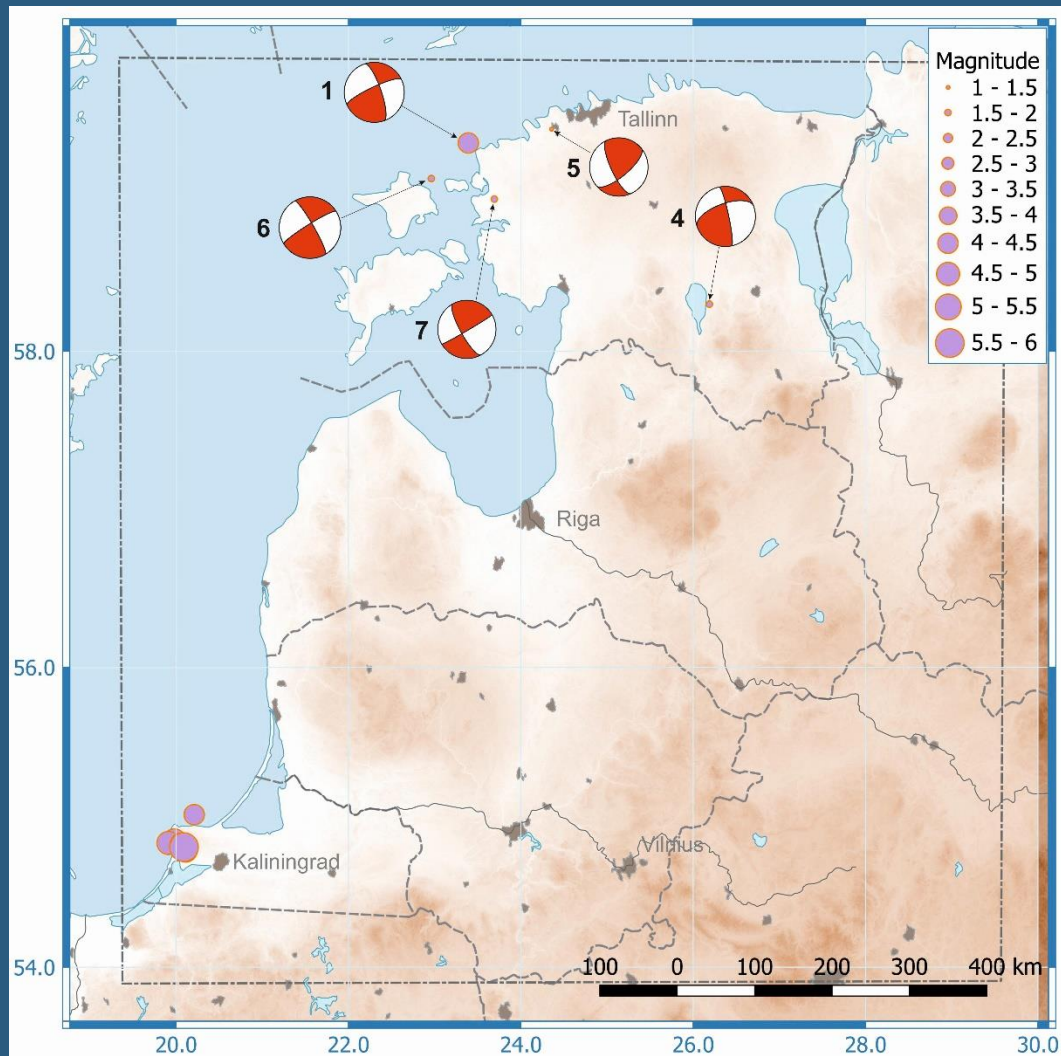
### 3. etaps: **Inversija:**

signālu formu, piemēram, P, SH vai pilno seismogrammu izvēle;  
 rūpes par to, lai viļņa forma atbilstu attiecīgajai sintētikai;  
 atbilstošo vienādojumu novērtēšana;  
 momentu tenzora sadalīšana, piemēram, uz labāko dubult pāri plus CLVD (Compensated Linear Vector Dipole).

Tektonisko lūzumu plakņu uzbūvēšanai var izmantot vai nu Vulfa vienādstūra tīklu, vai Lamberta-Šmita vienādo projekciju. Šās projekcijās norāda pirmie P-viļņus, ņemot vērā to polaritāti.

