

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA  
LIETIŠĶĀS ĢEOLOĢIJAS KATEDRA

FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA NOVĒRTĒJUMS DEVONA  
KLASTISKAJOS NOGULUMIEŽOS

MAGISTRA DARBS

Autors: **Eleonora Pērkone**

Stud. apl. ep06005

Darba vadītājs:

Doc. Dr. ģeol. Aija Dēliņa

Zin. konsultants: Dr. ģeol. Tomas Saks

RĪGA 2012

## ANOTĀCIJA

Maģistra darba „Filtrācijas koeficienta novērtējums devona klastiskajos nogulumiežos” pētījumā ir veikta Latvijā nozīmīgākās ūdensapgādē izmantojamās devona klastiskās slāņkopas filtrācijas koeficientu datu kvalitatīva novērtēšana, kā vienu no metodēm izmantojot Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskā datormodeļa inverso kalibrāciju.

Pētījumā ir apkopoti un analizēti Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā un Valsts Ģeoloģijas fondos uzkrātie iepriekšējo pētījumu dati par vidus devona Arukilas, Burtnieku un augšējā devona Gaujas un Amatas ūdens horizontu filtrācijas koeficientu vērtībām, nogulumu granulometriskā sastāvu un urbumu ģeoloģisko griezumu apraksti.

Pētījuma gaitā pētītie pazemes ūdens horizonti sadalīti vairākos tiem raksturīgos filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos, kuru ticamības novērtēšanai izmantots Baltijas artēziskā baseina datormodelis.

Maģistra darba saturiskais apjoms kopumā sastāv no 99 lapaspusēm, kas strukturēts 6 nodaļās. Kopumā darbā ievietoti 35 attēli un 13 tabulas.

**Raksturvārdi:** Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskais modelis, filtrācijas koeficients, Hāzena vienādojums, inversā kalibrācija, nogulumiežu litoloģiskais sastāvs.

## ANNOTATION

In the study “Estimation of hydraulic conductivity of the Devonian clastic deposits” the estimation of hydraulic conductivity data quality of most important Devonian clastic aquifers is provided. As one of methods of data quality estimation is chosen inverse calibration of hydrogeological model of Baltic artesian basin.

All data, used in this study is collected from geological mapping and hydrogeological research work statements from Latvian Environment, Geology and Meteorology Center.

In this study correlation of hydraulic conductivity, sediment grain size distribution and lithology has been explored for middle Devonian Arukila, Burtnieki and upper Devonian Gauja, Amata aquifer in Latvia.

The areas of characteristic hydraulic conductivity in each of studied aquifers are devided. The realibility of values of devided characteristic hydraulic conductivity areas is verified by using groundwater flow numerical model for the Baltic Artesian Basin (BAB).

Master`s thesis contains 99 pages, 35 figures, 13 tables and 4 appendix. And it is structurized in 6 chapters.

**Keywords:** Inverse calibration, hydrogeological model of Baltic Artesian Basin, hydraulic conductivity, Hazen equation, lithology of Devonian clastic deposits.

## SATURS

SATURS .....	4
IEVADS .....	6
1. IEPRIEKŠĒJIE PĒTĪJUMI.....	9
1.1. Reģionālais modelis „Lielā Rīga” .....	10
2. PĒTĀMĀS TERITORIJAS ĢEOLOĢISKĀ UZBŪVE UN HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI 15	
2.1. Teritorijas ģeoloģiskā uzbūve .....	15
2.1.1. Vidus devona Arukilas svīta.....	15
2.1.2. Vidus devona Burtnieku svīta .....	17
2.1.3. Augšdevona Gaujas svīta .....	19
2.1.4. Augšdevona Amatas svīta .....	20
2.2. Teritorijas hidroģeoloģiskie apstākļi .....	22
2.2.1. Aktīvās ūdens apmaiņas zona.....	23
2.2.2. Palēninātās ūdens apmaiņas zona.....	25
2.2.3. Lēnās ūdens apmaiņas jeb „Stagnantā” zona .....	26
2.3. Vidus un augšdevona Arukilas - Amatas klastiskā ūdens horizontu kompleksa raksturojums 27	
3. NOGULUMU FILTRĀCIJAS ĪPAŠĪBAS .....	31
3.1. Filtrācijas koeficients (K) un to ietekmējošie faktori .....	31
4. MATERIĀLI UN METODES .....	36
4.1. Pētījumā izmantotie dati un to sagatavošana darbam.....	36
4.2. Nogulumiežu daļiņu efektīvo diametru aprēķināšana .....	38
4.3. Filtrācijas koeficienta matemātiskais aprēķins.....	39
4.4. Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskais datormodelis .....	42
4.4.1. Citi reģionālie hidroģeoloģiskie modeļi .....	42
4.4.2. BAB hidroģeoloģiskā datormodeļa izvede.....	42
4.4.3. Modeļa hidroģeoloģija .....	46
4.4.4. Modeļa robežnosacījumi .....	46
4.4.5. Pazemes ūdens pjezometrisko līmeņu aprēķins .....	47
4.4.6. BAB modeļa kalibrācija .....	49
5. ARUKILAS – AMATAS ŪDENS HORIZONTU KOMPLEKSA KLASTISKO NOGULUMIEŽU FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA VĒRTĪBAS UN TO SADALĪJUMS LATVIJĀ	52
5.1. Urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktā filtrācijas koeficienta datu kvalitātes analīze .....	52
5.2. Aprēķināto filtrācijas koeficienta vērtību izmantojamība .....	57
5.3. Arukilas – Amatas kompleksa horizontu raksturīgāko K vērtību apgabali.....	62

5.3.1.	Amatas horizonts.....	63
5.3.2.	Gaujas horizonts.....	66
5.3.3.	Burtnieku horizonts.....	70
5.3.4.	Arukilas horizonts.....	74
5.4.	Izdalīto raksturīgo K vērtību apgabalu ticamības novērtējums, izmantojot BAB hidroģeoloģisko modeli.....	78
5.4.1.	Amatas horizonts.....	80
5.4.2.	Gaujas horizonts.....	82
5.4.3.	Burtnieku horizonts.....	83
5.4.4.	Arukilas horizonts.....	85
6.	DISKUSIJA.....	88
6.1.	Filtrācijas koeficientu saistība ar horizontu ieguluma dziļumu.....	88
6.2.	Atsevišķu pazemes ūdens horizontu filtrācijas koeficientu vērtību maiņas ietekme uz kopējo BAB modeļa.....	89
	SECINĀJUMI.....	92
	PATEICĪBAS.....	94
	LITERATŪRAS SARAKSTS.....	95
	1. pielikums.....	101
	2. pielikums.....	103
	3. pielikums.....	107
	4. pielikums.....	110

