

ESF projekts

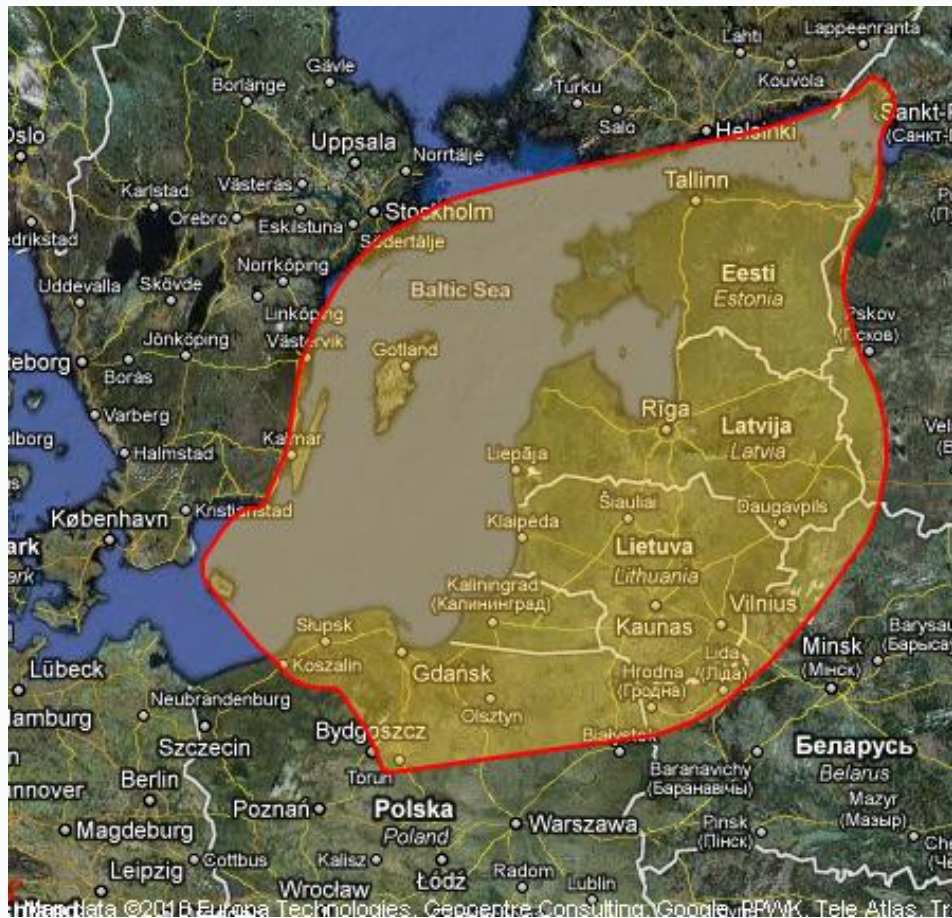
“Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem”

**Baltijas artēziskā baseina matemātiskais modelis - versija V0**

*Juris Seņņikovs*

Vides un tehnoloģisko procesu matemātiskās modelēšanas laboratorija  
Latvijas Universitāte





## Prezentācijas saturs

1. Modeļu sistēmas koncepcija
2. Ģeometriskais modelis
3. Modelēšanas uzdevuma nostādne
4. Rezultātu piemēri
5. Nākotnes perspektīva

# Ievads - pazemes ūdeņu modelēšana

**Modelis** – “Objekts, ko veido, lai aizstātu pētījamo, izzināmo objektu, un kam ar pētījamo, izzināmo objektu ir noteikta līdzība.”

**Modelēšana** – “Pētīšanas, izziņas metode, kas balstās uz modeļu izmantošanu.”

[Latviešu literārās valodas vārdnīca. 1.–8. Rīga, Zinātne, 1972.–1996. ]

**Matemātiskais modelis** – “Procesu, sistēmu vai to darbības attēlošana ar matemātisku izteiksmju palīdzību.” [LZA TK Informācijas tehnoloģijas, telekomunikācijas un elektronikas terminoloģijas apakškomisijas apstiprinātie termini]

Viens no projekta mērķiem ir izveidot Baltijas artēziskā baseina matemātisko modeli.

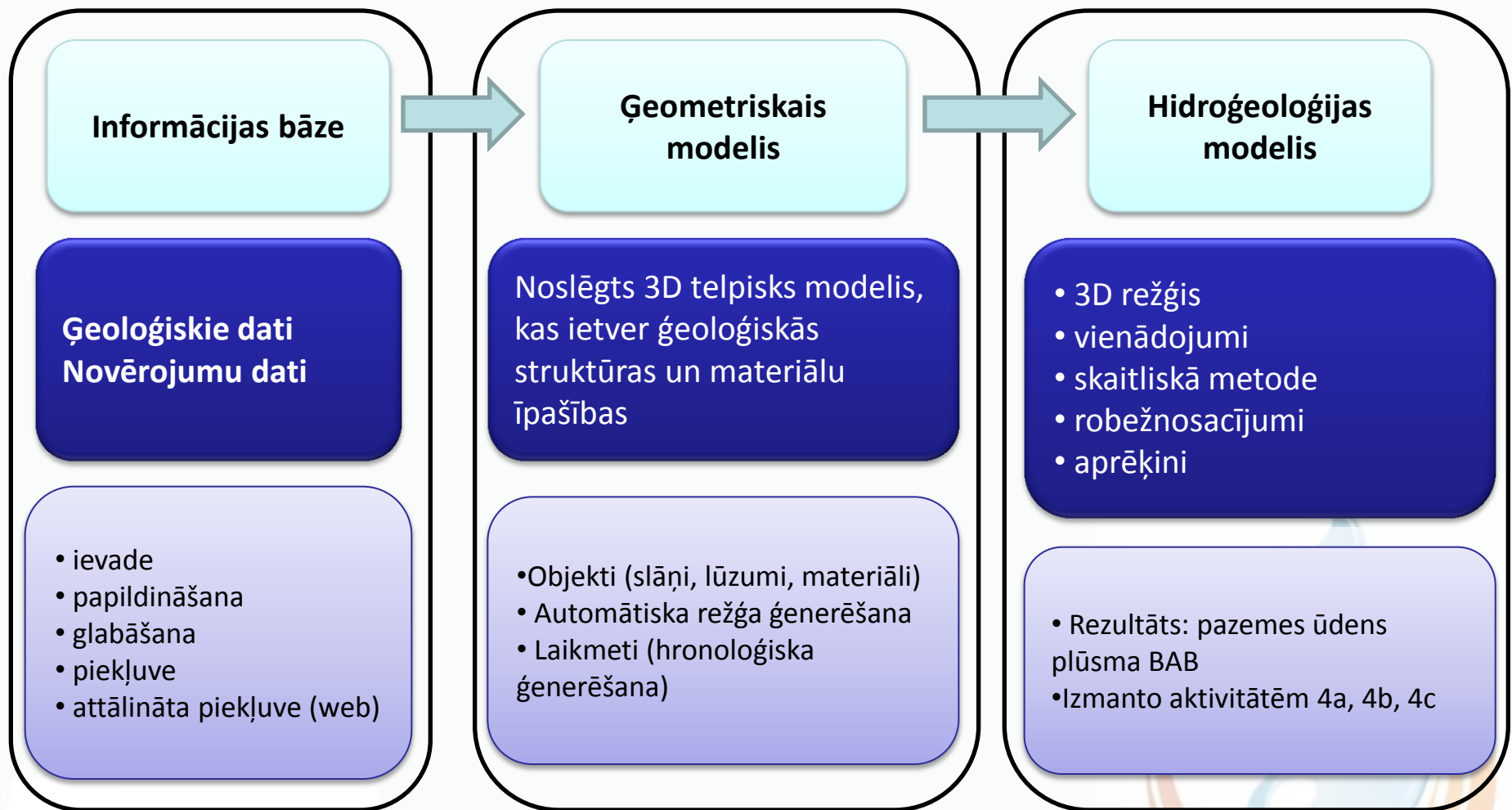
Modelim ir jāatbilst:

1. BAB pazemes uzbūve (ģeometriskais modelis)
2. BAB pazemes ūdens plūsmas (ūdens filtrācijas modelis)
3. BAB pazemes ūdenī esošo vielu plūsmas un to transformāciju (ķīmijas modelis)

Modelis tiek veidots kā datormodelis. Paralēli modeļa izveidei, tiek veidota programmatūra modeļa ieejas datu apstrādei un aprēķina datu vizualizācijai (HiFiGeo).

Visu modeļa funkcionēšanai nepieciešamo objektu (dati, programmas, vienādojumi,...) kopu saucim par modeļu sistēmu.

# Pārskata shēma integrētas modeļu sistēmas izveidei

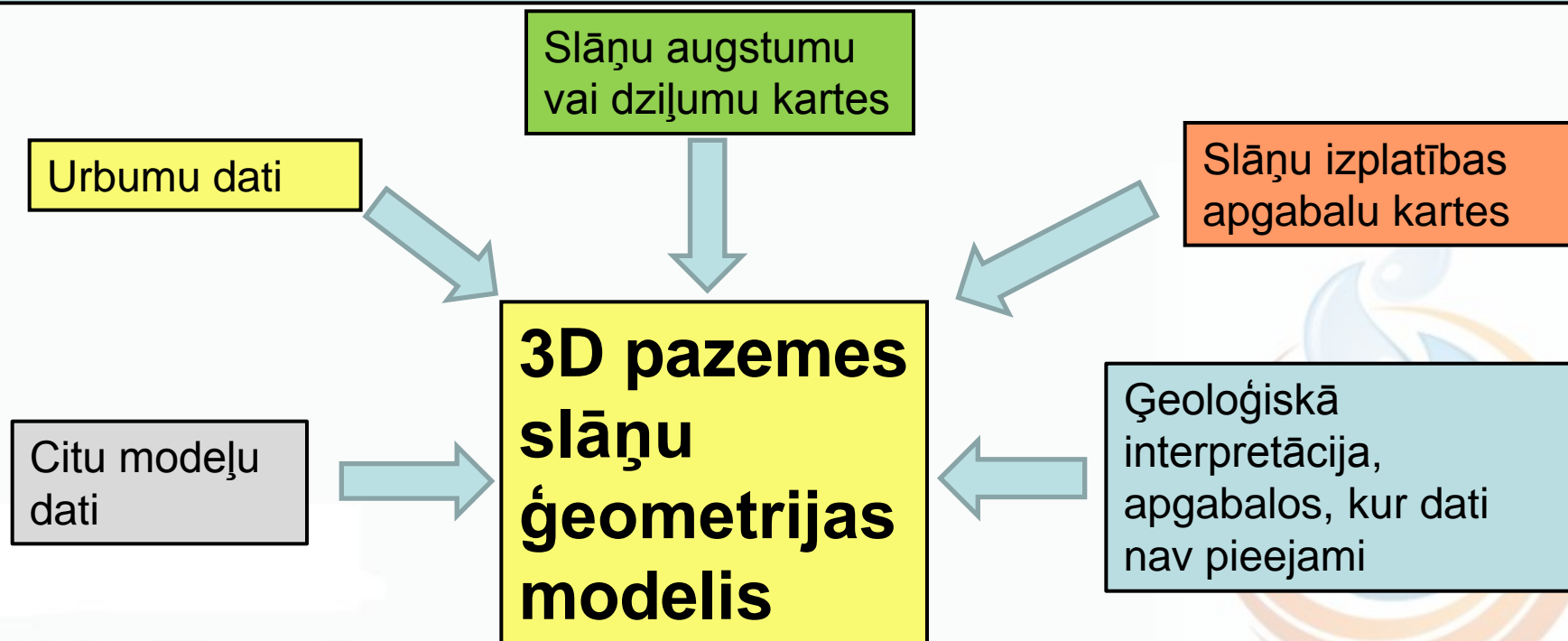


# Ģeoloģiskās struktūras ģeometriskā 3D modeļa izveide

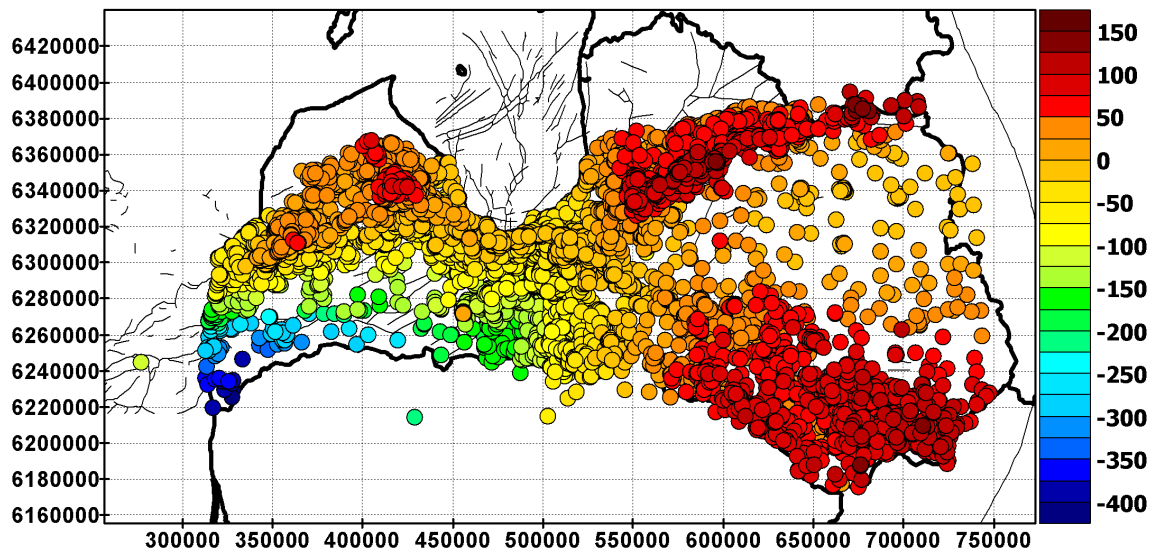
Ģeometriskais modelis izveidots, sadalot pazemi **slāņos**. Ģeoloģiskais slānis ir “nogulumiežu masa ar samērā vienmērīgu biezumu, parasti horizontālu novietojumu zemes garozā un plašu horizontālu izplatību”.

Slāņu [augšējās un apakšējās] robežas sauc par virsmām.

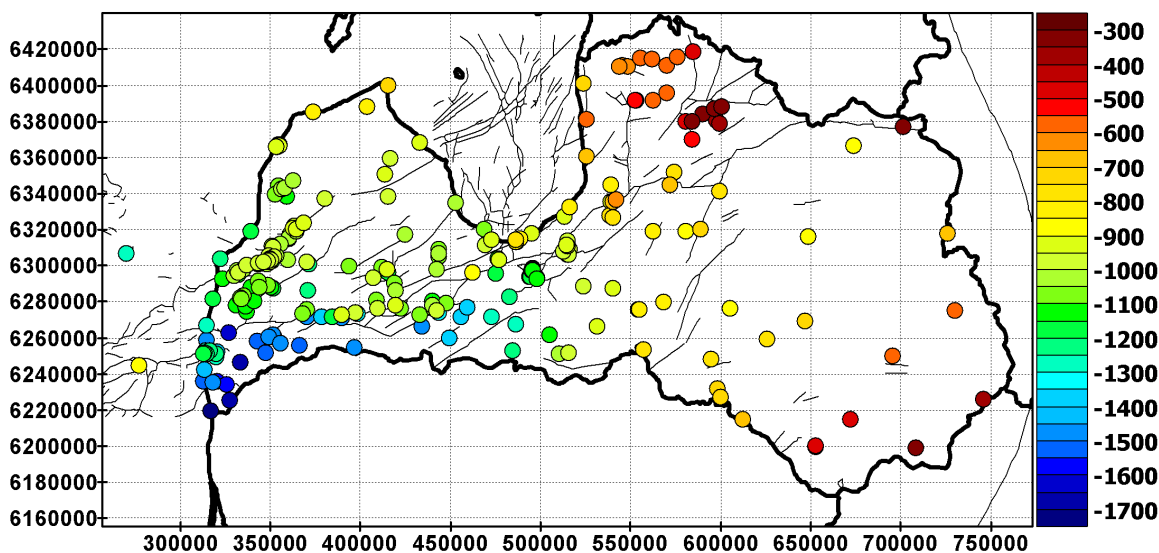
Katra slāņa ģeometrijas izveidei tiek pielietoti vairāki datu avoti, atkarībā no datu esamības, pieejamības projekta ietvaros, izmantošanas lietderības utml.