### Vulfa vienādstūra tīklu





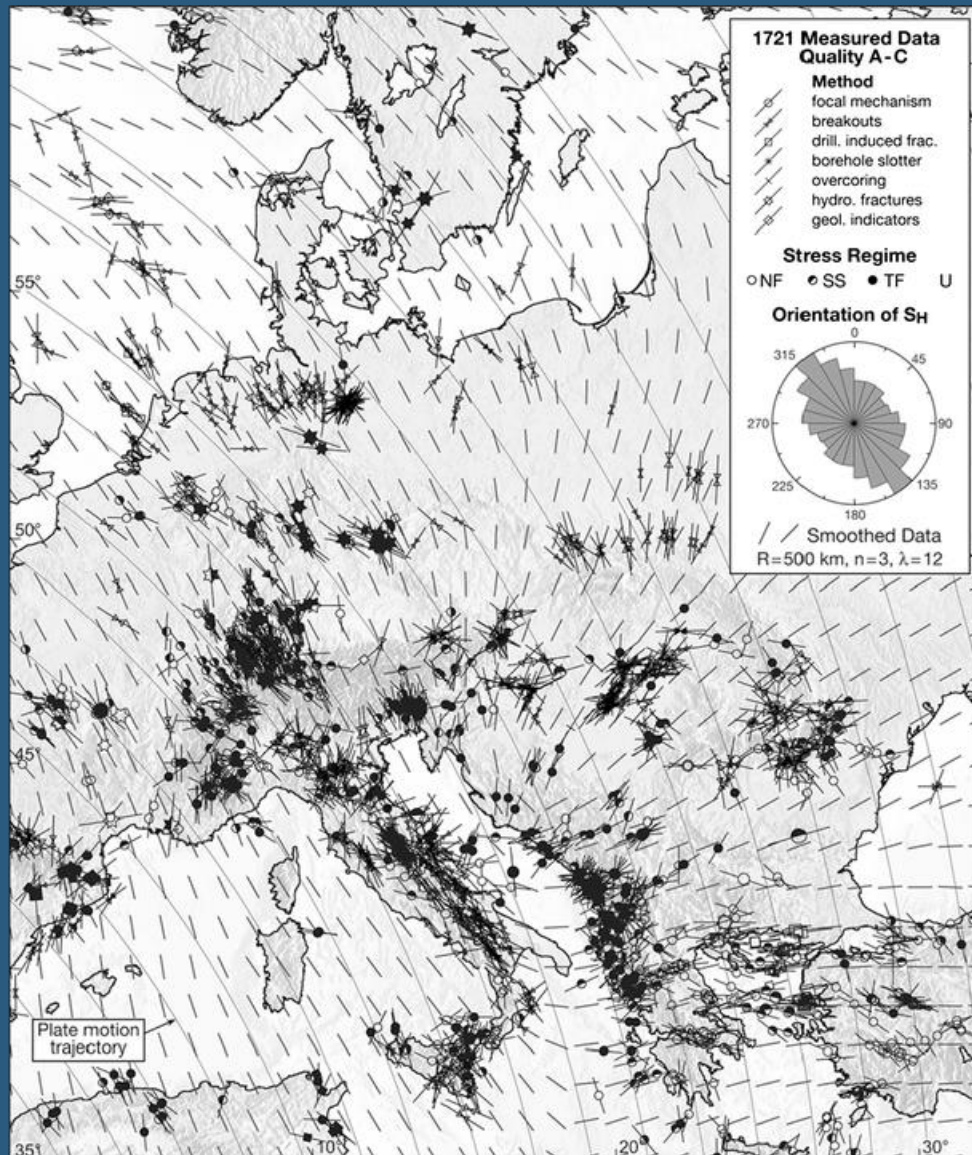
**Austrumbaltijas reģiona zemestrīču epicentru un fokālo mehānismu karte par instrumentālo periodu no 1976. līdz 2018. gadam**