## IEVADS

Nogulumu filtrācijas koeficients ir viens no būtiskākajiem parametriem, kas raksturo nogulumu spēju laist cauri ūdeni un, līdz ar to nosaka, pazemes ūdeņu kustību noteiktos ģeoloģiskos apstākļos. Iežu un nogulumu filtrācijas īpašības, kas tiek izteiktas kā filtrācijas koeficients ( $K$ ,  $m/dnn$ ), raksturo pazemes ūdens plūsmu kapacitāti. Filtrācijas īpašības galvenokārt ietekmē dažādas nogulumu fizikālās, kā arī filtrējošā fluīda īpašības. Filtrācijas parametru raksturojums un izpratne par to darbības likumsakarībām ir priekšnoteikums veiksmīgai dažādu hidroģeoloģisko problēmu risināšanai.

Maģistra darba pētījumā tika veikts Baltijas artēziskā baseina Latvijas daļas vidus devona Arukilas ( $D_{2ar}$ ) un Burtnieku ( $D_{2br}$ ) pazemes ūdens horizontu (turpmāk tekstā horizonta) un augšdevona Gaujas ( $D_{3gj}$ ) un Amatas ( $D_{3am}$ ) pazemes ūdens horizontu ūdens veidojošo nogulumu filtrācijas koeficientu novērtējums, apskatot to saistību ar nogulumu granulometrisko un litoloģisko sastāvu. Balstoties uz šo parametru saistības likumsakarībām, tika veikts mēģinājums augstāk minētajiem ūdens horizontiem izdalīt vairākas raksturīgākās filtrācijas koeficienta vērtības un to izplatības apgabalus Latvijas teritorijā. Filtrācijas koeficienta izdalīto raksturīgo vērtību novērtējums tika veikts, izmantojot Baltijas artēziskā baseina (BAB) hidroģeoloģiskā datormodeļa pamatversiju (V1).

BAB ir komplicēta daudzslāņu hidroģeoloģiskā sistēma, kas pilnībā iekļauj Latvijas, Lietuvas, Igaunijas teritoriju, daļu Polijas, Krievijas un Baltkrievijas teritorijas, kā arī lielu daļu Baltijas jūras. To raksturo nokrišņu infiltrācija un ģeoloģisko slāņu horizontālie un vertikālie filtrācijas koeficienti, kas nosaka to, kā pazemes ūdens plūsmas pārvietojas artēziskā baseina apgabalā. BAB hidroģeoloģiskais modelis aptver pazemes ūdens filtrācijas matemātisko modelēšanu visā artēziskā baseina tilpumā (Sennikovs et al, 2011).

Praksē pastāv salīdzinoši daudz lauka un kamerālās metodes, ar kurām ir iespējams noteikt nogulumu filtrācijas koeficientus. Lauka apstākļos iespējams izmantot traseru metodes, individuālu urbumu un urbumu grupas atsūkņēšanas metodes, kā arī iesūkņējot ūdeni urbumos (Todd and Mays, 2005; Маслов и Комов, 1971), un citas metodes, savukārt laboratorijā tie tiek noteikti ar dažādu filtrācijas iekārtu jeb permeamtru palīdzību, kuros principā tiek atkārtoti H. Darsī oriģinālie eksperimenti (Smith and Mullins, 2000). Gadījumos, kad nav iespējams veikt iepriekšminētos lauka vai laboratorijas darbus, tiek izmantotas matemātisko aprēķinu metodes, kas ļauj aprēķināt filtrācijas koeficientus, izmantojot datus par ieža granulometrisko sastāvu un porainību (Fetter, 2001; Maldavs, 1964). Kopumā pētījumu metožu izvēle lielākoties ir atkarīga no datu un resursu pieejamības. Filtrācijas

īpašību pētījumu metodes iedalāmas četrās galvenajās metožu grupās (Pliakas and Petalas, 2011):

- 1) Laboratorijas metodes (gan nogulumu daļiņu izmēru analīze, gan filtrācijas iekārtas testi);
- 2) Maza mēroga *in situ* testi (urbumu, šurfu un citi testi);
- 3) Liela mēroga *in situ* testi (ietver urbumu atsūkņēšanas darbus un liela mēroga traserēšanas eksperimentus);
- 4) Citas metodes – ģeofizikālās, vizuālā novērtēšana, matemātiskā modelēšana.

Maģistra darba pētījumā, lai izzinātu, raksturotu un novērtētu svarīgāko Latvijas devona klastiskās slāņkopas ūdens horizontu filtrācijas koeficientus, galvenokārt tika izmantotas esošo filtrācijas koeficientu datu analīzes metodes, matemātisko aprēķinu metodes un datu novērtēšana tika veikta, izmantojot skaitliskās manuālās kalibrācijas jeb inversās modelēšanas (Carrera, 2005) metodes. Maģistra darba izstrādes gaita kopumā sastāv no filtrācijas koeficientu datu novērtēšanas vairākos posmos, kas sīkāk aprakstīti maģistra darbā iekļautajās nodaļās.

Pētījuma **novitāte** un metožu izvēle tiek pamatota ar faktu, ka pētāmā teritorija aizņem visu Latvijas teritoriju un kopš Latvijas zemes dzīļu ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes pirmsākumiem ir uzkrāts zināms datu daudzums, kas iepriekš nav ticis izmantots detālai ūdens horizontu filtrācijas koeficientu raksturošanai un novērtēšanai, izmantojot reģionālu hidroģeoloģisko modeli. Turklāt, ūdens horizontus raksturojošo filtrācijas koeficientu datu kvalitatīva novērtēšana un detālas zināšanas par tiem ir ļoti aktuālas saistībā gan ar lokāla, gan reģionāla mēroga hidroģeoloģisko modelēšanu (Rajanayaka et al, 2003). Pētījumā apskatīto ūdens horizontu izvēle pamatojama ar faktu, ka šie horizonti kopā veido Arukilas – Amatas ūdens horizontu kompleksu, kas ir svarīgākais un Latvijā ūdensapgādē visplašāk izmantotais devona klastisko nogulumiežu ūdens horizontu komplekss.

Maģistra **darba mērķis** ir izzināt un projicēt svarīgāko devona klastisko nogulumiežu pazemes ūdens horizontu filtrācijas koeficientu vērtību sadalījumu Latvijas teritorijā un, izmantojot Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģisko datormodeli, veikt to kvalitatīvu novērtējumu.