# Ieejas dati – urbumu datubāze



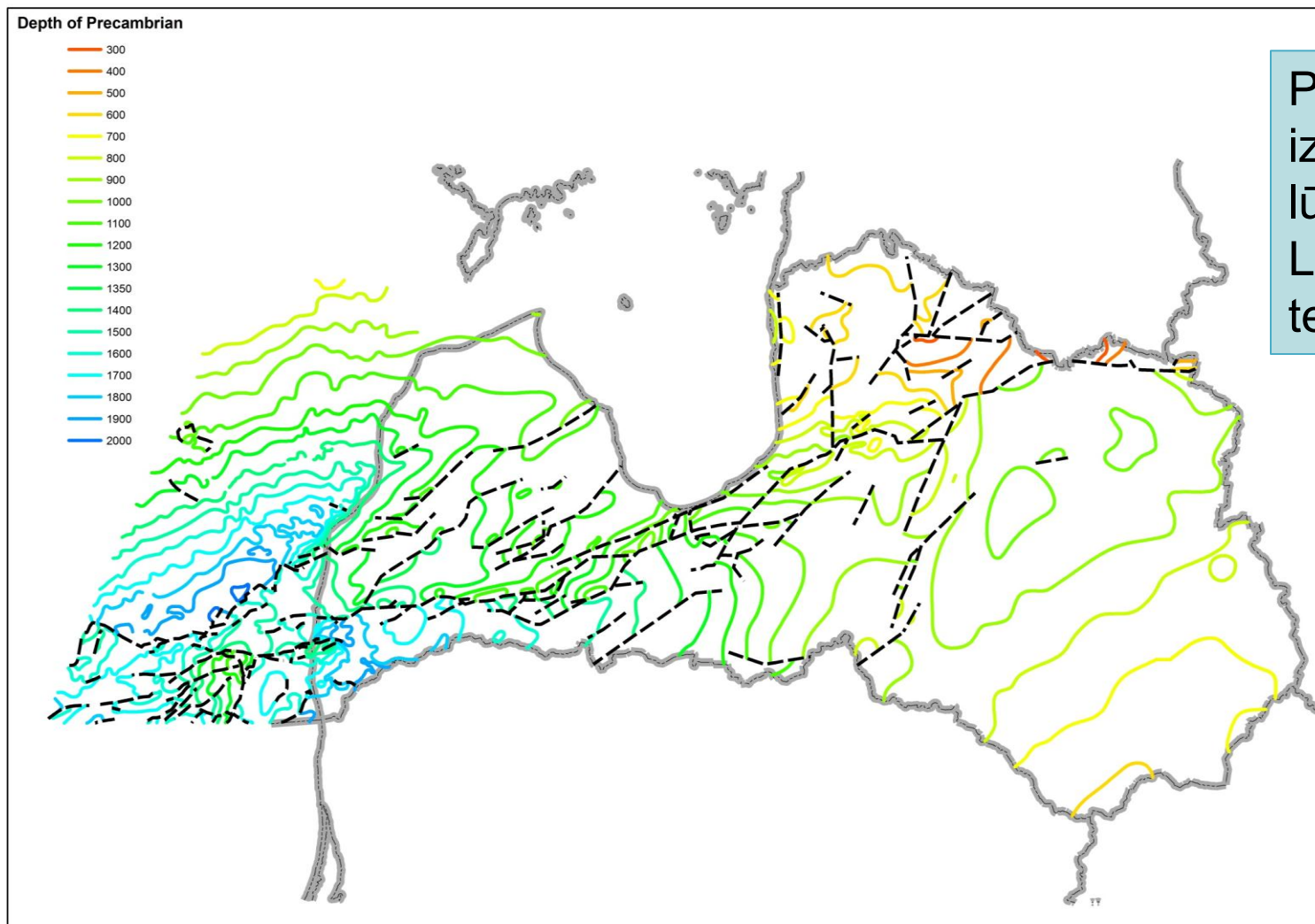
D3 gj-am virsmas atzīmes no urbumiem



Cm virsmas atzīmes no urbumiem

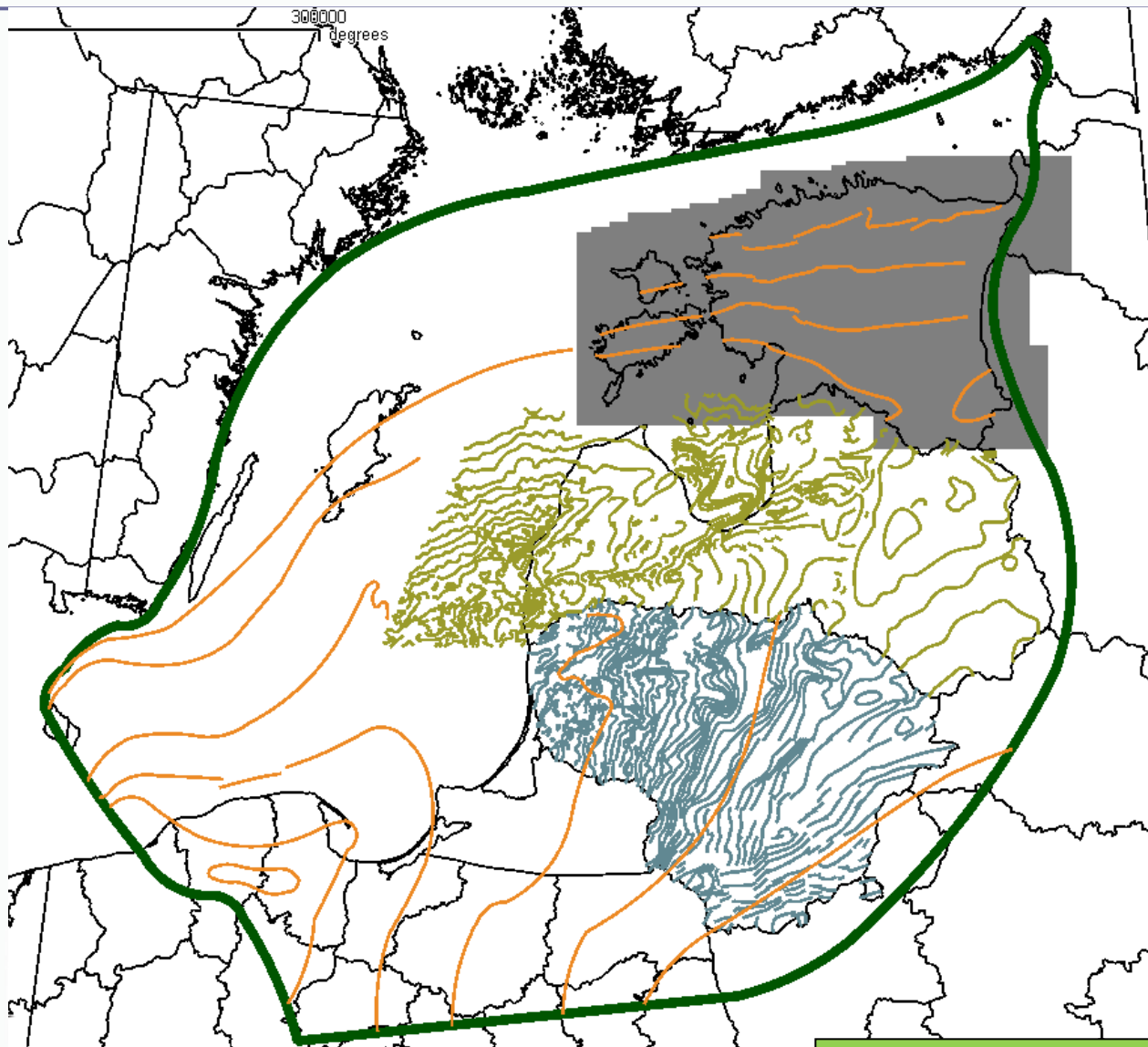
Jo dziļāk, jo mazāk datu...

# Ieejas dati – ģeoloģisko slāņu virsmu izolīniju kartes



Pamatklintāja  
izolīnijas un  
lūzumu līnijas  
Latvijas  
teritorijā

# Ieejas dati – ģeoloģisko slāņu virsmu izolīniju kartes



Pamatklintāja reljefa dati:

Latvijas teritorija –  
reljefa izolīnijas un  
urbumi

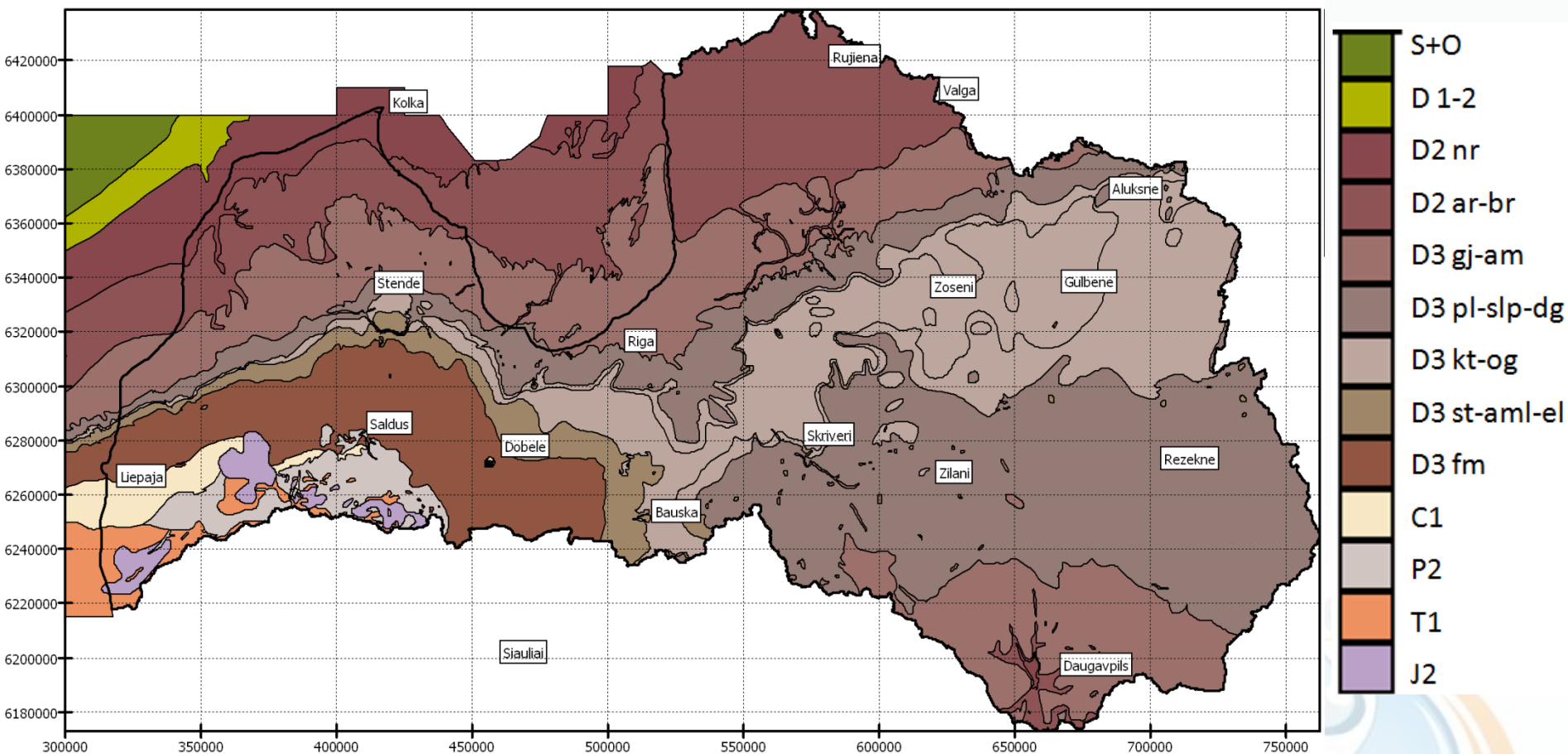
Lietuvas teritorijā –  
reljefa izolīnijas

Igaunijas teritorijā –  
dati no Igaunijas  
hidroģeoloģiskā  
modeļa

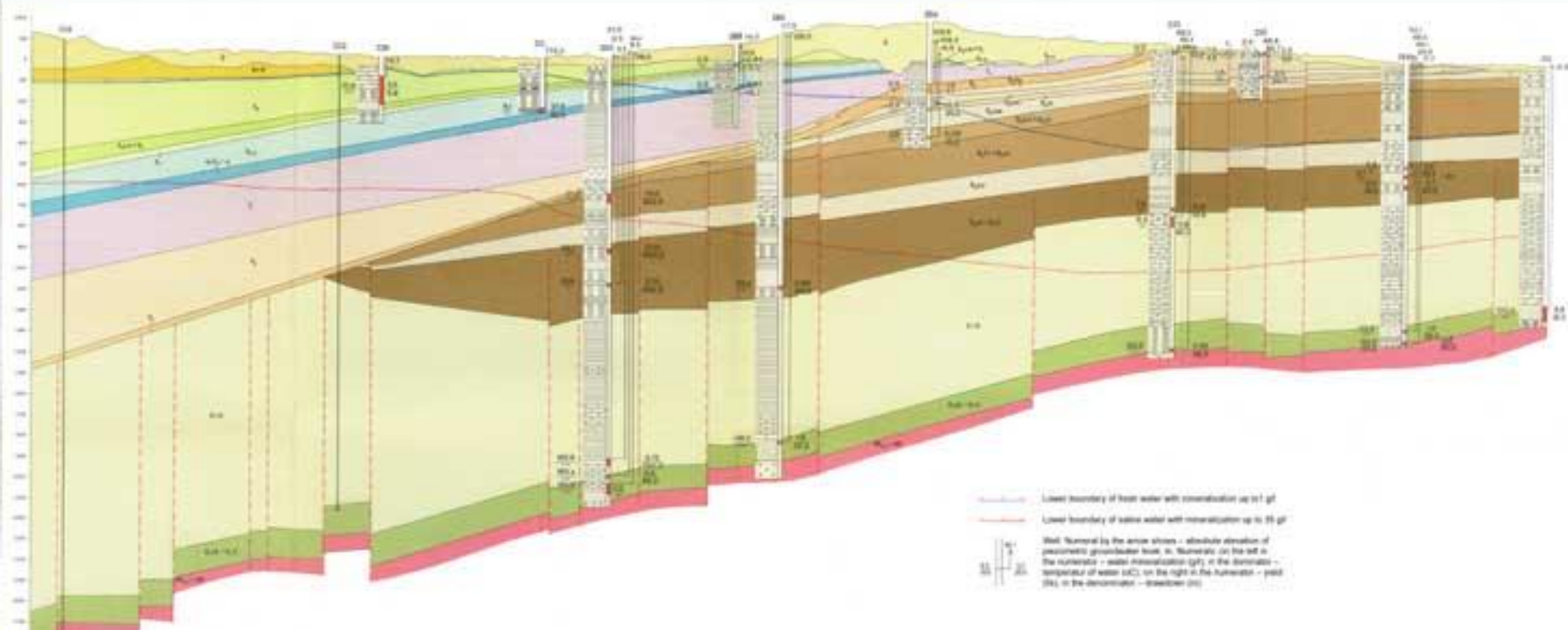
Pārējā apgabalā –  
izolīnijas no  
literatūras



# Ieejas dati – ģeoloģisko slāņu izplatības robežas



# Ieejas dati – cita informācija



Izmantojam arī ģeoloģisko griezumu informāciju, ārpus Baltijas valstīm

ESF projekts "Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem"