## Austrumbaltijas reģiona moderno zemestrīču fokālie mehānismi un parametri

N	Datums un laiks	Lat	Lon	H, km	M	S1	D1	R1	S2	D2	R2	AS	FM	Āvots
1	19761025 08:39:00	59.26	23.39	10	4.5	341	69	17	245	74	158	114	LLSS	Slunga, 1979
2a	20040921 11:05:03	54.86	19.98	15	4.6	29	86	23	298	67	175	161	RLLO	ZUR-RMT
2b	20040921 11:05:03	55.03	20.21	18	4.5	204	64	-31	308	63	-151	166	NLLO	MED-RCMT
3a	20040921 13:32:30	54.84	19.91	15	4.7	26	86	26	294	64	176	157	RLLO	ZUR-RMT
3b	20040921 13:32:32	54.79	20.11	20.2	4.7	22	83	-5	113	85	-173	158	LLSS	GCMT
3c	20040921 13:32:32	54.83	20.06	20.5	4.7	211	85	-8	302	82	-175	166	LLSS	MED-RCMT
3d	20040921 13:32:31	54.81	20.09	3.0	5.6	119	73	-163	23	73	-17	160	RLSS	Nik & Mal, 2021
4	20161116 02:49:00	58.29	26.19	4.0	1.8	348	80	39	251	52	168	114	RLLO	Soosalu et al., 2022
5	20170322 03:00:00	59.34	24.36	4.0	1.2	155	66	33	50	61	152	102	RLLO	Soosalu et al., 2022
6	20170715 08:01:00	59.05	22.96	11.4	2.0	330	79	10	238	80	168	104	LLSS	Soosalu et al., 2022
7	20180304 01:21:00	58.93	23.69	3.5	1.7	151	70	4	60	87	160	107	LLSS	Soosalu et al., 2022

Apzīmējumi: H – zenestrīces cilmvietas dziļums, M – magnitūda, S1, D1, R1, S2, D2, R2 – Strike, Dip, Rake for 1st and 2nd nodal planes respectively, AS – azimuth of  $S_{Hmax}$ , FM – Focal Mechanism, LLSS – Left-Lateral Strike-Slip, RLLO – Reverse Left-Lateral Oblique, NLLO – Normal Left-Lateral Oblique, RLSS – Right-Lateral Strike-Slip, ZUR-RMT - Swiss Seismological Service, MED-RCMT - MedNet Regional Centroid - Moment Tensors (INGV), GCMT - Lamont Doherty Earth Observatory (LDEO), Columbia University.