Lai sasniegtu darbam izvirzīto mērķi, tika definēti vairāki uzdevumi:

1. Filtrācijas koeficientu datu ievākšana un esošo datu apjoma palielināšana par devona klastiskajiem pazemes ūdeņu horizontiem;
2. Filtrācijas koeficientu vērtību aprēķināšana izmantojot granulometrisko analīžu rezultātus;

3. Balstoties uz filtrācijas koeficientu un nogulumiežu granulometrisko, litoloģisko sastāvu, pētītajos ūdens horizontos izdalīt raksturīgo filtrācijas koeficientu vērtību apgabalus;
4. Veikt filtrācijas koeficientu vērtību novērtējumu, izmantojot Baltijas artēziskā baseina matemātisko modeli.

Pētījumā iegūtie rezultāti ir aprobēti vairākos ziņojumos konferencēs – Latvijas Universitātes 70. un 69. zinātniskajā konferencē (Pērkone u.c., 2012; Pērkone, 2011), Daugavpils 53. starptautiskajā zinātniskajā konferencē (Pērkone un Popovs, 2011) un EGU ģenerālās asamblejas konferencē (Pērkone, et al 2012). Kā arī daļējs rezultātu izklāsts atspoguļots DU 53. zinātniskās konferences rakstu krājumā publicēšanai iesniegtajā rakstā (Pērkone un Popovs, bez dat.).

Maģistra darba saturs strukturēts 6 nodaļās un 36 apakšnodaļās, kuru kopējais apjoms ir 99 lpp. Darbā ievietoti 35 attēli un 13 tabulas. Darbā izmantoti 51 publicētās un 6 nepublicētās literatūras avoti, kā arī 4 elektronisko resursu avoti. Darbampievienoti 4 pielikumi.

Maģistra darbs izstrādāts ESF aktivitātes „Cilvēkresursu piesaiste zinātnei” projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem,” projekta Nr. 2009/0212/1DP/1.1.1.2.0/09/APIA/VIAA/060 (turpmāk tekstā – PUMA) ietvaros.



## 1. IEPRIEKŠĒJIE PĒTĪJUMI

Visi iepriekšējie pētījumi Latvijā, kas saistās ar nogulumiežu filtrācijas parametriem, galvenokārt, saistās ar ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes darbiem, kas tikuši veikti ģeoloģiskās kartēšanas vajadzībām, ūdens apgādes vajadzībām, kā arī ar lokāliem pazemes ūdens plūsmu, līmeņu modelēšanas darbiem, piemēram, derīgo izrakteņu ieguves vajadzībām.

Latvijā, valsts teritorijas mērogā, iepriekšējo ģeoloģisko un hidroģeoloģisko izpētes darbu gaitā iegūtie nogulumiežu filtrācijas koeficienti iepriekš nav tikuši pastiprināti pētīti, analizēti un novērtēti kā kvantitatīvi, tā kvalitatīvi. Vispārraksturojošas ziņas par darbā apskatītajiem pazemes ūdeņu horizontiem ir sniegtas valsts ģeoloģiskās kartēšanas atskaitēs, atsevišķi pa noteiktiem kartēšanas rajoniem. Kā arī kopējos pārskatos par valsts teritorijas hidroģeoloģisko un inženierģeoloģisko karšu sastādīšanu (Bičko u.c., 1985; Bičko un Traveckis, 1979).

Detālāki pētījumi, kas saistās ar filtrācijas koeficientu datu sīkāku novērtējumu, saistīti pilsētu ūdensgūtnēm, īpaši ar Rīgas reģionu (Tolstovs u.c., 1982).

Rīgas reģionā detālāki hidroģeoloģiski pētījumi veikti saistībā ar pilsēta ūdens apgādes vajadzībām un ūdens ieguves rezultātā radušos pazeme ūdeņu depresijas piltuvi, kas skar aktīvās ūdens apmaiņas zonu. Pagājušā gadsimta vidū un beigās ir veikts teritorijas filtrācijas koeficientu aprēķins un to ticamības novērtējums, ar atzinumu, ka šādi darbi visprecīzāk veicami izmantojot matemātisko modelēšanu (Tolstovs u.c., 1982).

Kopumā ir ļoti maz iepriekšējo pētījumu, kas aprakstītu detāli šajā darbā apskatītos pazemes ūdens horizontus un to filtrācijas koeficientu vērtības un teritoriālo sadalījumu. Kopējā pētījumu prakse liecina, ka šādi līdzīgi pētījumi veikti lielākoties saistībā ar hidroģeoloģisko pazemes ūdeņu modelēšanu un modeļu izveidi, jo, principā, filtrācijas koeficients ir būtisks modeļaprēķinu elements, lai varētu izpildīt hidroģeoloģiskā modeļa pamatmērķi – pazemes ūdens plūsmu un pjezometrisku ūdens līmeņu modelēšanu jeb attēlošanu, kā arī tas ir svarīgs parametrs hidroģeoloģisko modeļu kalibrēšanā.

Praktiski visi hidroģeoloģiskie modeļi, kas veic pazeme ūdeņu plūsmu un līmeņu modelēšanu, ietver sevī informāciju par modelētās vides jeb iežu ūdens caurlaidības īpašībām. Ņemot vērā šo faktu, šādu hidroģeoloģisko modeļu rezultātu precizitātes novērtējums zināmā mērā, uzskatāms, par modelī ietverto filtrācijas parametru jeb filtrācijas koeficientu datu kvalitatīvu novērtējumu.

Latvijā iepriekš veidoti vairāki lokāli hidroģeoloģiskie modeļi, bet kā galvenais te ir atzīmējams Valsts Ģeoloģijas dienesta un RTU Vides modelēšanas centra 1993.-1996. gados kopīgi izstrādātais reģionālais hidroģeoloģiskais modelis centrālajai Latvijai REMO (Spalviņš

u.c., 1996). Reģionālos modeļos, atšķirībā no lokāliem modeļiem, filtrācijas koeficientu vērtību izvēle un izmantošana kalibrēšanā ir komplicētāka (Rushton, 2003), ne vienmēr ir iespējams izmantot tieši atsevišķos punktos novērotās faktiskās vērtības, bet ir jāņem vērā hidroģeoloģiskā modeļa shematizācijas pakāpe un tās ietekme uz filtrācijas koeficienta vērtībām.