Projekta nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060

# Ģeometriskās struktūras izveides algoritmi

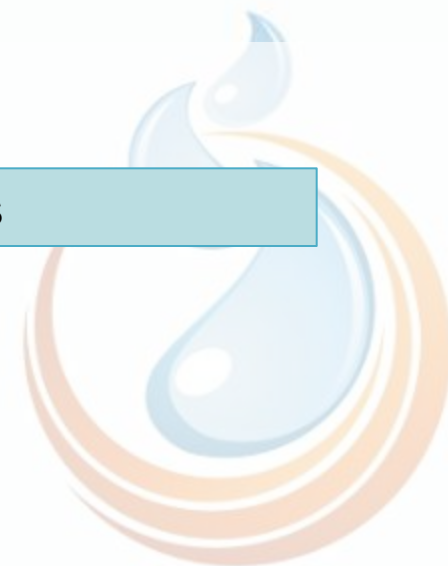
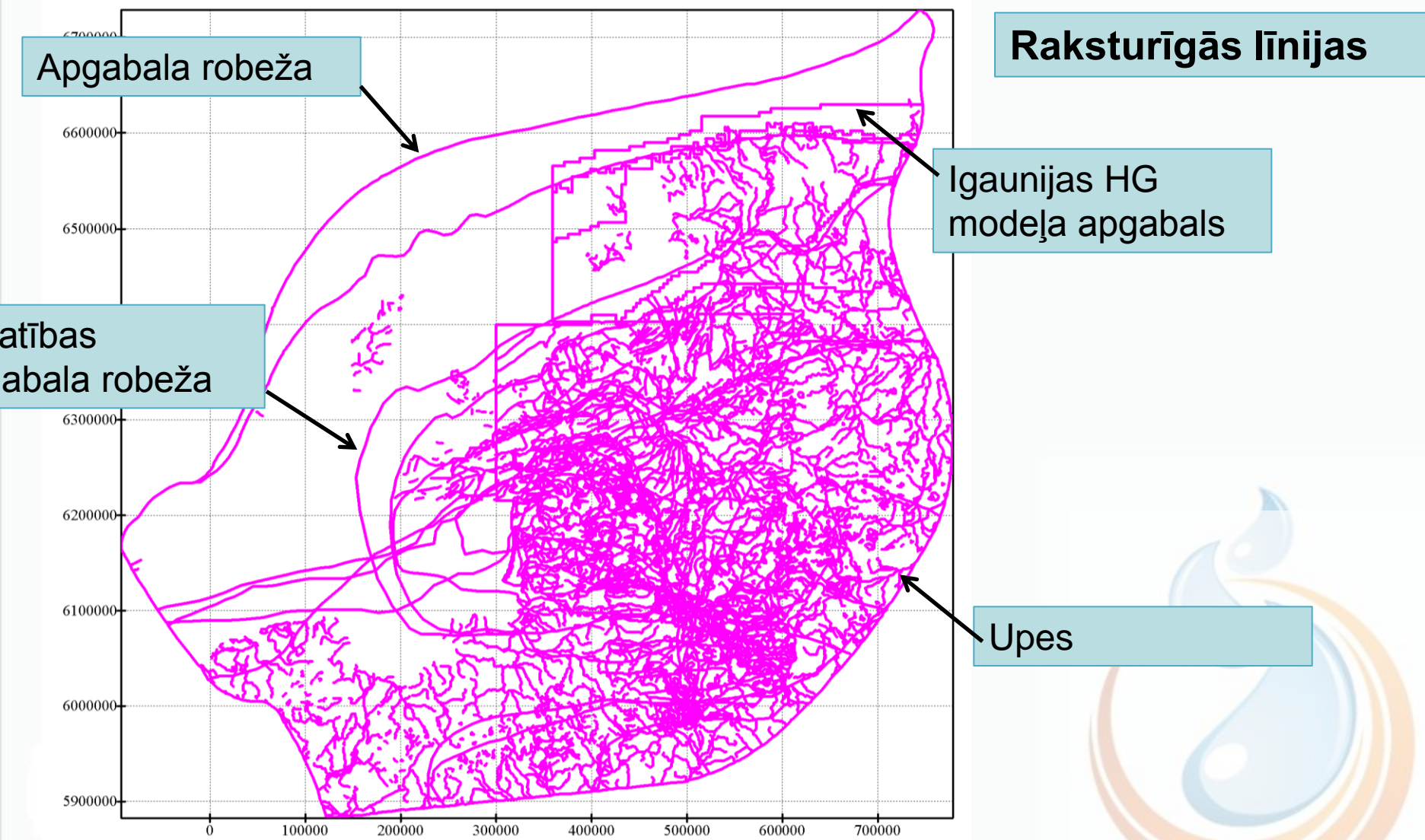
Visas ģeoloģiskās virsmas tiek izveidotas uz trijstūru režģa, katrā režģa virsotnē glabājas virsmas augstums, trijstūru režģī iespējams ieviest dažādu detalizācijas pakāpi apakšapgabalos.

Trijstūru režģis visai BAB teritorijai tiek veidots, ņemot vērā raksturīgās līnijas: krasta līnijas, upju/ezeru līnijas, ģeoloģisko materiālu izplatības robežas, ģeoloģisko lūzumu līnijas u.c.

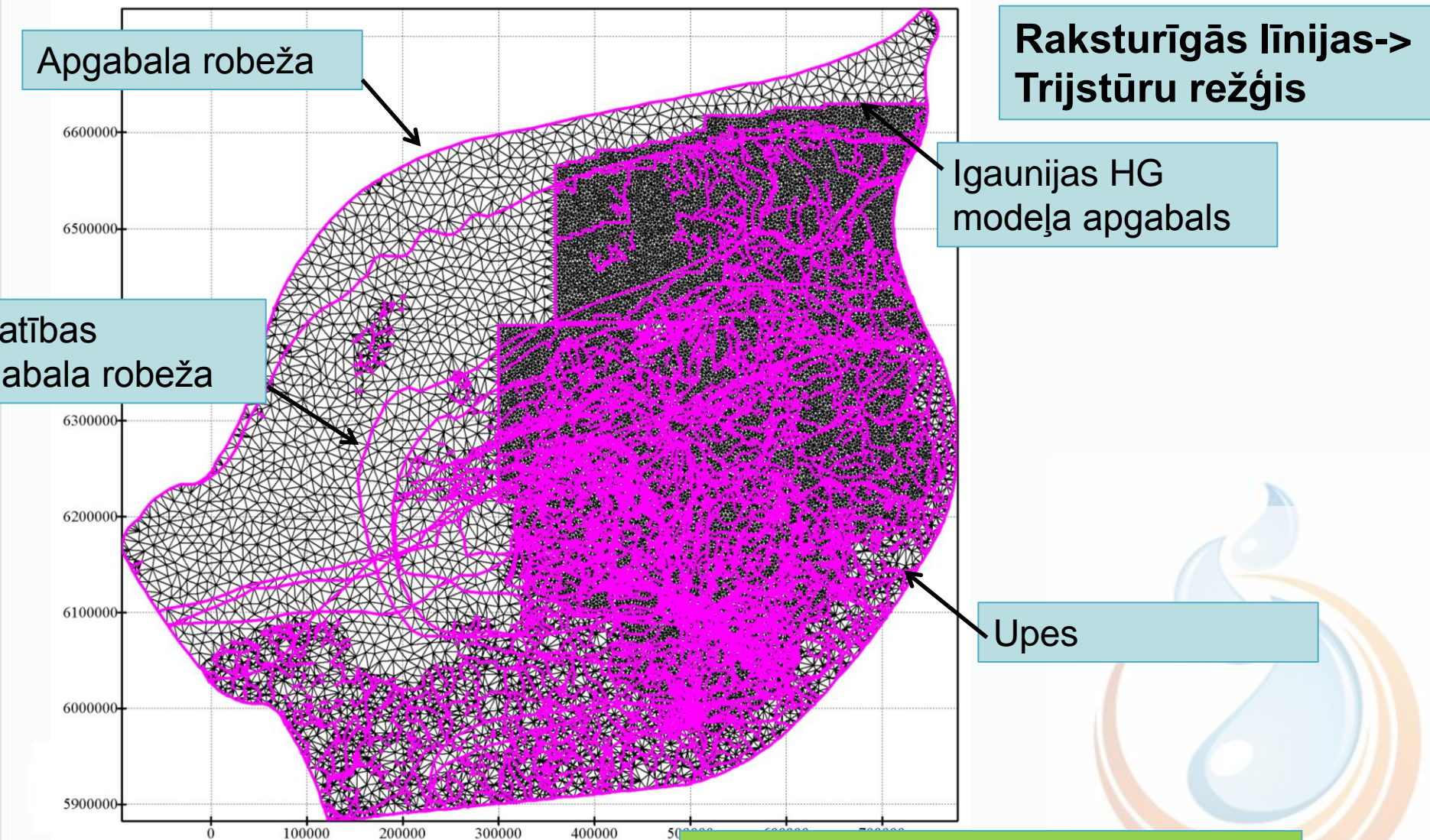
Katra no ģeoloģiskajām virsmām ir uzdota noteiktā kopējā trijstūru režģa apakšapgabalā.

Apvienojot visas virsmas iegūst 3D **tilpumu režģi**, kura elementi ir prizmas, piramīdas un tetraedri.

# Ģeometriskās struktūras izveides algoritmi

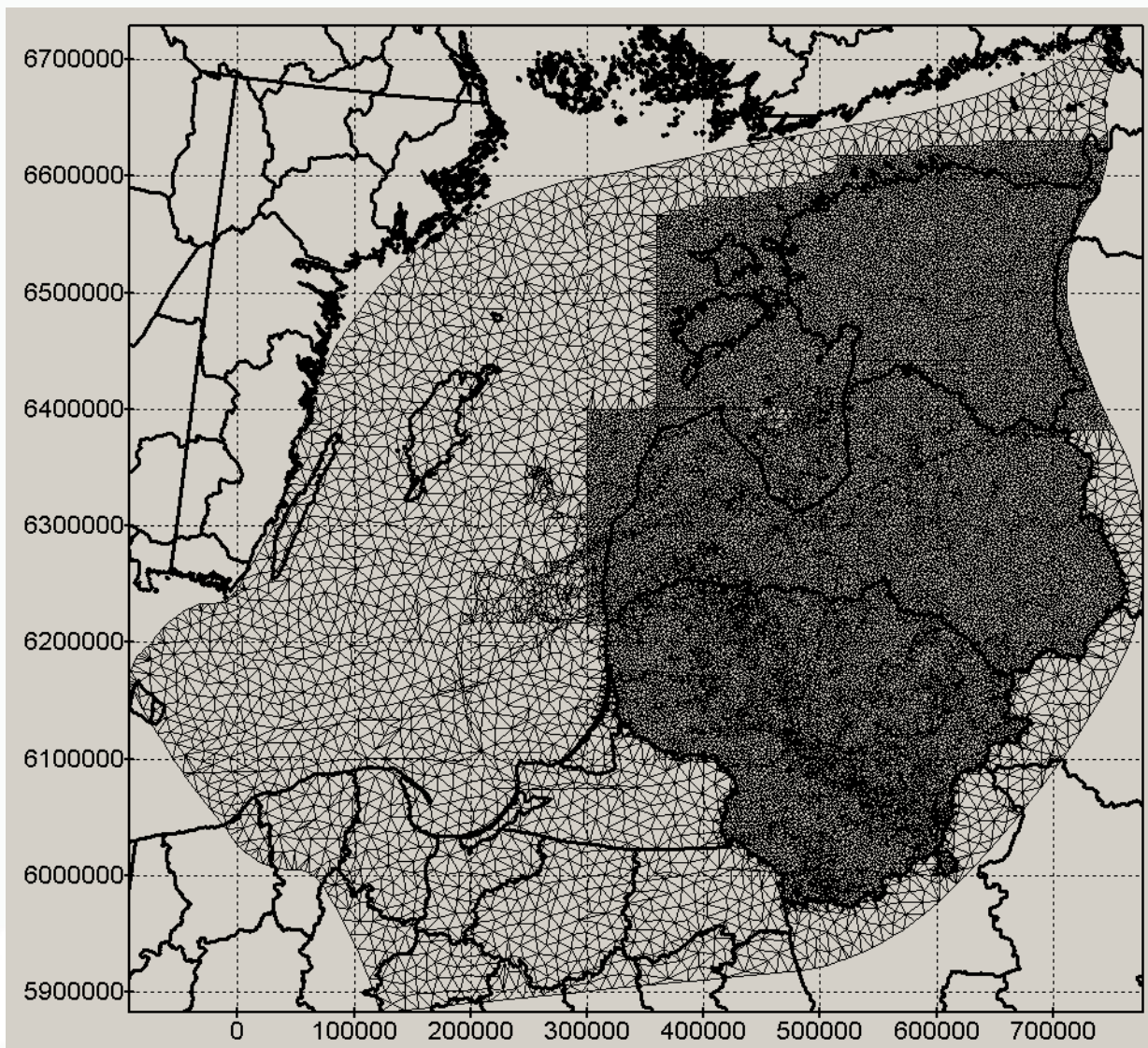


# Ģeometriskās struktūras izveides algoritmi



*Režģa trijstūru malas sakrīt ar raksturīgajām līnijām*

# Ģeometriskā struktūra - režģis



Galīgo elementu režģis,  
skats no augšas.

Režģa detalizācija  
lielāka apgabalos, kuros  
ir pieejama detalizētāka  
ģeoloģiskā informācija



# Modeļa izveides algoritmi

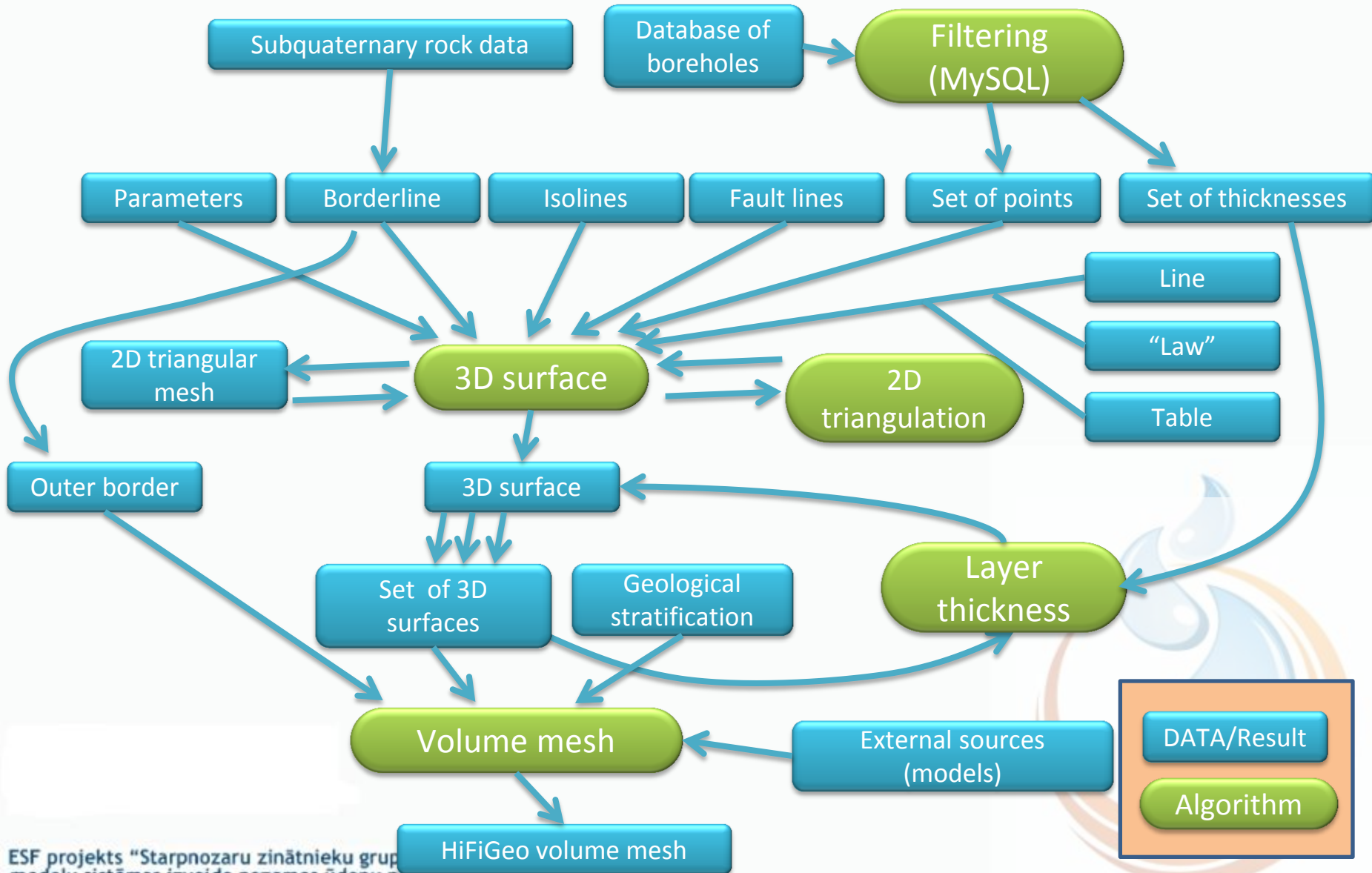
Kopējās BAB 3D ģeometriskās struktūras izveides procesā izmantoti dažādi *[heterogēni]* datu avoti. Lai integrētu visus pieejamos datus ģeometriskajā modelī, jāveido darbību sistēma, ko turpmāk sauksim par **algoritmu** kopu. Ģeoloģisko virsmu iegūšanas algoritmi sadalīti sīkākos *[apakš]*blokos.

Secīgi pielietoti algoritmi tiek pierakstīti projekta ietvaros izstrādātā **skriptu valodā**. Šādas valodas pielietošanas priekšrocības ir:

1. Iespēja variēt struktūras izveides *ceļus*.
2. Iespēja vairākiem cilvēkiem vienlaicīgi darboties ar atsevišķi struktūras elementu izveidi/uzlabošanu.
3. Pilnībā dokumentēts un atkārtojams struktūras izveides *ceļš*.
4. Iespēja veidot un uzturēt dažāda sarežģītības līmeņa struktūras vienlaicīgi.

Modeļa V0 versijas izveides gaitā modeļsistēmas skripta un tā komponentu izstrādei pievērsta galvenā uzmanība. Skripts ļauj **automatizēt** modeļa izveidi, aprēķinus un rezultātu apstrādi.