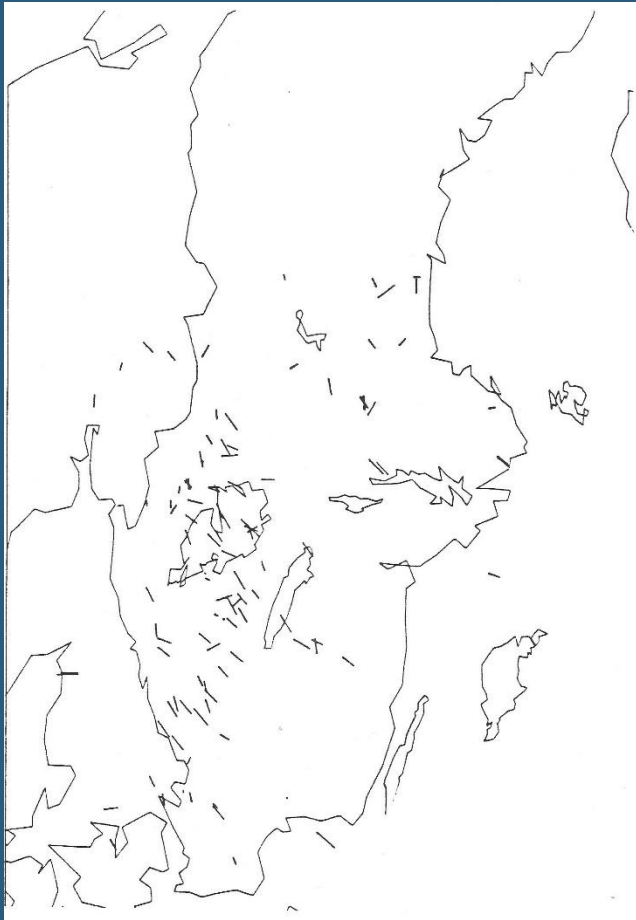




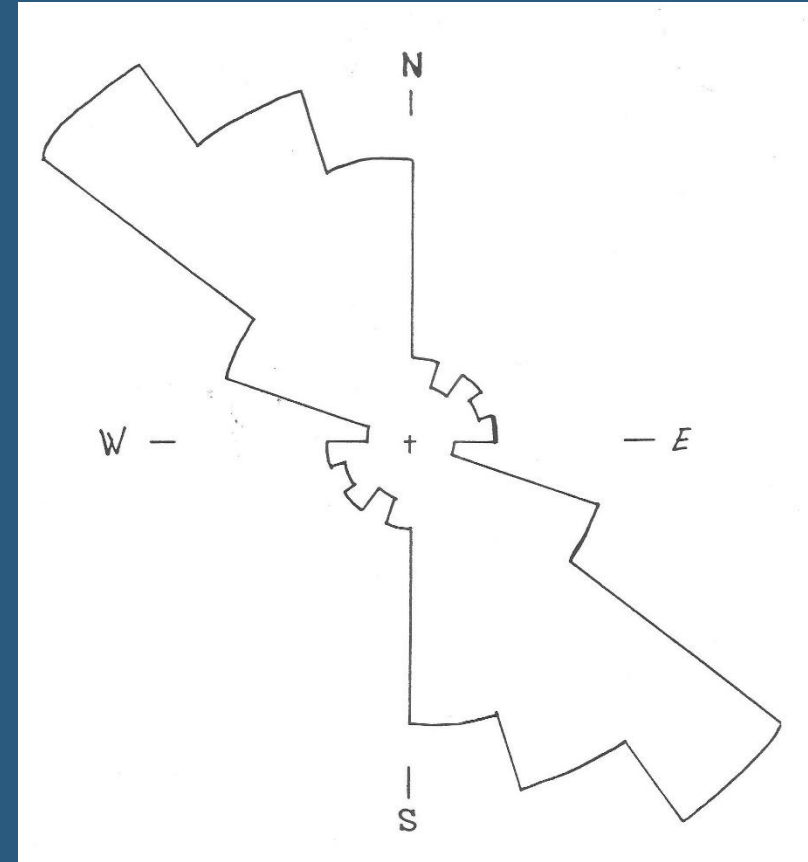
Nogrudināta Rietumeiropas maksimālo horizontālo spriegumu virziena karte (īsās joslas), pamatojoties uz 1721 spriegumu ierakstu no pasaules spriegumu kartes.

Ir 4 metodes maksimālā horizontālā sprieguma azimuta noteikšanai.

1. Fokālais mehānisms [Earthquake focal mechanisms] **72%**
2. Urbumu lūzumi un urbšanas izraisīti lūzumi [wellbore breakouts and drilling induced fractures] **20%**
3. In situ sprieguma mērījumi [pārklāšana, hidrauliskā pārraušana, urbuma sloters [in situ stress measurements [overcoring, hydraulic fracturing, borehole slotter] **4%**
4. Jauni ģeoloģiskie dati (no bojājumu slīdēšanas analīzes un vulkānisko viedumu izlīdzināšanas) [young geologic data [from fault slip analysis and volcanic vent alignments] **4%**



Horizontālo kompresiju orientācija. Līnijas norāda uz lielākās horizontālās saspiešanas virzienu spriegumiem, ko atslābina zemestrīces process. Tektoniskie notikumi acīmredzot atspoguļo reģionālos ģeodinamiskos procesus.



Horizontālās saspiešanas virzienu sadalījums. Sadalījums nav nejaušs. Kompresijas virziens NW-SE pār Zviedrijas dienvidiem

## Secinājumi

1. Igaunijā identificēti divu veidu zemestrīču fokāla mehānismi: Left-Lateral Strike-Slip un Reverse Left-Lateral Oblique. Maksimālās horizontālās saspiešanas azimuts ir diapazonā no 102 līdz 114 grādiem.
2. Krievijas Kaļiņingradas apgabalā 2004. gada 21. septembrī notika divas zemestrīces. Četru veidu fokālie zemestrīču mehānismi iegūti pēc četriem neatkarīgiem avotiem. Tie sastāv no Reverse Left-Lateral Oblique, Normal Left-Lateral Oblique, Left-Lateral Strike-Slip, Right-Lateral Strike-Slip. Maksimālās horizontālās saspiešanas azimuts ir diapazonā no 157 līdz 166 grādiem.
3. Pamatinformācija par maksimālā horizontālā sprieguma orientāciju Austrumbaltijas reģionā iegūta, balstoties uz septiņu zemestrīču fokālo mehānisma risinājumu.
4. Dominējošais saspiešanas spriegums iespējams saistīts ar Vidus Atlantijas kalnu grēdas paplašināšanos un Eiropas - Āfrikas plātņu kolīziju Eiropas dienvidos.
5. Maksimālo horizontālo sprieguma azimuts – svarīgais parametrs kurš ļauj novērtēt ģeodinamiskos apstākļus. Īpaši tas svarīgi lielam inženier-tehniskiem objektiem. Piemēram Pļaviņu hidroelektriskai stācijai, kura atrodas sarežģītos tektoniskos un ģeodinamiskos apstākļos.

## Priekšlikums

Tā kā Latvijā nav zemestrīču maksimālā horizontālā sprieguma novērtēšanai, tad būtu lietderīgi attīstīt arī citas metodes šim mērķim (hidroplīsums, ģeoloģiskie indikatori utt.).

**Paldies par uzmanību !**