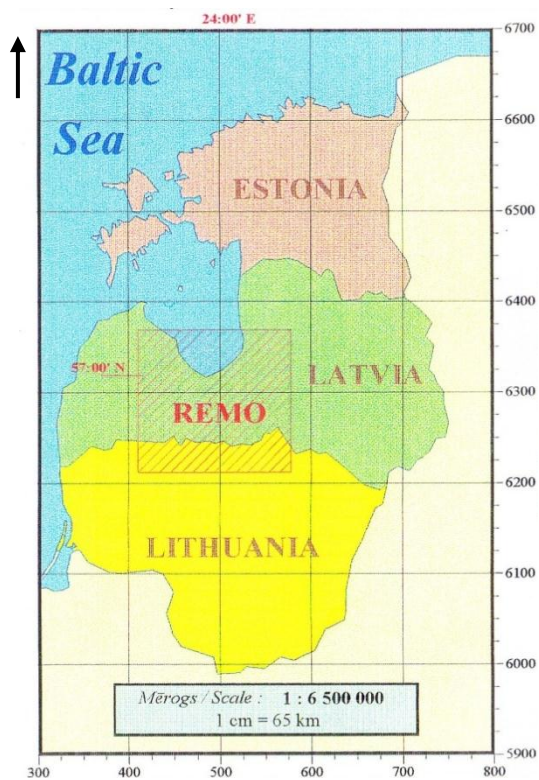
Pašlaik RTU Vides modelēšanas centrs izstrādā Latvijas reģionālo modeli (LAMO) aktīvās ūdens apmaiņas zonai, kas tāpat sniegs papildus zināšanas par nogulumu filtrācijas īpašībām un to sadalījumu šajā modelī Latvijā (Spalviņš, 2011).

### **1.1. Reģionālais modelis „Lielā Rīga”**

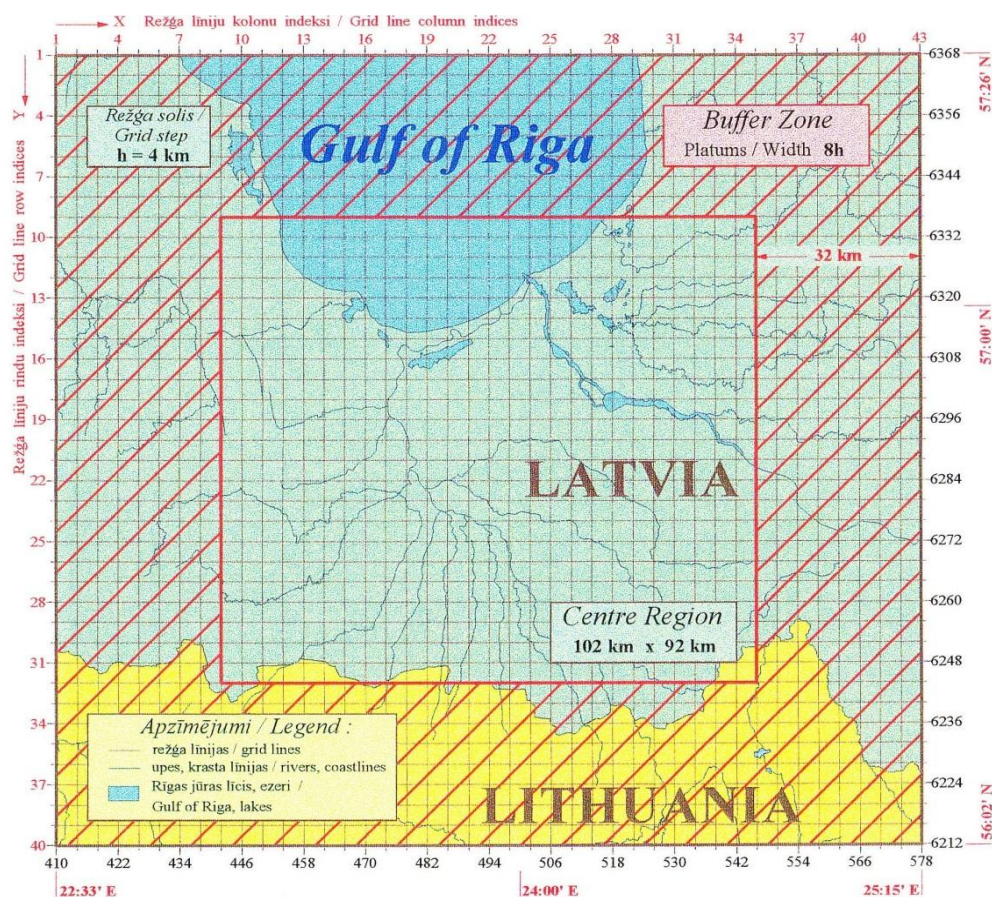
Viens no Latvijā līdz šim labāk zināmajiem hidroģeoloģiskajiem datormodeļiem ir reģionālais modelis (turpmāk tekstā REMO) „Lielā Rīga”, kura izstrāde sākta 1993. gadā. REMO „Lielā Rīga” ticis izstrādāts Rīgas tehniskajā universitātē sadarbojoties ar bijušo Valsts ģeoloģijas dienestu (Spalviņš u.c., 1996; Spalviņš and Nulle, 2011).

REMO savulaik ticis izstrādāts, lai būtu iespēja aprēķināt stacionāra pazemes ūdeņu režīma pjezometriskos līmeņus un pazemes ūdens plūsmas kvazitrīsdimensiju (3D) apgabalā (Spalviņš u.c., 1996).

REMO „Lielā Rīga”(1.1., 1.2. attēli) aptver 26208 km<sup>2</sup> (168 \* 165 km) platību. REMO aptver (1.1., 1.2. attēls) Latvijas centrālo daļu, Lietuvas ziemeļu pierobežas daļu un ievērojamu daļu Rīgas jūras līča teritorijas. REMO centram ar 104 km – 92 km platību (1.2. attēls) tiek nodrošināta sākotnēji uzstādītā precizitāte. Centru aptver 32 km plata bufera zona, kura nodrošina robežnoteikums katrai no REMO 9 sekcijām jeb pazemes ūdens horizontiem. Šo robežu kopa veido četras vertikālas skaldnes – REMO čaulu. Bufera zona dod iespēju precīzāk aprēķināt pazemes ūdeņu depresiju REMO centram. Kā REMO topogrāfiskā bāze ir izmantota Latvijas koordinātu sistēma - LKS-92, kura piesaistīta Eiropas 1989. g. Zemes atbalsta sistēmai ETRS-89 (Spalviņš u.c., 1996).