# Ģeometriskās struktūras izveides algoritmi





# Skripta moduļa piemērs

Skripta bloks – secīgs komandu saraksts  
Komanda – datu manipulēšanas rīks

## Zemes reljefa virsmas ģenerēšana

```
SelectMeshRegion( MeshIn=BABRezgisBezLuzFile, EdgeIDMap=EdgDBFile, LineID=1000, ZFileOut=UpesMask.Z, SelectionSide=0 )
```

```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=SRTMtiffFile, ZFileMask=UpesMask.Z, Op=min, Dist=500, ZvalOut=Upes1.z )
```

```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=LVDEMtiffFile, ZFileMask=UpesMask.Z, Op=min, Dist=500, ZvalOut=Upes2.z )
```

```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=IOWtiffFile, ZFileMask=UpesMask.Z, Op=min, Dist=500, ZvalOut=Upes3.z )
```

```
MergeZFiles( FileIn1=Upes1.z, FileIn2=Upes2.z, FileOut=Upes.Topo.z )
```

```
MergeZFiles( FileIn1=Upes.Topo.z, FileIn2=Upes3.z, FileOut=Upes.Topo.z )
```

```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=SRTMtiffFile, ZvalOut=topoSRTM.z )
```

```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=LVDEMtiffFile, ZvalOut=topo25m.z )
```

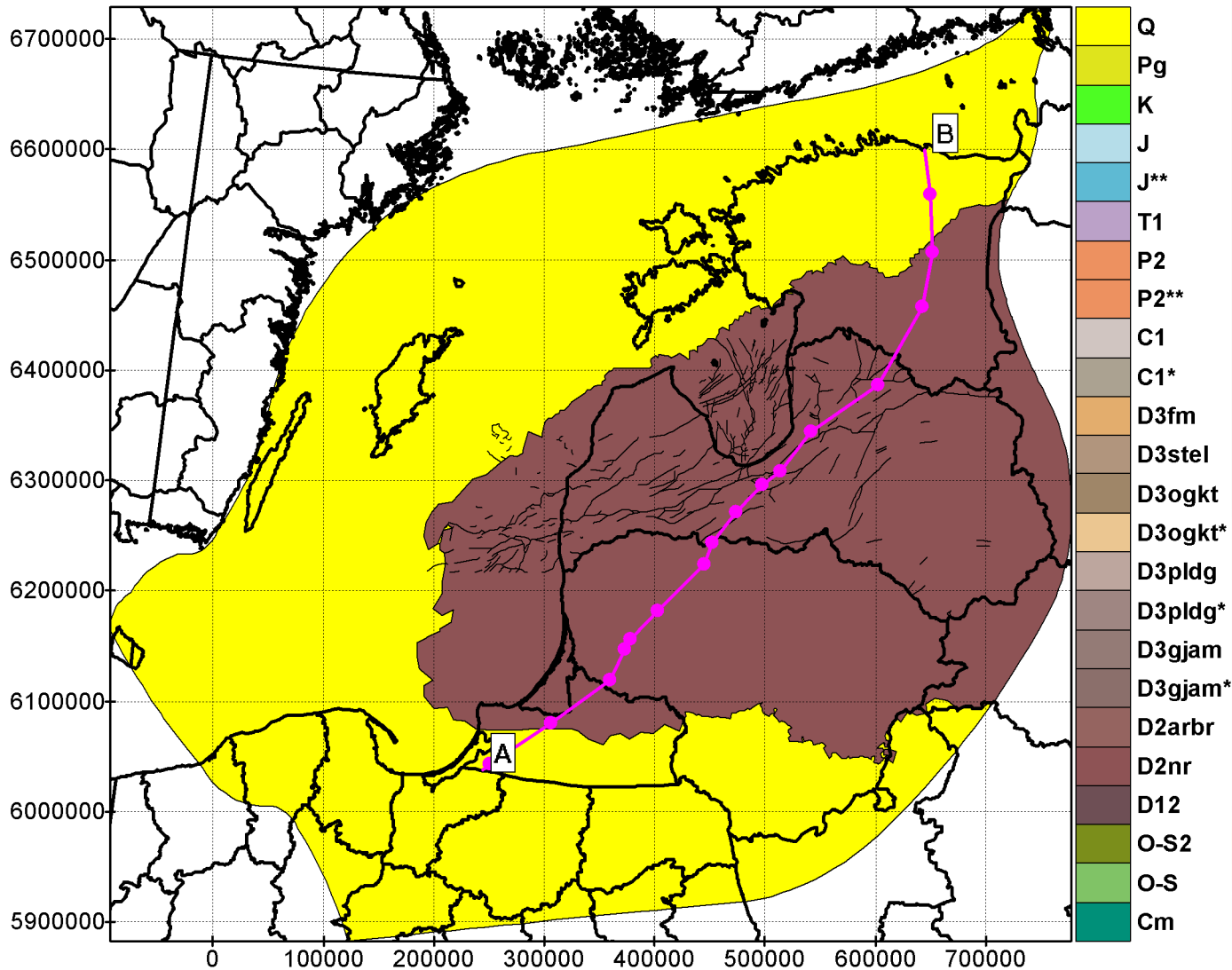
```
InterpolateFromRaster( MeshIn=PamataRezgisFile, RasterIn=IOWtiffFile, ZvalOut=topoioiw.z )
```

```
MergeZFiles( FileIn1=topoSRTM.z, FileIn2=topo25m.z, FileOut=topo.z )
```

```
MergeZFiles( FileIn1=topo.z, FileIn2=topoioiw.z, FileOut=BAB.topo.z )
```

```
MergeZFiles( FileIn1=BAB.topo.z, FileIn2=Upes.Topo.z, FileOut=BAB.topo.z )
```

# Ģeometriskā struktūra

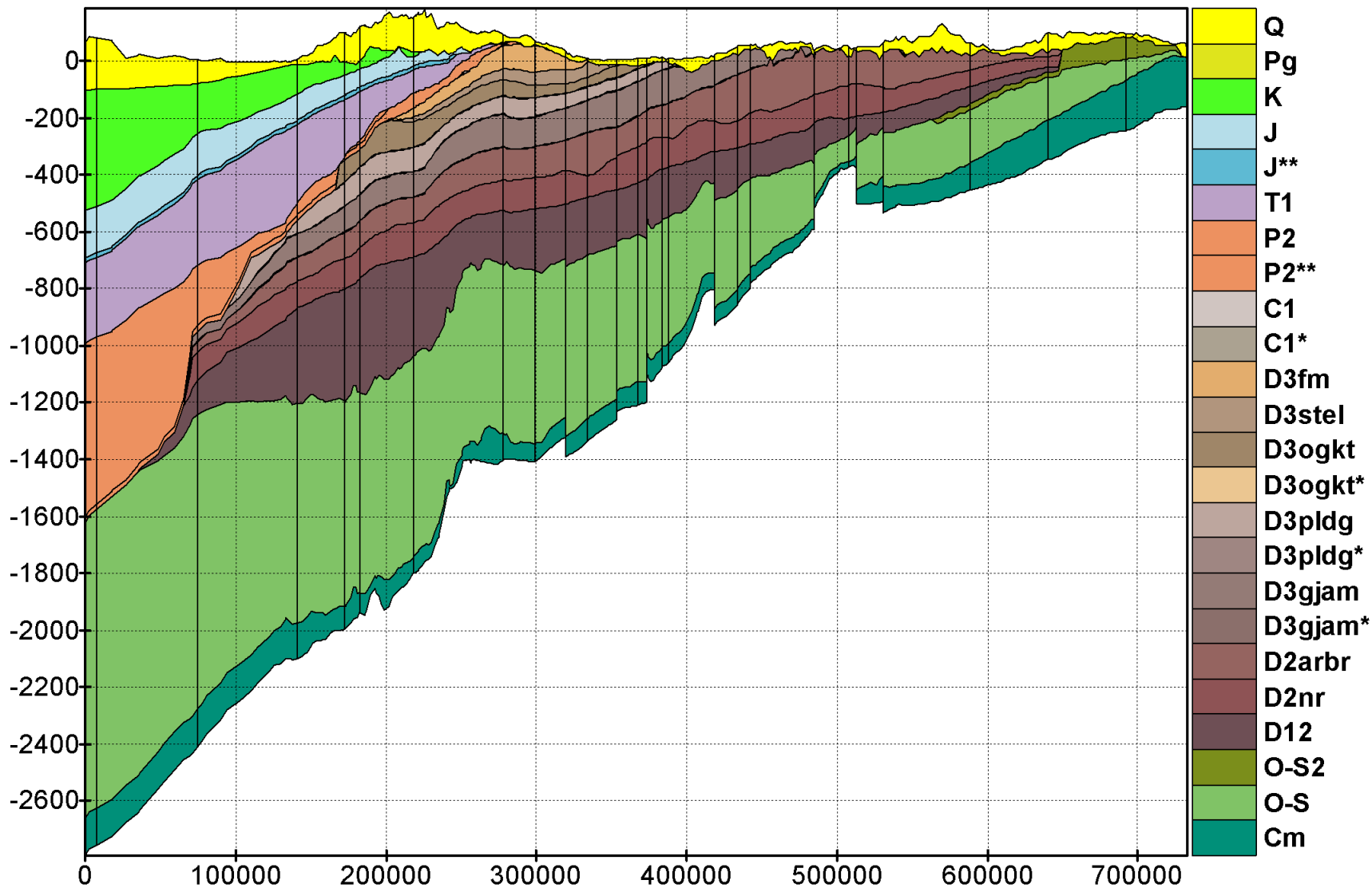


D2 ar-br izplatības  
apabals

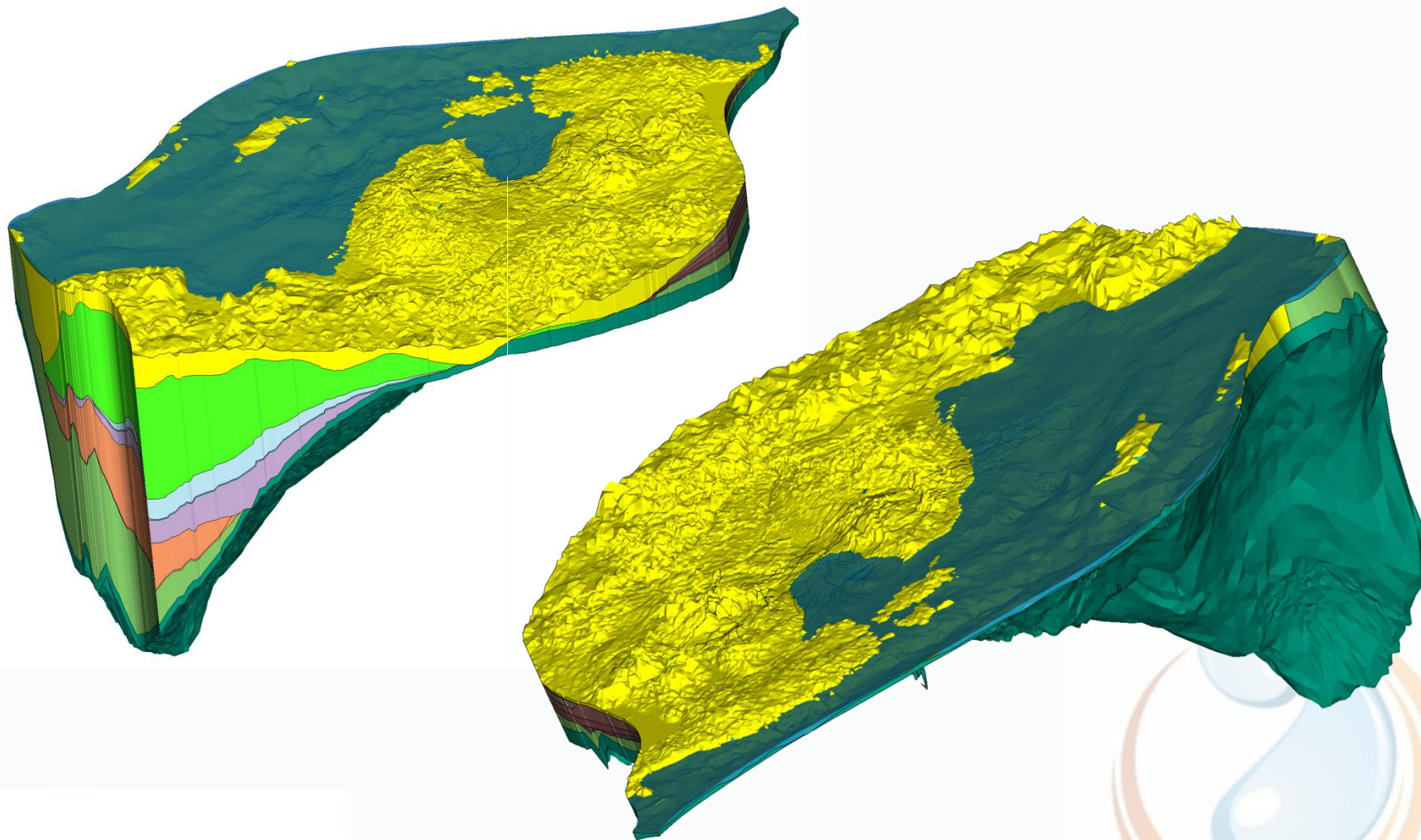
Griezuma A-B  
līnija



# Ģeometriskā struktūra



# Ģeometriskā struktūra



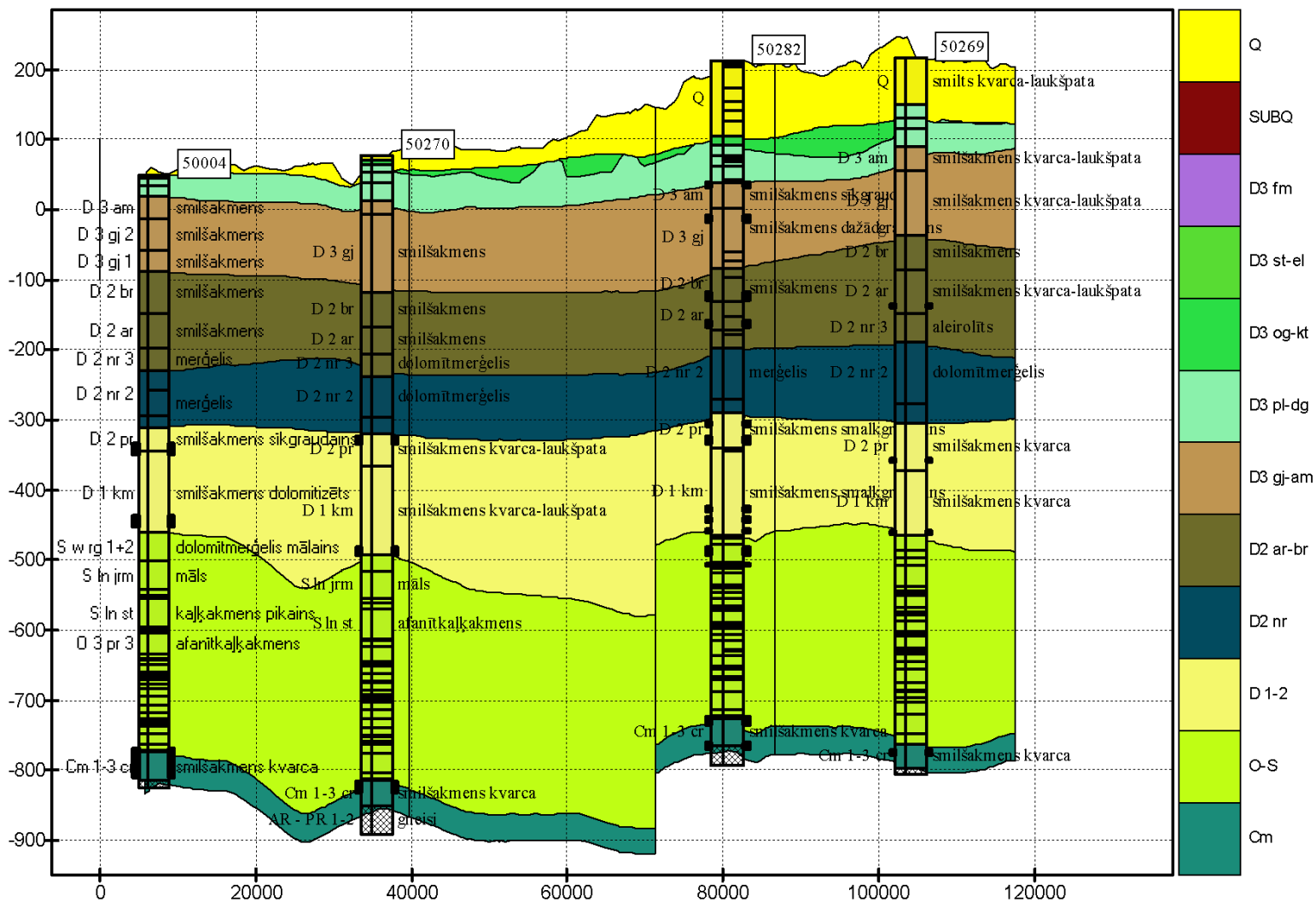
# Programmatūra HiFiGeo

Programma ieejas datu un rezultātu vizualizācijai:

- Vizualizācija pa virsmām
- Patvaļīgi vertikāli griezumumi
- Patvaļīgi horizontāli griezumumi
- Patvaļīgi 3D skati
- Pjezometriskā ūdenslīmeņa un ātruma (*skalāru un vektoriālu lielumu*) attēlošana
- Urbumu datu bāzes pieprasījumu (*SQL*) veidošana un pieprasījumu vizualizācija
- Urbumu stratigrāfijas un litoloģijas vizualizācija vertikālos šķēlumos
- GIS slāņu (*WMS , SHP formātā*) attēlošana
- Aprēķinu pārvaldība

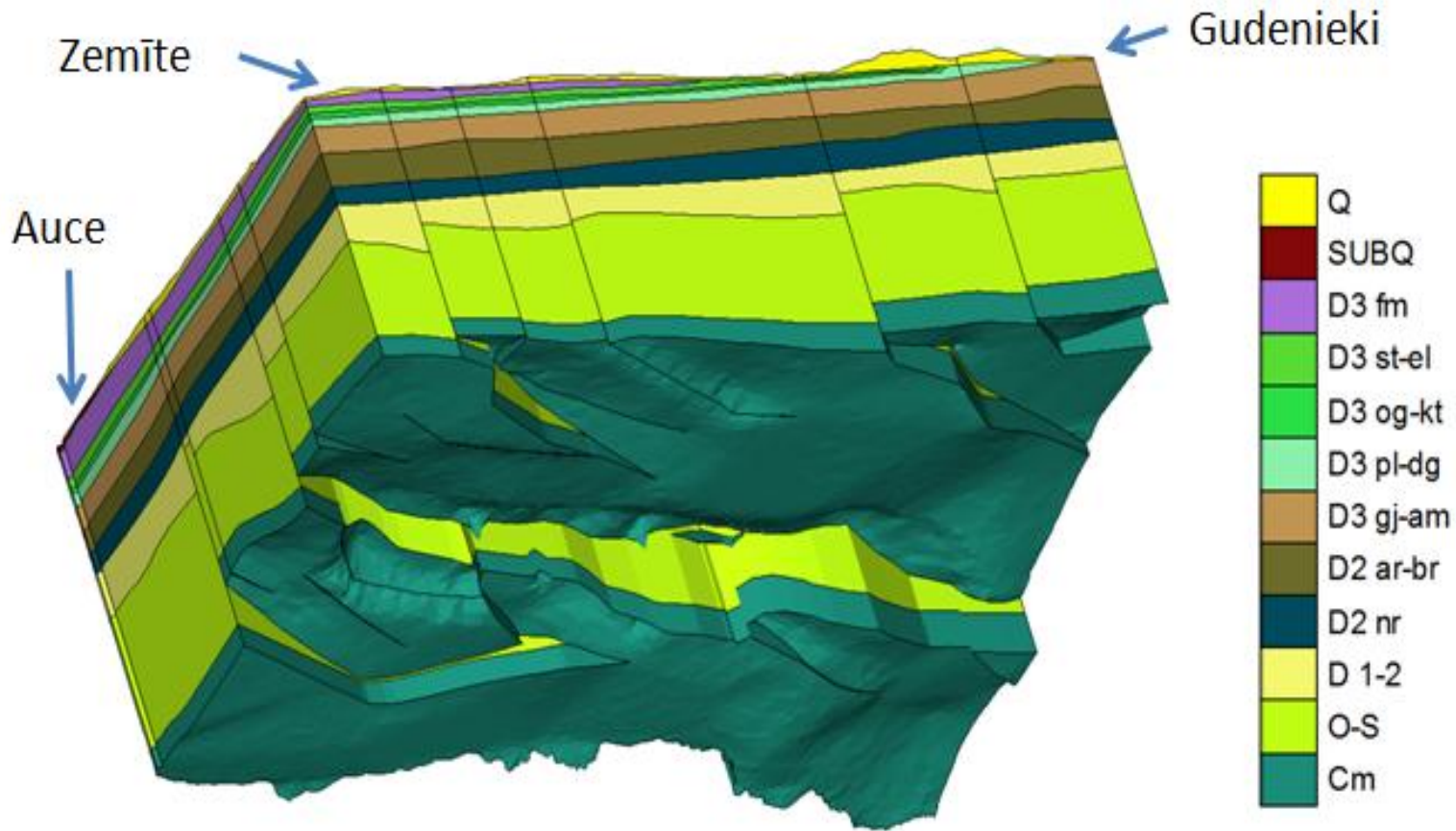


# Programmatūra HiFiGeo



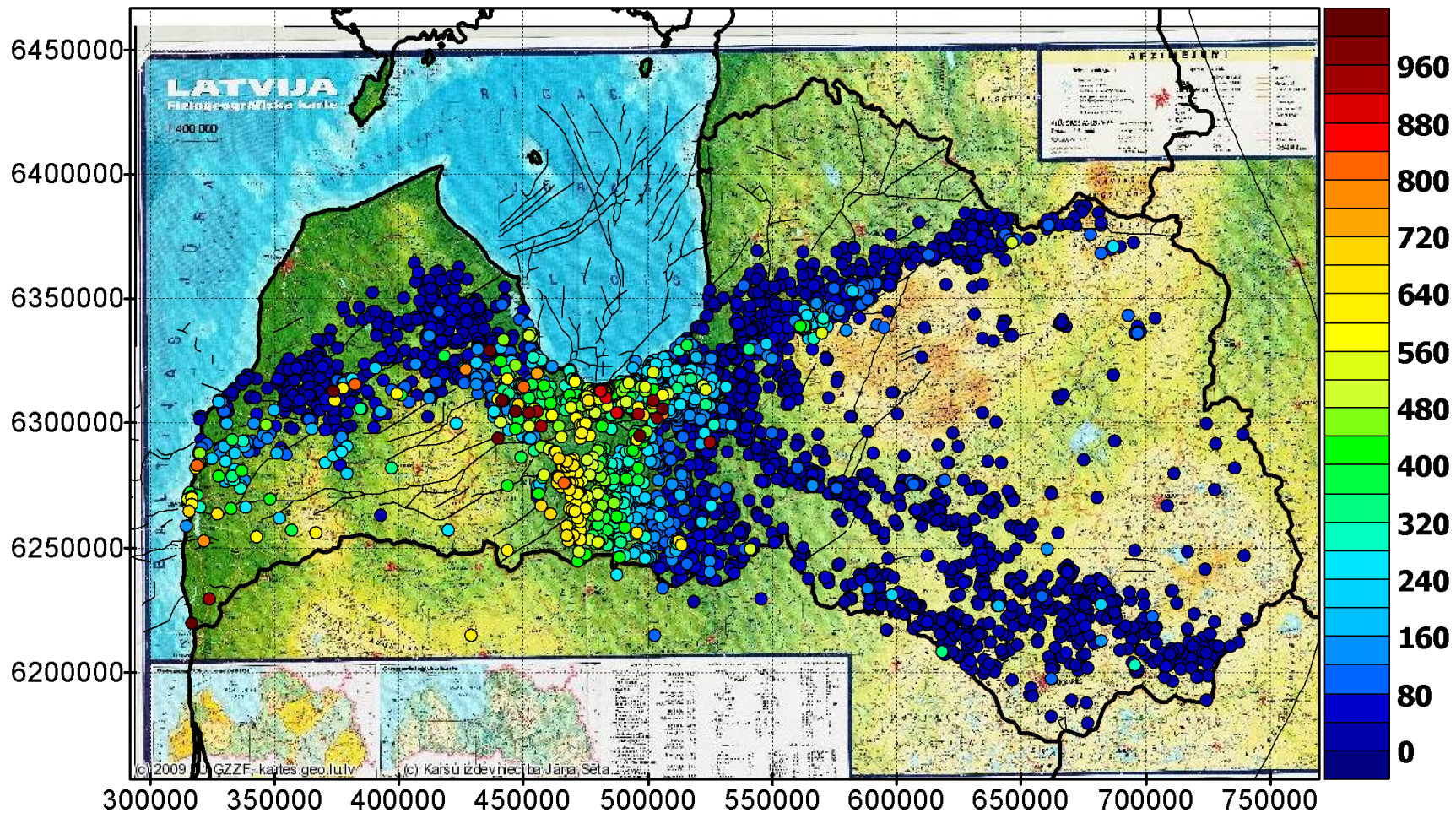
Urbumu kolonu attēlojums vertikālā griezumā

# Programmatūra HiFiGeo



Ģeoloģiskā struktūra ar lūzumiem Kurzemē 3D attēlojumā.

# Programmatūra HiFiGeo



$\text{SO}_4$  jonu koncentrācija D3 gj-am slānī.



# Filtrācijas aprēķina uzdevuma nostādne

V0 versijā tiek rēķinātas stacionārās *[t.i. nostabilizējušās un ilgākā laikā nemainīgas]* filtrācijas plūsmas

Robežnosacījumi:

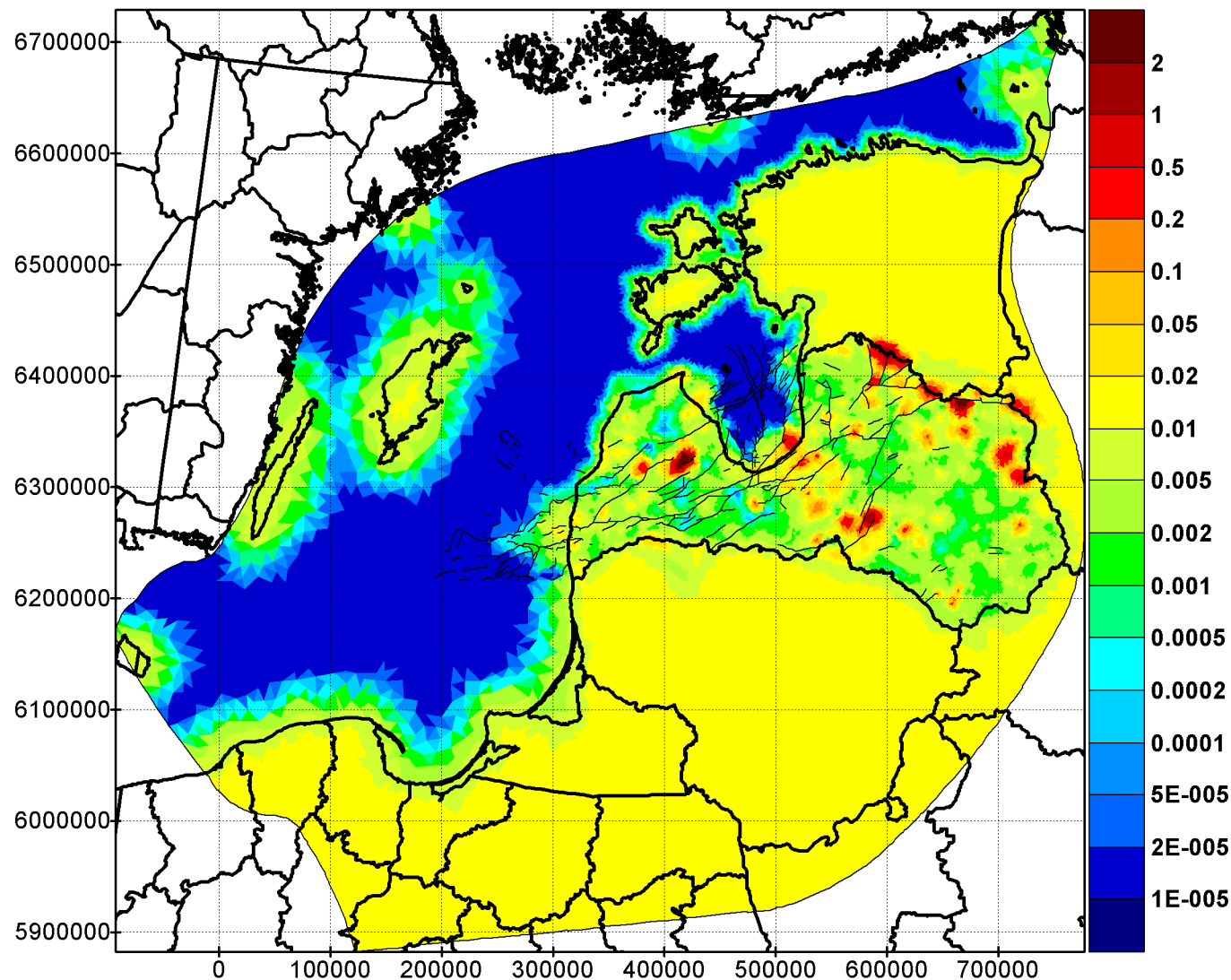
1. Tā kā modeļapgabals ir visa BAB teritorija, tad uz tā sānu robežām uzdodam necaurlaidības nosacījumus
2. Uz augšējās virsmas uzdodam infiltrāciju (*v0 versijā konstantu visā modeļapgabalā*)
3. Uzdodam ūdensguves urbumu vidējos debitus (*kur par tiem ir pieejami dati*)

Materiālu īpašības:

1. Kalibrācijas procesā nosakāmas, pa ģeoloģiskajiem slāņiem konstanti horizontālās un vertikālās filtrācijas koeficienti.
2. Kvartārā – teritoriāli mainīgi koeficienti. Koeficientu noteikšanai Latvijas teritorijā izstrādāts speciāls algoritms.

Aprēķinu rezultāts ir *[pjezometriskais]* ūdens līmenis katrā režģa punktā katrā slānī (lauks) un *[no tā atvasināts]* filtrācijas ātruma lauks.

# Materiālu īpašības



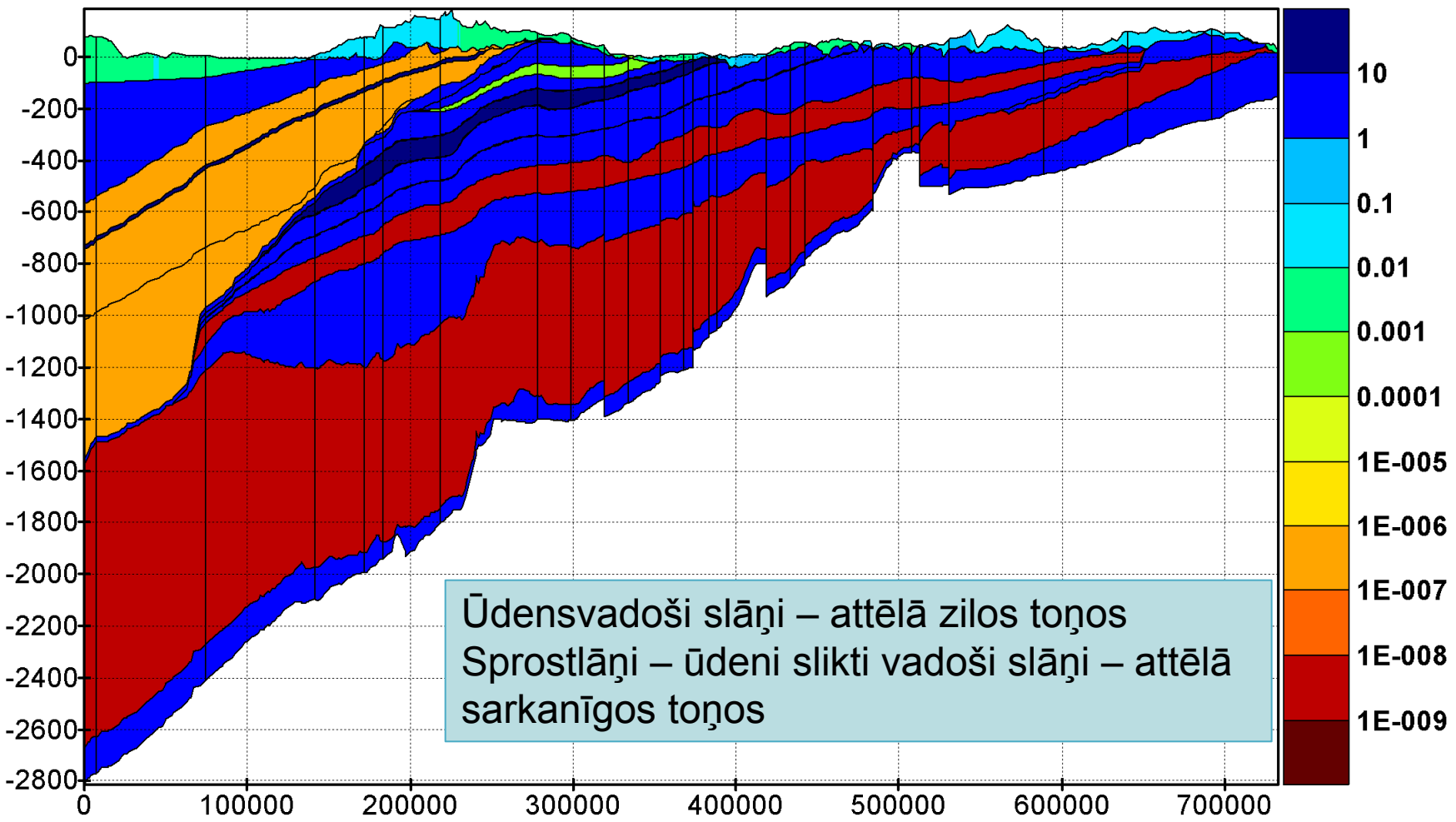
Kvartāra vertikālās caurlaidības koeficienta (m/dnn) sadalījums.