1.1. attēls. REMO „Lielā Rīga” apgabala novietojums Baltijas valstīs (Spalviņš u.c., 1996).



1.2. attēls. REMO centra daļas un buferzonas sadalījums, M 1: 200 000 (Spalviņš u.c., 1996)

Modeļa apgabals ir aproksimēts xy plaknē ar režģa soli 4 km. Vertikālā virzienā REMO satur 9 horizontus (1.1. tabula), kurus atdala sprostsļāņi.

1.1. tabula

**REMO stratifikācija un izmantoto datu (urbumu) daudzums (Spalviņš u.c., 1996)**

REMO sekcija nr. un kods		Parametri jeb izmantoto datu apjoms			
		m	m <sub>0</sub>	k	k <sub>0</sub>
(a) aQ	zQ#		69		0
1. (z) zQ			270		0
2. (xy) Q		176		4	
(z) gQ			230		2
3. (xy) D <sub>3</sub> fm#		17		9	
(z) D <sub>3</sub> el			16		1
4. (xy) D <sub>3</sub> dg		52		22	
(z) D <sub>3</sub> sl#			58		0
5. (xy) D <sub>3</sub> pl		74		22	
(z) D <sub>3</sub> am#			64		1
6. (xy) D <sub>3</sub> am		72		15	
(z) D <sub>3</sub> gj <sup>2</sup>			68		1
7. (xy) D <sub>3</sub> gj <sup>2</sup>		88		17	
(z) D <sub>3</sub> gj <sup>1</sup>			68		4
8. (xy) D <sub>3</sub> gj <sup>1</sup>		112		26	
(z) D <sub>2</sub> br			101		3
9. (xy) D <sub>2</sub> ar#		107		37	
(z) D <sub>2</sub> nr#			46		0
10. D <sub>2</sub> pr		43		4	

**Tabulas paskaidrojumi:** zQ# - kvartāra augšējā morēna ar ietvertu aerācijas zonu; Q – kvartāra horizonts; gQ – kvartāra apakšējais sprosts slānis; D<sub>3</sub>fm# - augšdevona vienotais Famenas horizonts; D<sub>3</sub>el# - augšdevona apvienotais Elejas sprosts slānis; D<sub>3</sub>dg# - augšdevona apvienotais Daugavas horizonts; D<sub>3</sub>sl# - augšdevona apvienotais Salaspils sprosts slānis; D<sub>3</sub>pl – augšdevona Pļaviņu horizonts; D<sub>3</sub>am# - augšdevona apvienotais Amatas sprosts slānis; D<sub>3</sub>am – augšdevona Amatas horizonts; D<sub>3</sub>gj<sup>2</sup> – augšdevona augšgaujas sprosts slānis; D<sub>3</sub>gj<sup>2</sup> – augšdevona augšgaujas horizonts; D<sub>3</sub>gj<sup>1</sup> – augšdevona apakšgaujas sprosts slānis; D<sub>3</sub>gj<sup>1</sup> – augšdevona apakšgaujas horizonts; D<sub>2</sub>br – vidusdevona Burtnieku sprosts slānis; D<sub>2</sub>ar# - vidusdevona apvienotais Arukilas horizonts; D<sub>2</sub>nr# - vidusdevona apvienotais Narvas sprosts slānis; D<sub>2</sub>pr – vidusdevona Pērnavas horizonts;

Kopējais mezglu skaits REMO 3D režģī raksturojams šādi:

$$N = N_x * N_y * N_z = 43 * 40 * 9 = 15480, \quad (1.1.)$$

Kur N<sub>x</sub>, N<sub>y</sub>, N<sub>z</sub> – kolonnu un rindu skaits režģa xy plaknē un modeļa horizontu (z – sekciju) skaits (Spalviņš u.c., 1996).

REMO centra apgabala izmērus, tā novietojumu un vertikālo shematizāciju (1.2. attēls) savulaik ir noteikuši bijušā Valsts uzņēmuma „Latvijas ģeoloģija” (turpmāk tekstā VULĢ) speciālisti. REMO skaitliskie aprēķini aptver aktīvās ūdens apmaiņas zonas daudzhorizontu sistēmu, kas saistās ar dzeramajiem pazemes ūdeņu krājumiem (1.1. tabula).

Lielākā daļa no REMO pazemes ūdens horizontiem un sprosts slāņiem modeļa apgabalā nav nepārtraukti izplatīti un tiem modelī ir noteiktas ģeoloģiskās robežas. REMO „Lielā Rīga” ir integrētas noteiktas pjezometriskās virsmas, kas kalpo kā robežnoteikumi modelī ietvertajiem pazemes ūdens horizontiem, kā piemēram 0-tā sekcija kalpo kā robežnoteikums kvartāra sekcijai 1, bet apakšējais horizonts D<sub>2</sub>pr fiksē pjezometriskos līmeņus REMO 9-tajā sekcijā (1.1. tabula) (Spalviņš u.c., 1996).

Augšējā Remo 0-tā sekcija ietver blīvu hidrogrāfisko tīklu ar upēm, ezeriem un Rīgas jūras līci. Šis tīkls ir kodēts, izmantojot bijušās PSRS bruņoto spēku ģenerālštāba kartes (M 1:200 000; 1:50 000) (Spalviņš u.c., 1996).

REMO izveidē izmantoti dati no ekspluatācijas un novērojumu urbumiem (ūdens pjezometriskie līmeņi, urbumu debiti). Modeļa ģeometrijas izveidē tikuši izmantoti dati par pazemes ūdens horizontu un sprosts slāņu biezumiem un arī par filtrācijas īpašībām (ūdens caurlaidība). Bet ar izmantotajiem datiem saistās zināmi trūkumi – praktiski nav informācijas par sprosts slāņu ūdens caurlaidību. Šie dati tikuši iegūti no VULĢ (Spalviņš u.c., 1996).

REMO modelētajai teritorijai, katram pētītajam slānim, tikuši aprēķināta gan vertikālā, gan horizontālā pazemes ūdens horizonta un sprosts slāņa ūdensvadāmība, izmantojot ūdens horizonta un sprosts slāņa biezumus un ūdens caurlaidības koeficientu datus, kas iepriekš tikuši ģenerēti karšu veidā. Koeficientu galīgās vērtības REMO iegūtas datorizētas kalibrācijas rezultātā (Spalviņš u.c., 1996).