Latvijas teritorijai izstrādāts algoritms materiālu īpašību noteikšanai no urbumu litoloģijas

Pārējā teritorijā uzdoti vidējie parametri

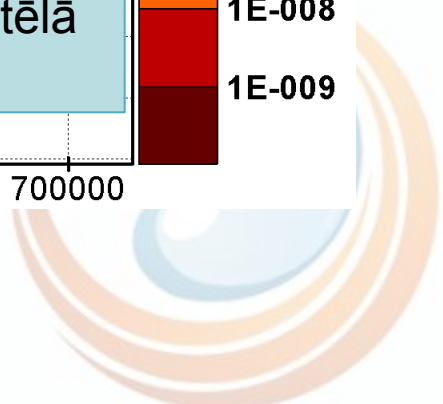


# Materiālu īpašības

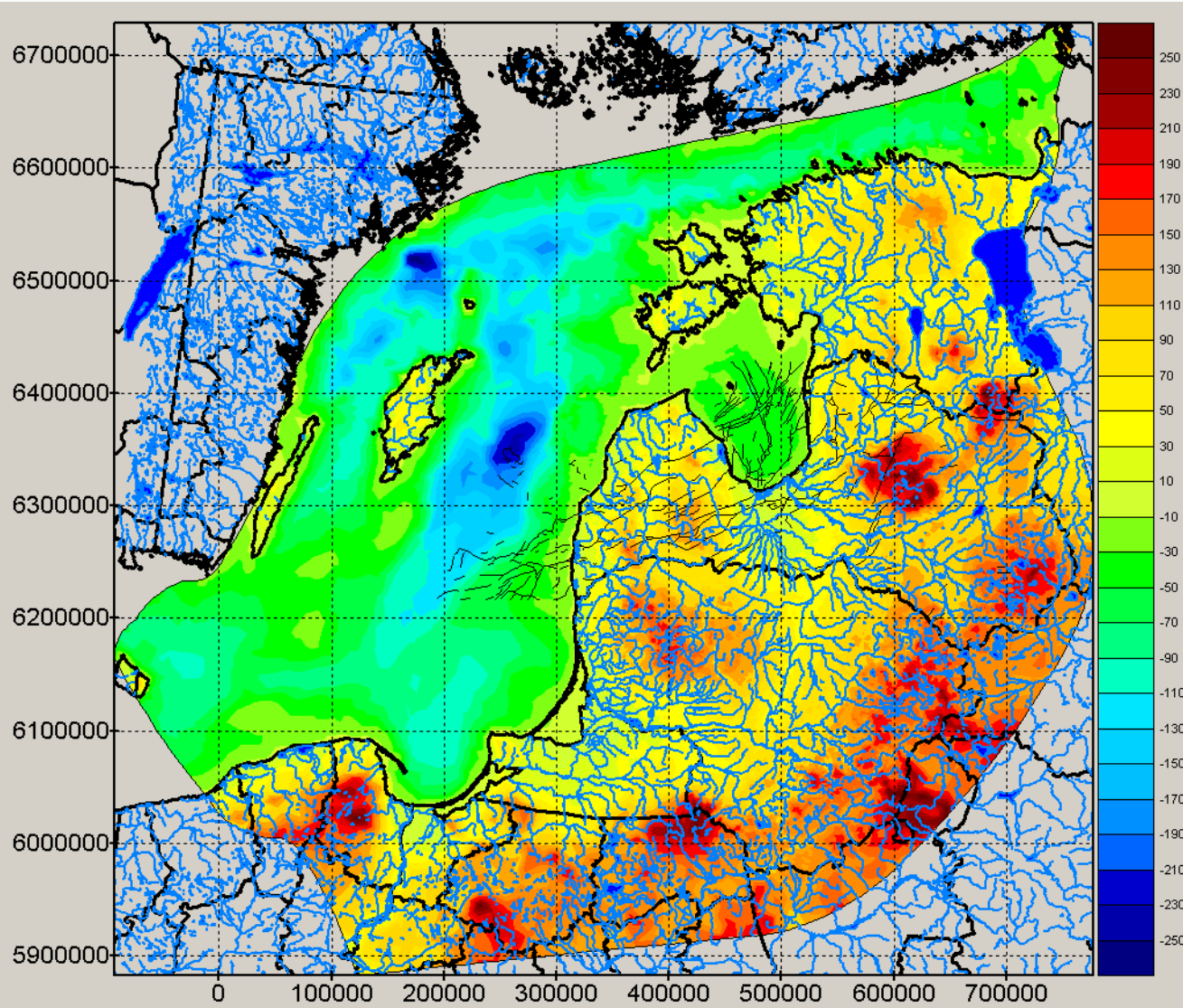


Ūdensvadoši slāņi – attēlā zilos toņos  
Sprostlāņi – ūdeni slikti vadoši slāņi – attēlā sarkanīgos toņos

Caurleidības koeficienta (m/dnn) sadalījums griezumā A-B



# Robežnosacījumi – virszemes ūdensobjekti

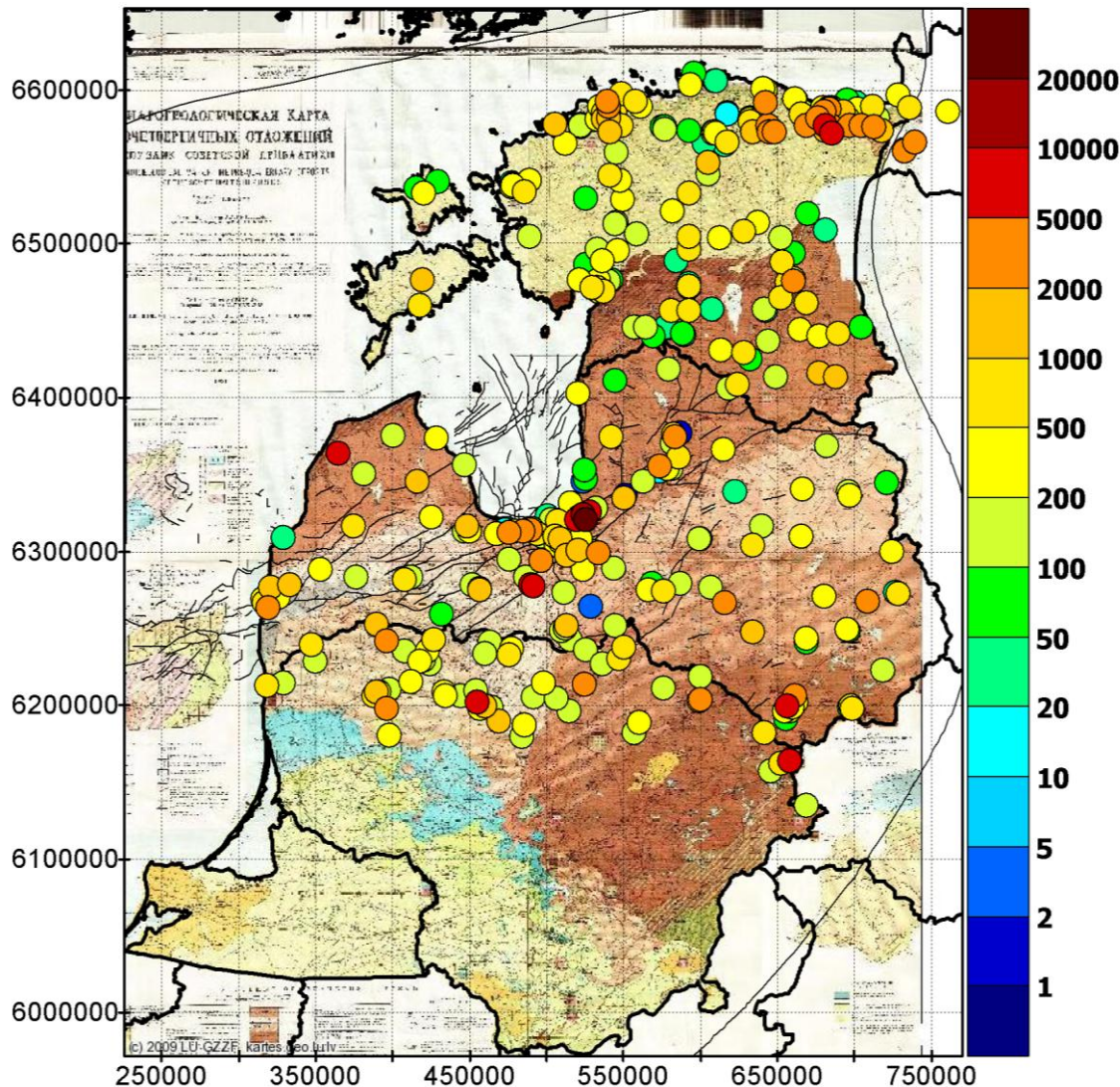


Ar krāsu laukumiem  
attēlots virsmas  
reljefs

Attēlots upju tīkls un  
ezeri.



# Robežnosacījumi - ūdensguve



Ūdensguves punkti,  
attēlota ūdensguves  
jauda m<sup>3</sup>/diennaktī

Latvija – LVĢMC dati

Lietuva – Lietuvas ĢD  
dati

Igaunija – Igaunijas  
hidroģeoloģiskais  
modelis (ar modifikācijām)



# Filtrācijas aprēķinu veikšana

Analogi ģeometriskās struktūras veidošanai, arī materiālu īpašības un robežnosacījumi tiek uzdoti ar skripta komandām, lai varētu automatizēt un atkārtot to uzdošanu.

Skripta izpildi var veikt arī ar attālinātu piekļuvi web pārlūkprogrammā.

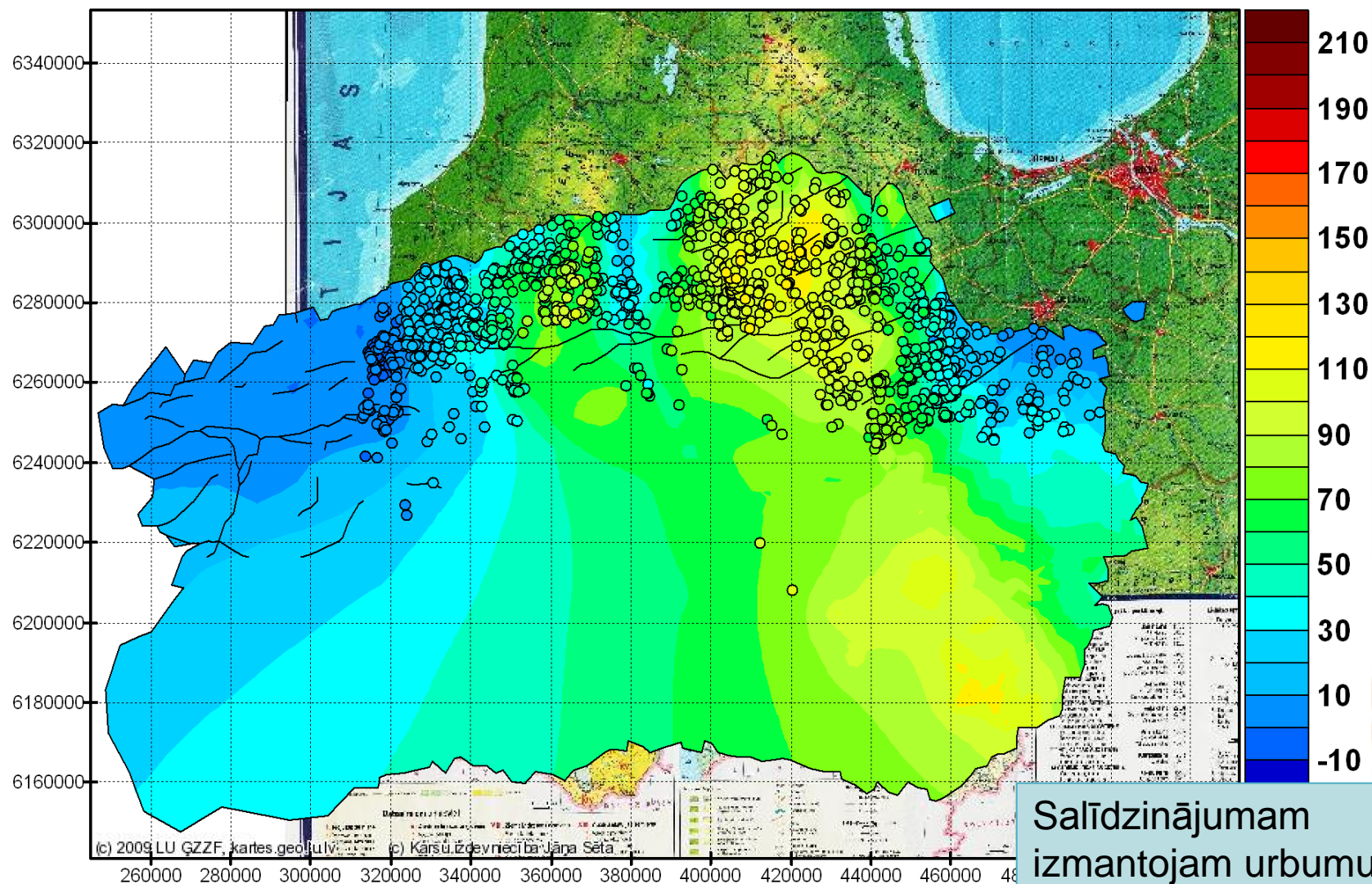
Filtrācijas uzdevuma aprēķins tiek veikts uz lielaudas datorklāstera.V0 (sākotnējā) versijā aprēķinam tiek izmantots dators ar 8 kodolu procesoru un 16 Gb atmiņu.

Aprēķinu rezultātu attēlošanai un analīzei izmantota programma HiFiGeo.

Kalibrācijas gaitā veikti aptuveni 20 aprēķini, mainot kopējās slāņu filtrācijas īpašības.

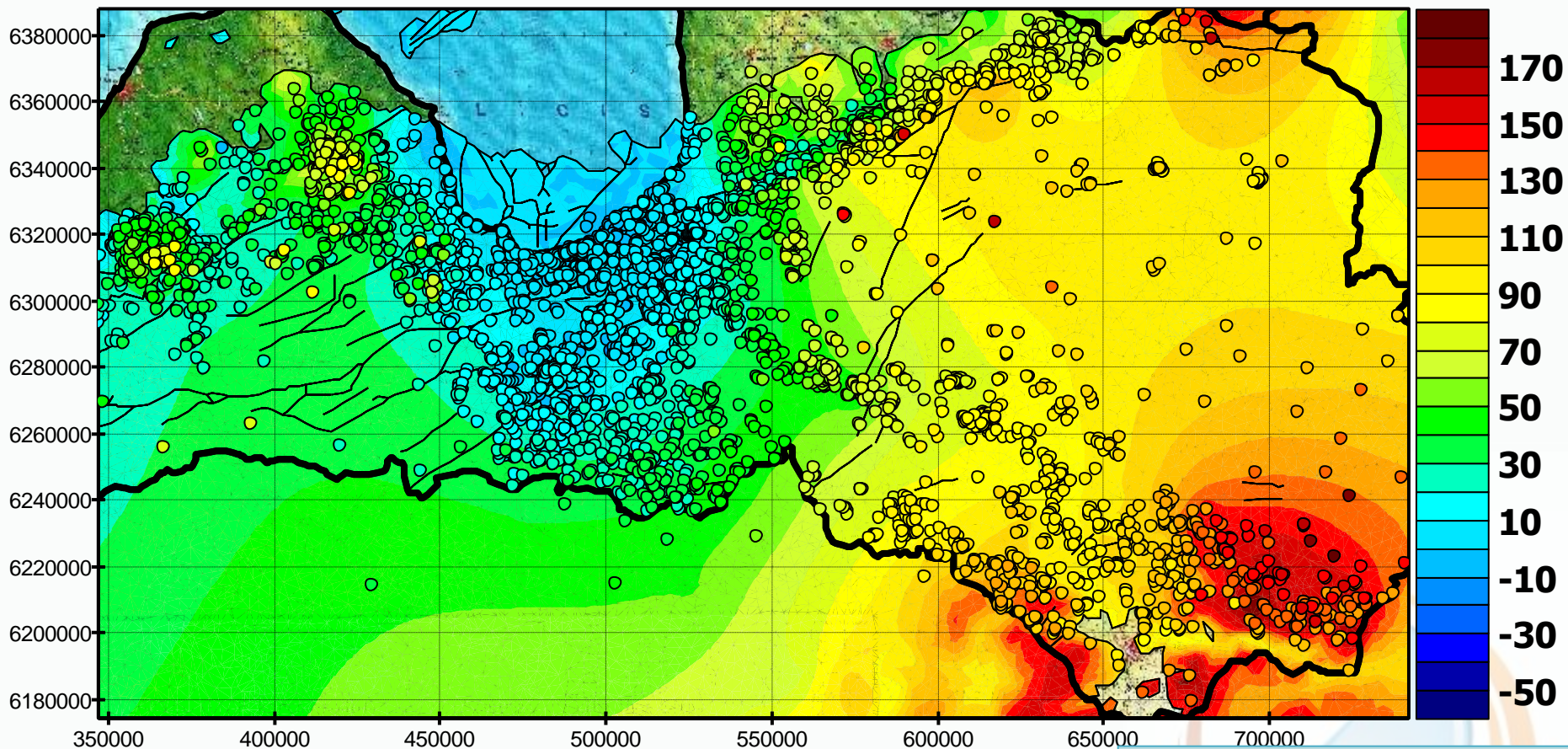
Veikta sākotnējā rezultātu salīdzināšana ar ūdenslīmeņa novērojumiem Latvijas teritorijā.

# PZŪL salīdzinājums ar novērojumiem – D3 fm



Salīdzinājumam  
izmantojam urbumu  
ierīkošanas gaitā  
novēroto statistisko  
ūdenslīmeni

# PZŪL salīdzinājums ar novērojumiem – D3 gj-am

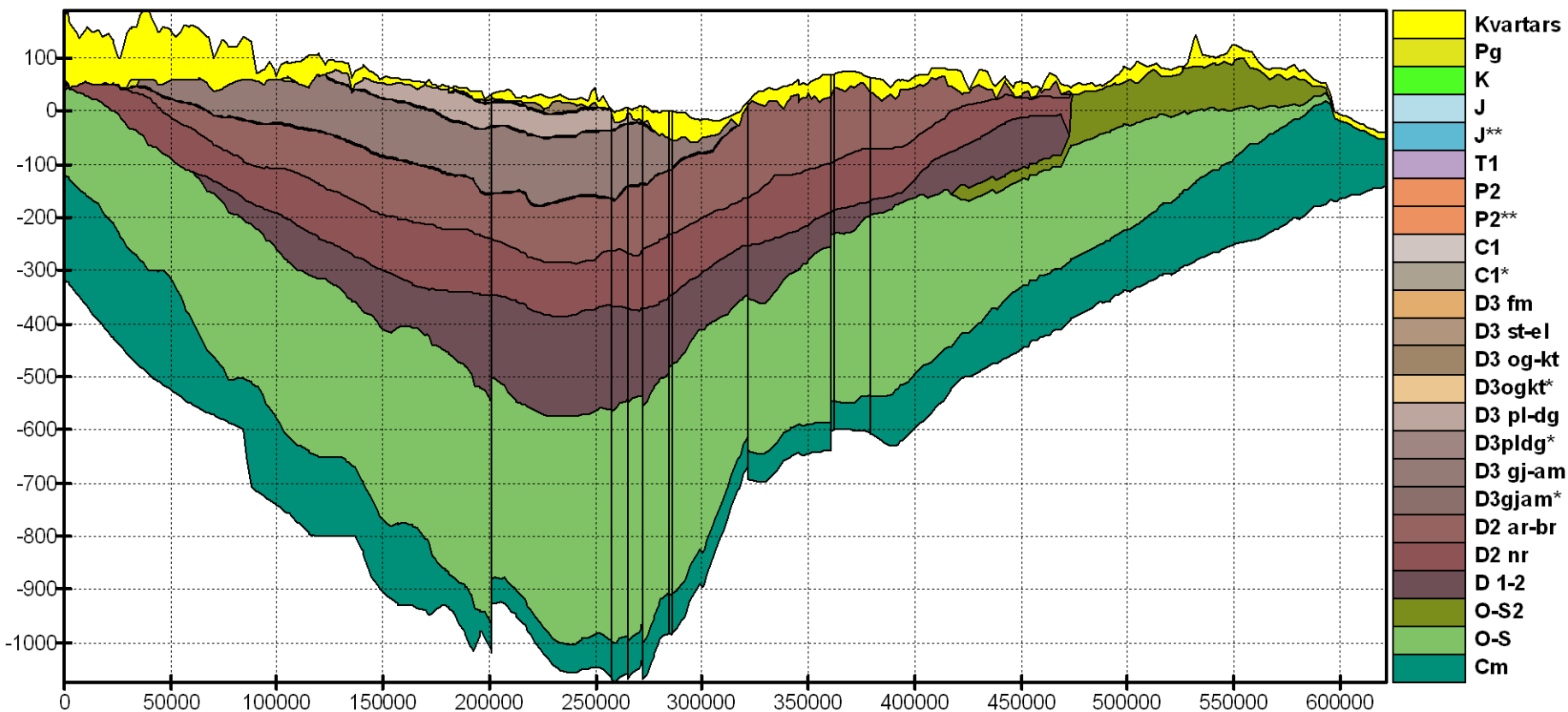


Salīdzinājumam  
izmantojam urbumu  
ierīkošanas gaitā  
novēroto statistisko  
ūdenslīmeni