Ar REMO iegūtie rezultāti pietiekoši labi atbilst novērojumu urbumos izmērītajām vērtībām, principā, parasti to starpība nepārsniedz 2 metrus svarīgākajiem dzeramā ūdens horizontiem – D<sub>3</sub>gj<sup>2</sup>, D<sub>3</sub>gj<sup>1</sup> un D<sub>2</sub>ar# (1.1. tabula). Kopumā izmantojot ekspluatācijas un

novērtējumu urbumu datus un datus par modelējamās teritorijas pazemes ūdens horizontu un sprostsliāņu biežumiem un ūdens caurlaidību tikuši iegūti ūdens horizontu pjezometriskie ūdens līmeņi un depresiju piltuves 1980., 1985. un 1990. gadam.

Kā REMO sākuma dati tiek izmantoti urbumos noteiktie filtrācijas koeficienti un ūdens vadāmības koeficienti. Sākotnēji izmantojot K datus tikušas sastādītas K kartes katrai no modelī ietvertajām sekcijām jeb pazemes ūdens horizontiem (1.1. tabula). Vēlāk izmantojot interpolētās K kartes aprēķināta modeļslāņa vertikālā un horizontālā ūdens caurlaidība (Spalviņš un Janbickis, 1994), kā arī pjezometriskie ūdens līmeņi un depresijas piltuves.

Reģionālajā modelī „Lielā Rīga” salīdzinājumā ar šo pētījumu netiek izmantotas filtrācijas koeficientu ( $K$ , m/dnn) vērtības, bet gan ūdens vadāmības koeficienti ( $T$ ,  $m^2/dnn$ ), kas praktiski ietver gan informāciju par filtrācijas koeficientu, gan horizonta efektīvo biežumu (sīkāk skatīt nodaļu 3.1.). Izmantojot nogulumiežu ūdensvadāmības īpašības modeļa aprēķinos tikuši aprēķināti pazemes ūdeņu pjezometriskie līmeņi un depresiju piltuves 1980., 1985. un 1990. gadam. Ņemot vērā, ka starpība starp modelētajiem ūdens līmeņiem un reālajiem dabā novērotajiem, galvenajos ūdens horizontos –  $D_3gj^2$ ,  $D_3gj^1$  un  $D_2ar\#$  nepārsniedz 2 m (Spalviņš un Janbickis, 1994), var secināt, ka kopumā iepriekšējos ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes darbos uzkrātie dati par nogulumiežu filtrācijas īpašībām ir kvalitatīvi un izmantojami tālākos pētījumos.

REMO sistēma attīstās un uzkrāj aizvien vairāk informācijas. REMO sistēmu var izmantot ne tikai pazemes ūdens plūsmu pētīšanai, bet arī hidroģeoloģisko datu pārbaudei un pretrunu labošanai. Tomēr lai uzlabotu REMO kvalitāti viens no būtiskākajiem uzdevumiem ir bijis saistīts ar sākuma datu par ūdens vadāmību un lokālo urbumu ūdens patēriņu apjoma palielināšanu (Spalviņš un Janbickis, 1994).

## 2. PĒTĀMĀS TERITORIJAS ĢEOLOĢISKĀ UZBŪVE UN HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI

Latvijas teritorijas ģeoloģiskā uzbūve ir salīdzinoši komplicēta. Ģeoloģiskā griezuma pamatnē iegul kristāliskais pamatklintājs, ko veido arhaja un proterozoja vecuma ieži, kurus secīgi pārsedz jaunāku nogulumiežu sega. Tajā pārstāvēti ediakara, kembrija, ordovika, silūra, devona, karbona, perma, triasa un juras nogulumu, kurus pārsedz kvartāra nogulumu. Šajā nodaļā tiks sniegts sīkāks devona slāņkopas un pētīto D<sub>2ar</sub>, D<sub>2br</sub>, D<sub>3gj</sub> un D<sub>3am</sub> ūdens horizontu ģeoloģiskais un hidroģeoloģiskais raksturojums.

### 2.1. Teritorijas ģeoloģiskā uzbūve

Devona nogulumieži veido lielāko daļu Latvijas ģeoloģiskās struktūras. Devona sistēmas nogulumu ir izplatīti visā Latvijas teritorijā – sauszemē, Rīgas līcī un Baltijas jūras akvatorijā. Slāņkopas kopējais biezums ir diezgan atšķirīgs dažādās nogulumu izplatības vietās – vislielākais tas ir Rietumlatvijā, Latvijas – Lietuvas depresijā, kur sasniedz 815 m, bet vismazākais biezums ir 100 – 220 m, kas konstatēts Latvijas ziemeļos un austrumdaļā un saistās ar vairākkārtīgu pēcdevona denudāciju (Brangulis u.c., 1998). Devona nogulumieži atsedzas zemkvartāra virsā lielākajā Latvijas daļā un tam pieder gandrīz visas pamatiežu derīgo izrakteņu atradnes, kā arī devona nogulumieži satur lielāko daļu Latvijas dzeramo pazemes ūdeņu resursu – Arukilas – Amatas un Pļaviņu – Amulas ūdens horizontu kompleksi (sīkāk aprakstīts apakšnodaļā 2.2. un 2.3.). Būtiska Devona nogulumu pazīme ir augsts smiltsiežu saturs, kas redzams, gan urbumu serdēs, gan atsegumos un norāda uz ievērojamu klastiskā materiāla pieplūdi devona sedimentācijas baseinos (Brangulis u.c., 1998; Куршс, 1975; Сорокин и др., 1981).

Latvijas devona nogulumu pēc ģeoloģiskā vecuma pārstāv visas trīs devona nodaļas (apakšējo, vidējo un augšējo) un visus septiņus stāvus – Lohkovas, Prāgas, Emsas, Eifeļa, Živetas, Franas un Famenas (Brangulis u.c., 1998). Latvijas devona sistēmu galvenokārt veido divu tipu nogulumu – klastiskie un karbonātiskie.

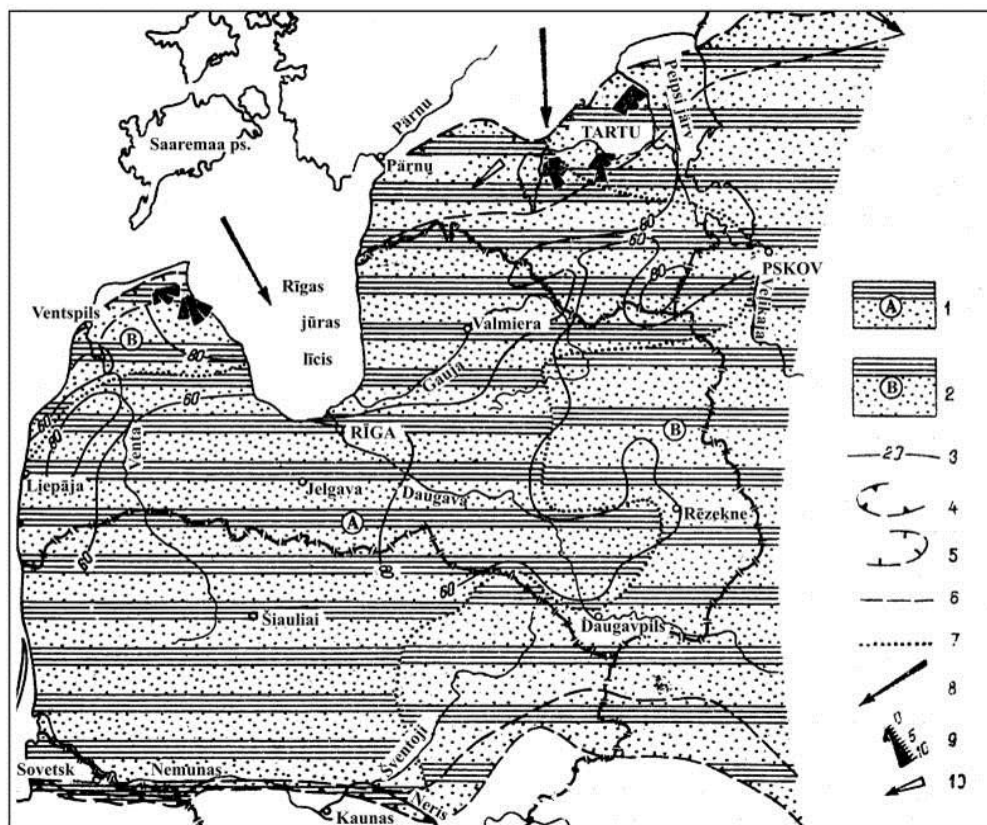
#### 2.1.1. Vidus devona Arukilas svīta

Eifeļa stāva griezuma augšdaļā, atbilstot, tā laika plašās jūras regresīvajam etapam – atrodas Arukilas svītas nogulumu. Šie nogulumu sastāv no sarkaniem klastiskajiem iežiem – smilšakmeņiem, aleirolītiem un māleim. Svītas bazālās daļas griezumos ir smiltsieži, tās apakšējo robežu velk pa bieza, parasti sarkana smilšakmeņu slāņa pamatni. Svītas augšdaļā



dominē smalkgraudaināki aleirītiski – mālaini ieži, kas norāda uz nogulumu sedimentācijas ciklisko raksturu (Brangulis u.c., 1998).

Svīta ir izplatīta gandrīz visā Latvijas teritorijā, izņemot jūras piekrasti Ziemeļkurzemē, kur tās nogulumi ledāja eksarācijas dēļ nav saglabājušies (2.1. attēls), (Куршс, 1975; Сорокин и др., 1981). Dabīgos svītas iežu atsegumus sastop tikai Kurzemes pussalas ziemeļos Slīteres Zilo kalnu kraujā (piemēram, Dāvida ala), Kaļķupītes krastos pie Puišu kalna un citur (Brangulis u.c., 1998).



2.1. attēls. Vidējā devona Arukilas svītas izplatība Latvijā un litofāciju zonu shēma (Куршс, 1975)

**Apzīmējumi:** 1 – aleirītu un smilšu, šelfa dziļūdens apstākļu zona; 2 – smilšu (krasi dominējošu) un aleirītu šelfa seklūdens zona; 3 – zemūdens deltu smilšu un mālu zona; 4 – izolīnija; 5 – mūsdienu Arukilas horizonta izplatības robežas, nosacīta ar pirmsperma izskalojuma virsmu; 6 – mūsdienu Arukilas horizonta izplatības robežas, nosacītas ar pirmskvartāra izskalojuma virsmu; 7 – daļēja pirmskvartāra izskalojuma virsmas robeža; 8 – litofāciju zonas robeža; 9 – drupu materiāla plūsmas virziens; 10 – rozēs diagramma slīpslāņoto slāņu krituma azimutam; 11 – slīpo slāņīšu krituma virziens

Drupu materiāla noneses apgabals, nogulumu veidošanās laikā, atradās ziemeļos, uz Baltijas vairoga, kas izsauca intensīvu smilšainā materiāla uzkrāšanos pie Baseina ziemeļu krasta, kā arī gultnes pacēlumu rajonā pie Baldones kāples un Viļakas vaļņa. Visā Latvijas teritorijā izņemot Viļakas valni un teritoriju uz austrumiem no tā, Arukilas svītas nogulumi satur karbonātus, proti, smilšakmeņos ir karbonātu cements, bet aleirolīts sastopami ieapaļi dolomīta un kalcīta sakopojumi un dzīslīņas. Arukilas sedimentācijas baseins bijis pārmantots no Narvas laikposma, taču ūdens sāļums tajā bija zemāks. Tikai Latvijas DR daļā sastopamie



nogulumi reizēm satur diaģenētisku dolomītu, kas liecina par paaugstinātu ūdens sāļumu (Brangulis u.c., 1998). Dēļ sanesu materiāla pieplūdes un baseina hidrodinamiskajiem, ģeoloģiskajiem apstākļiem, nogulumi iedalāmi divās litofaciālajās zonās – nosacītā šelfa dziļūdens zonā ar dominējošiem aleirītiskajiem un smilšainajiem nogulumiem, kas izplatīta visā Latvijas centrālajā daļā un Vidzemē, un nosacītā šelfa seklūdens zonā ar dominējošiem smilšainajiem un aleirītiskajiem nogulumiem, kas izplatīta šaurā apgabalā Kurzemes ZR un Latvijas A-DA daļā (2.1. attēls), (Куршс, 1975).

Svītas biezums parasti mainās robežās no 60 – 80 m. Maksimālais nogulumu biezums konstatēts Latvijas ziemeļrietumu daļā, kas atradās vistuvāk pie tā laika drupu materiāla cilmavota – Baltijas vairoga, bet minimālais slāņkopas biezums ir mazāks par 40 m un tas raksturīgs nogulumu izplatības austrumu rajoniem (Куршс, 1975; Brangulis u.c., 1998).

Arukilas svītai praktiska nozīme kā pazemes dzeramo ūdeņu avotam ir tikai Kurzemes pussalas ziemeļu daļā, kur šīs svītas nogulumi iegūļ zem kvartāra nogulumiem (Brangulis u.c., 1998).