# Rezultātu piemēri

## Vertikālais griezumus Viļņa - Rīga – Kohtla-Järve, ģeoloģiskā struktūra



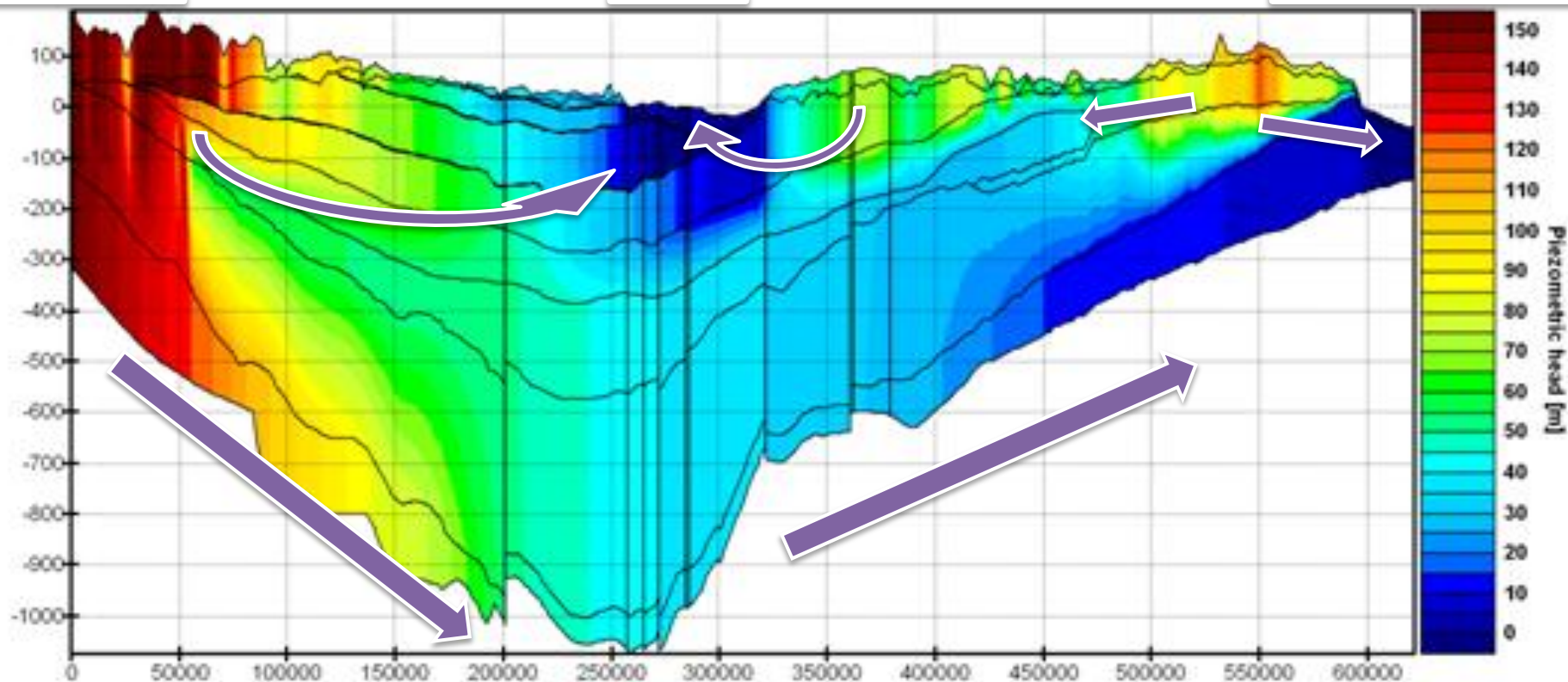
# Rezultātu piemēri

PZŪL sadalījums griezumā, shematisks plūsmu attēlojums

Vilnius

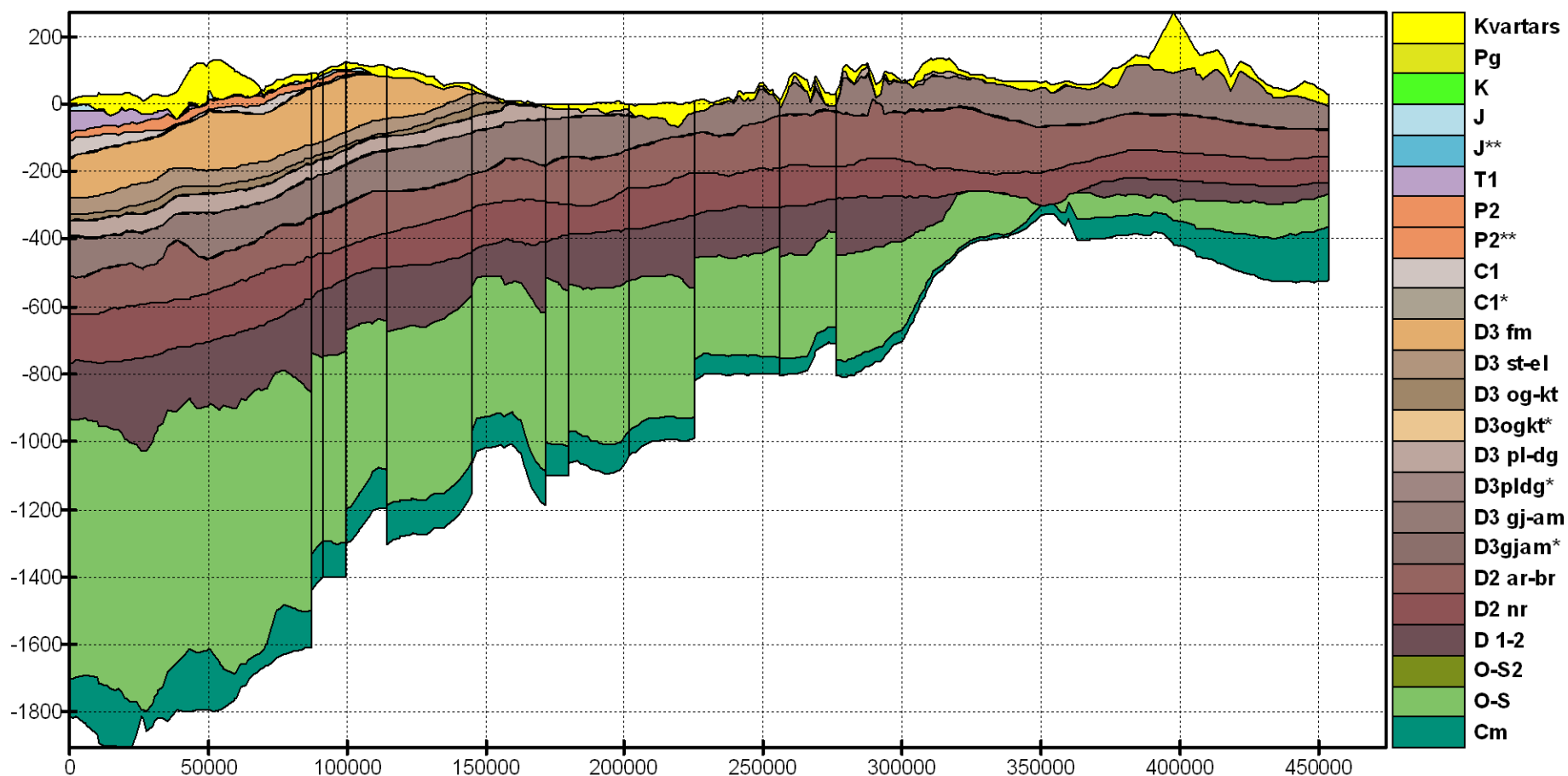
Rīga

Kohtla-Järve



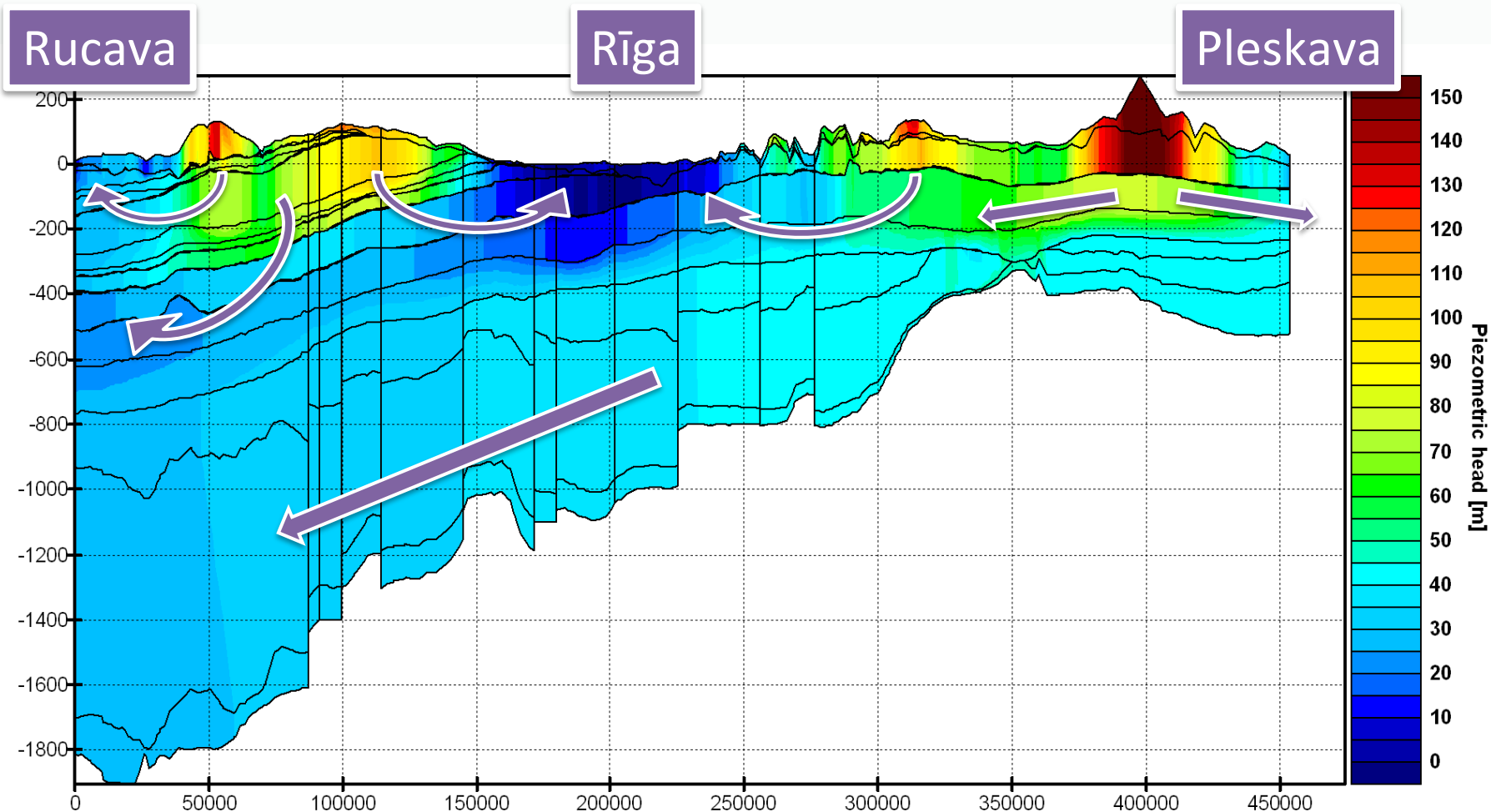
# Rezultātu piemēri

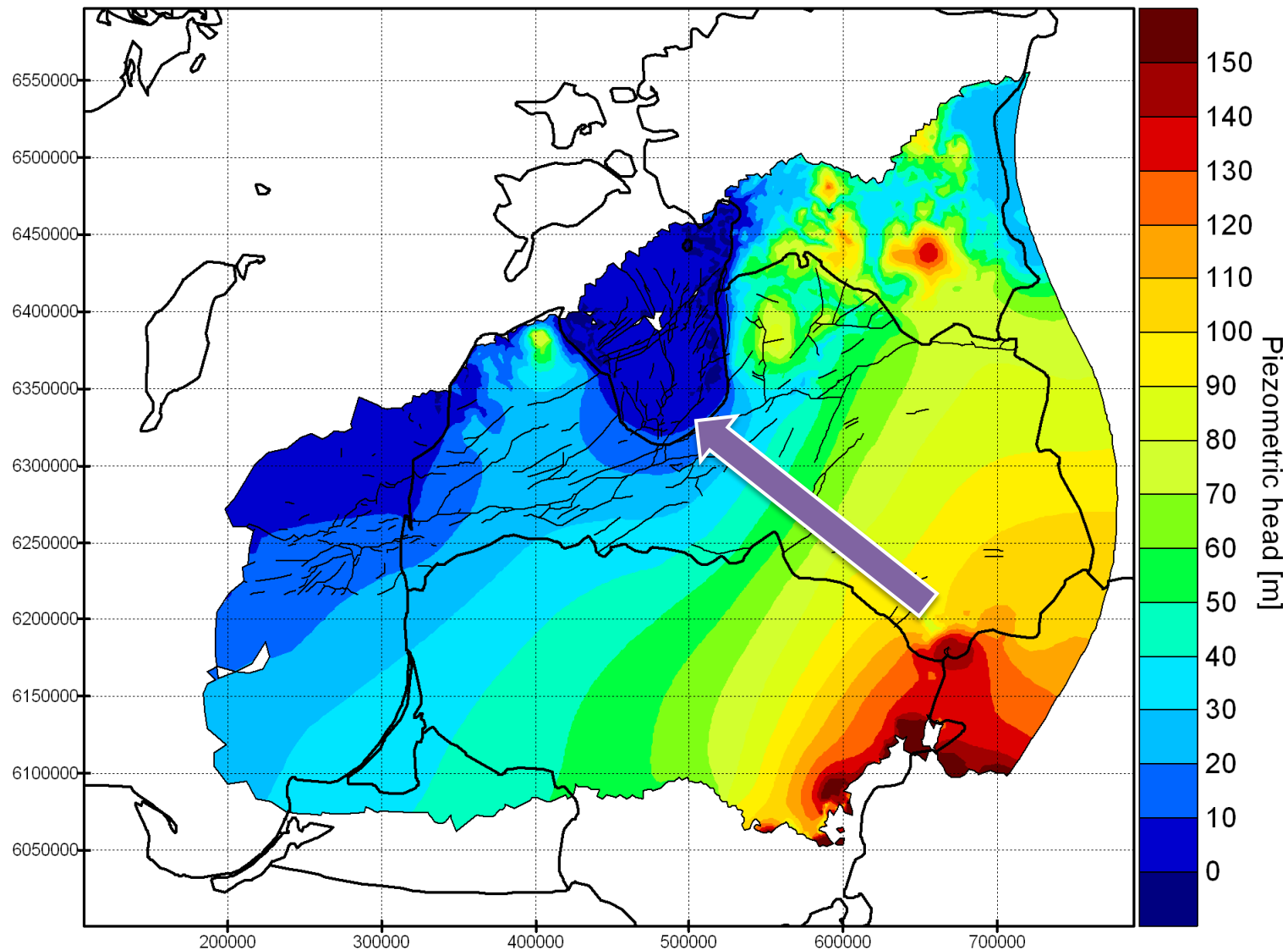
## Vertikālais griezumums Rucava – Rīga - Pleskava , ģeoloģiskā struktūra

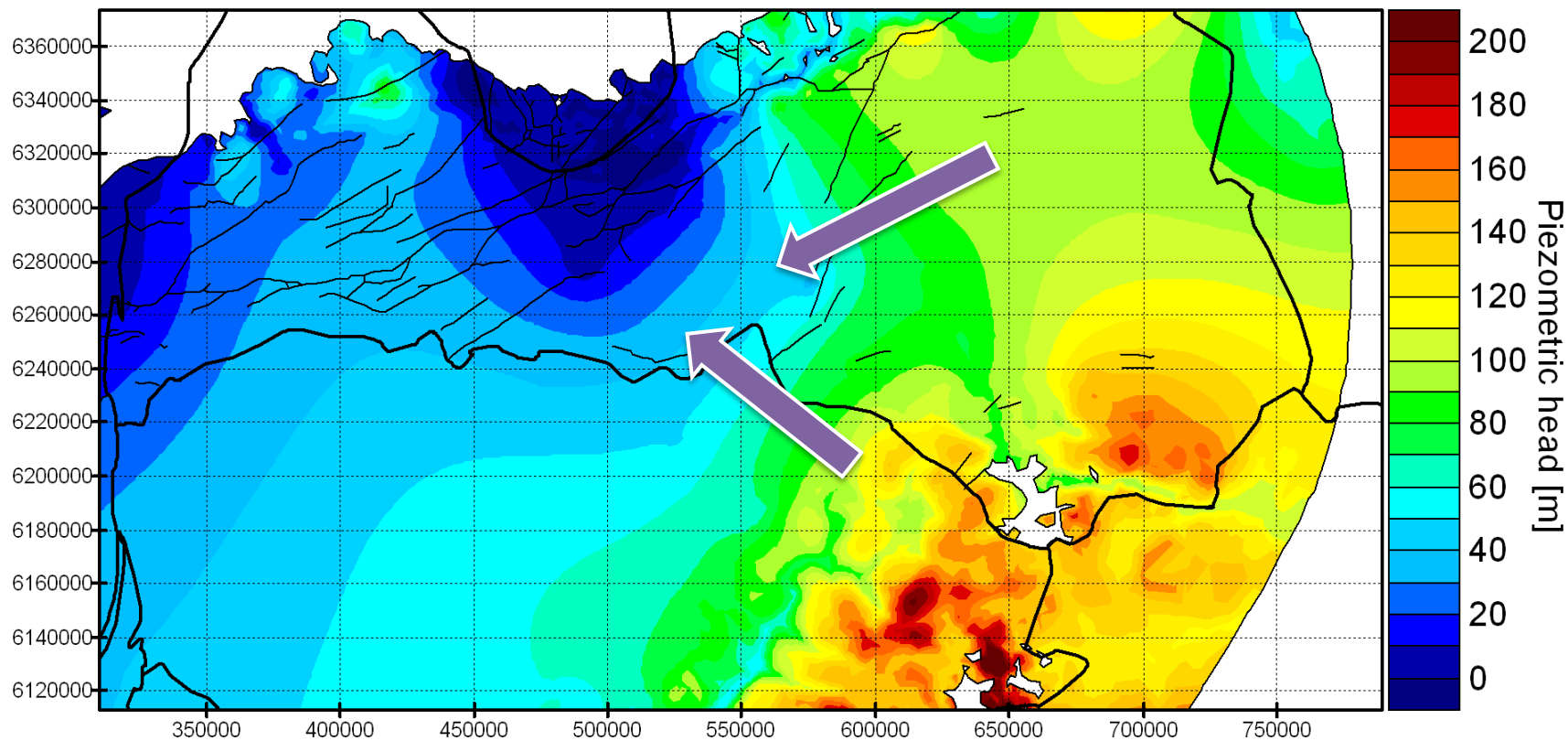


# Rezultātu piemēri

## PZŪL sadalījums griezumā, shematisks plūsmu attēlojums

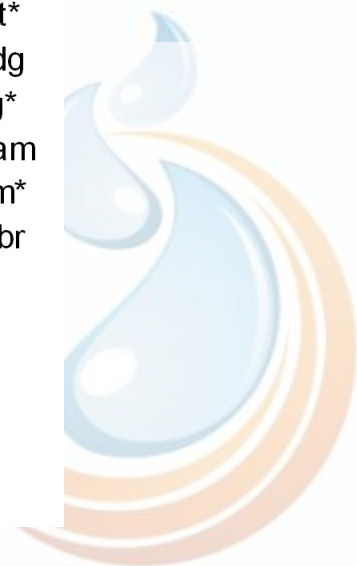
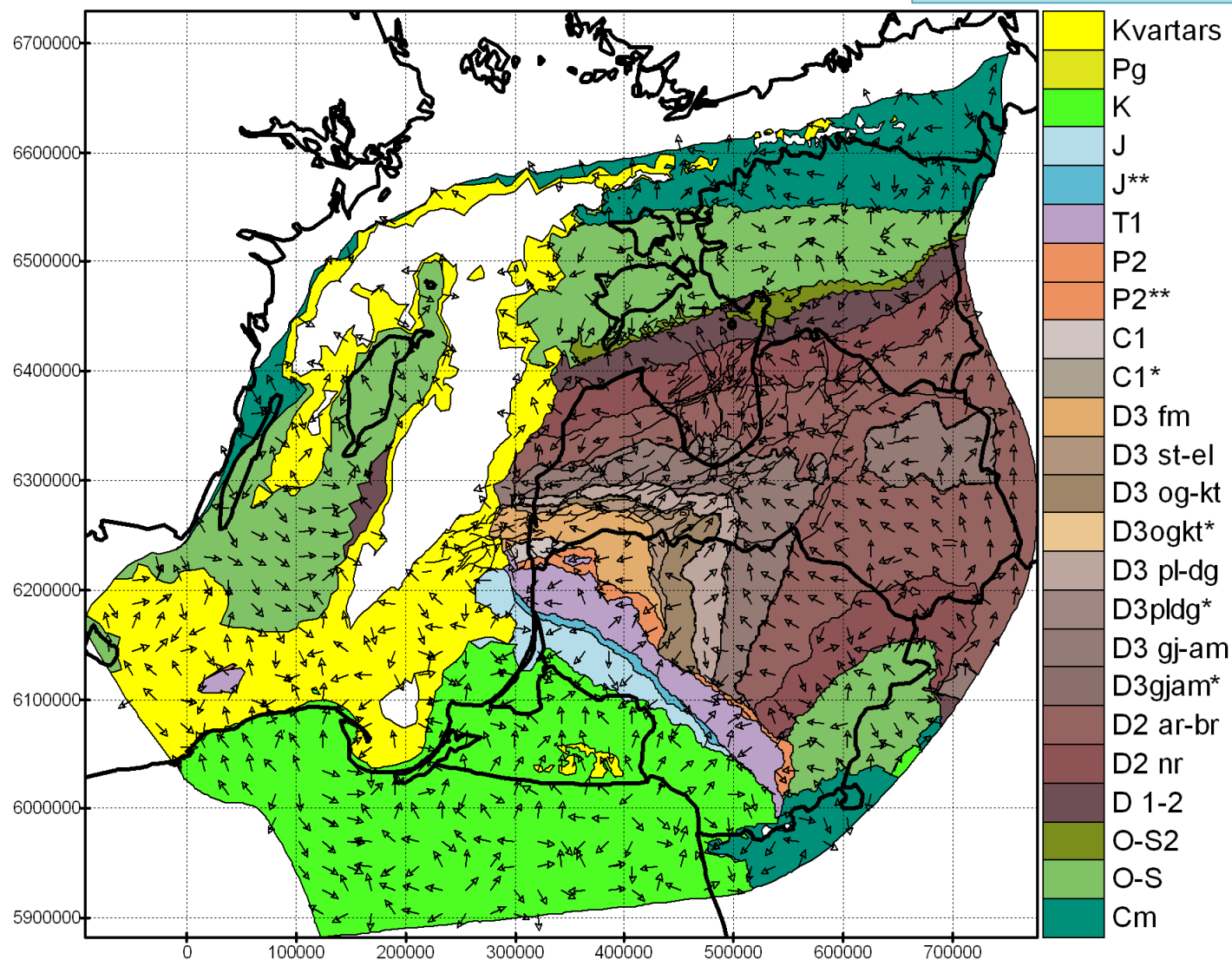






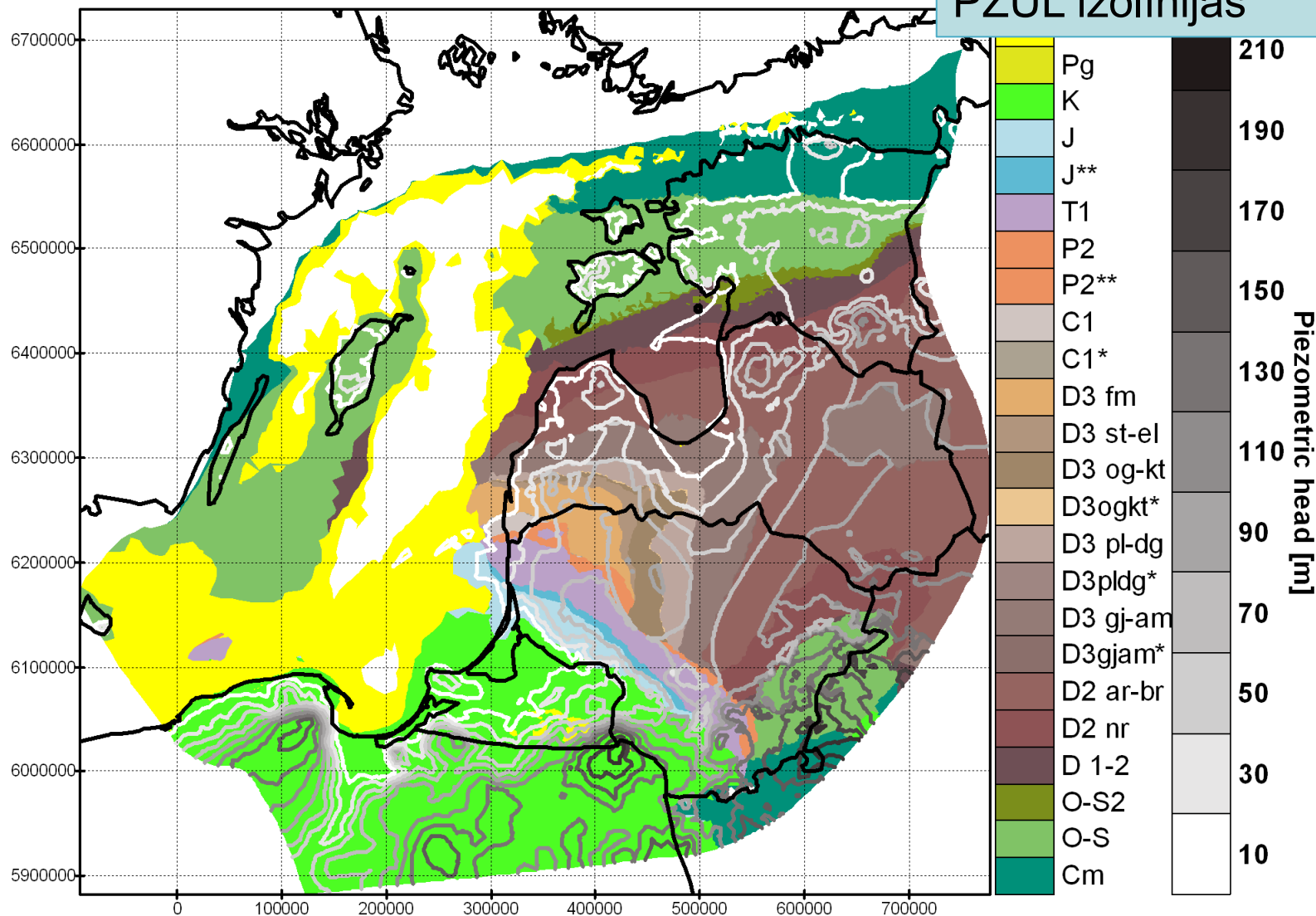
# Rezultātu piemēri

Horizontālais griezumš -100 m atzīmē – materiāli un plūsmu virzieni



# Rezultātu piemēri

Horizontālais griezumums -100 m atzīmē – materiāli un PZŪL izolīnijas





# Kopsavilkums

## Modeļu sistēma:

Izveidota skripta valoda ģeometriskās struktūras, aprēķinu ieejas datu sagatavošanas automatizēšanai.

## Ģeometriskais modelis:

Izveidots BAB ģeoloģiskās struktūras ģeometrijas modelis ar 24 slāņiem

## Filtrācijas modelis:

Sagatavoti robežnosacījumi filtrācijas modelim.

Veikti vairāki filtrācijas plūsmu aprēķini.

Veikta sākotnējā kalibrācija un salīdzināšana ar novērojumu datiem.

## Programmatūra:

Papildināta un nodota projekta vajadzībām programmatūra HiFiGeo struktūras un rezultātu vizualizācijai un pēcapstrādei

# Tālākās darbības virzieni

## Modeļu sistēma:

Skripta tālāka attīstība, ģeneralizācija, vienkāršošana, projekta partneru apmācība, dokumentācijas paplašināšana.

Virsmu ģenerēšanas algoritmu tālāka attīstība.

## Ģeometriskais modelis:

Lietuvas datu pilnīgāka izmantošana (lūzumi, ūdensieguve, materiālu īpašības).

Kontakti ar citām valstīm – Polijas ĢD,...

Precīzāki ģeoloģiskie dati par Baltijas jūras akvatoriju.

## Filtrācijas modelis:

Apvienošana ar hidroloģisko modeli (virsmas infiltrācijas uzlabošanai).

Vielu pārneses un reakciju modeļa izveide.

Nestacionāru aprēķinu veikšana (t.sk. projekta aktivitātei PALEO).

## Programmatūra:

Attēlošanas un automatizācijas iespēju tālāka attīstība