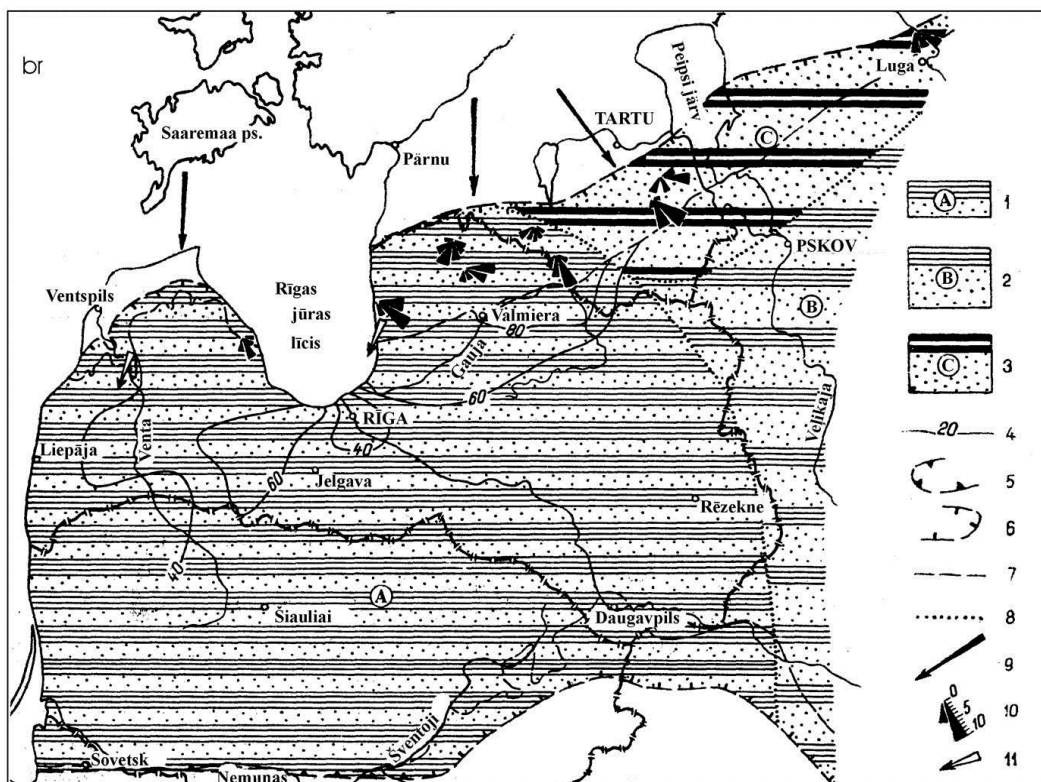
Zem Arukilas svītas zemāk iegūļ Narvas svītas ūdensnecaurlaidīgie ieži, bet augstāk devona slāņkopā atrodas Burtnieku svītas nogulumi.

### **2.1.2. Vidus devona Burtnieku svīta**

Burtnieku svītas nogulumu uzkrāšanās laikā Latvijā bez būtiska pārtraukuma turpinājās klastisko nogulumu uzkrāšanās. Burtnieku svītas nogulumiem, tāpat kā griezumā zemāk pagulošajiem Arukilas svītas nogulumiem ir cikliska uzbūve. Svītas pamatnē ir sarkani smilšakmeņi, bet augšējā daļā – mālaini un aleirītiski ieži. Visā slāņkopā iežos sastopams karbonātu piemaisījums. Smilšakmeņos sastopams bazāls, poru un bieži arī poikilitisks cements, kas veido lodītes un to ķekarus, retāk masīvus slāņus, bet aleirītos un mālos sastopami ieapaļi, zaraini sakopojumi un dzīslīņas. Karbonātiskie veidojumi bieži šķērso slāņojumu, kas liecina par to sekundāru pārgrupēšanos. Savukārt karbonātu satura izmaiņu sakritība ar sedimentācijas baseina faciālo zonalitāti un līdzīga izplatība smilšainajā un mālainajā svītas daļā liecina, ka jau sākotnēji klastiskajos nogulumos ir bijis karbonātu piejaukums (Brangulis u.c., 1998).

Burtnieku svītas nogulumi izplatīti praktiski visā Latvijas teritorijā, izņemot Kurzemes pašu ziemeļrietumu daļu (Куршс, 1975; Сорокин и др., 1981). Nogulumi gar svītas izplatības ziemeļu robežu veido garu dabīgo atsegumu joslu. Vidzemē šo nogulumu atsegumi sastopami jūras piekrastē, Salacas un Gaujas krastos, bet kurzemē Rojas upes krastos (Brangulis u.c., 1998).

Burtnieku svītas klastiskie nogulumieži uzkrājušies seklas jūras piekrastē, ar pazeminātu ūdens sāļumu, jo baseinā no Z ieplūdušas upes. No Z ar upēm baseinā ticis ienests liels apjoms smilšainā un mālainā materiāla. Smilšainie nogulumu baseinā koncentrējas deltu rajonā pie sanešu avota nogāzes, kas tieši neskar Latvijas teritoriju, kā arī Latvijas sedlienes austrumu teritorijā, bet mālainie nogulumu galvenokārt izgulsnējušies baseina dienvidrietumos Latvijas – Lietuvas depresijā (2.2. attēls), (Brangulis u.c., 1998; Кыршс, 1975).



2.2. attēls. Vidējā devona Burtnieku svītas izplatība Latvijā un litofāciju zonu shēma (Кыршс, 1975)

**Apzīmējumi:** 1 – aleirītu un smilšu, šelfa dziļūdens apstākļu zona; 2 – smilšu (krasi dominējošu) un aleirītu šelfa seklūdens zona; 3 – zemūdens deltu smilšu un mālu zona; 4 – izolīnija; 5 – mūsdienu Burtnieku horizonta izplatības robežas, nosacīta ar pirmsperma izskalojuma virsmu; 6 – mūsdienu Burtnieku horizonta izplatības robežas, nosacītas ar pirmskvartāra izskalojuma virsmu; 7 – daļēja pirmskvartāra izskalojuma virsmas robeža; 8 – litofāciju zonas robeža; 9 – drupu materiāla plūsmas virziens; 10 – rozēs diagramma slīpslāņoto slāņu krituma azimutam; 11 – slīpo slāņīšu krituma virziens

Svītas biezums prasti svārstās 40 līdz 60 m robežās. Maksimālie biezumi konstatēti apvidos gar nogulumu izplatības ziemeļu robežu, kas atradās tuvāk drupu materiāla sanešu avotam (ibid).

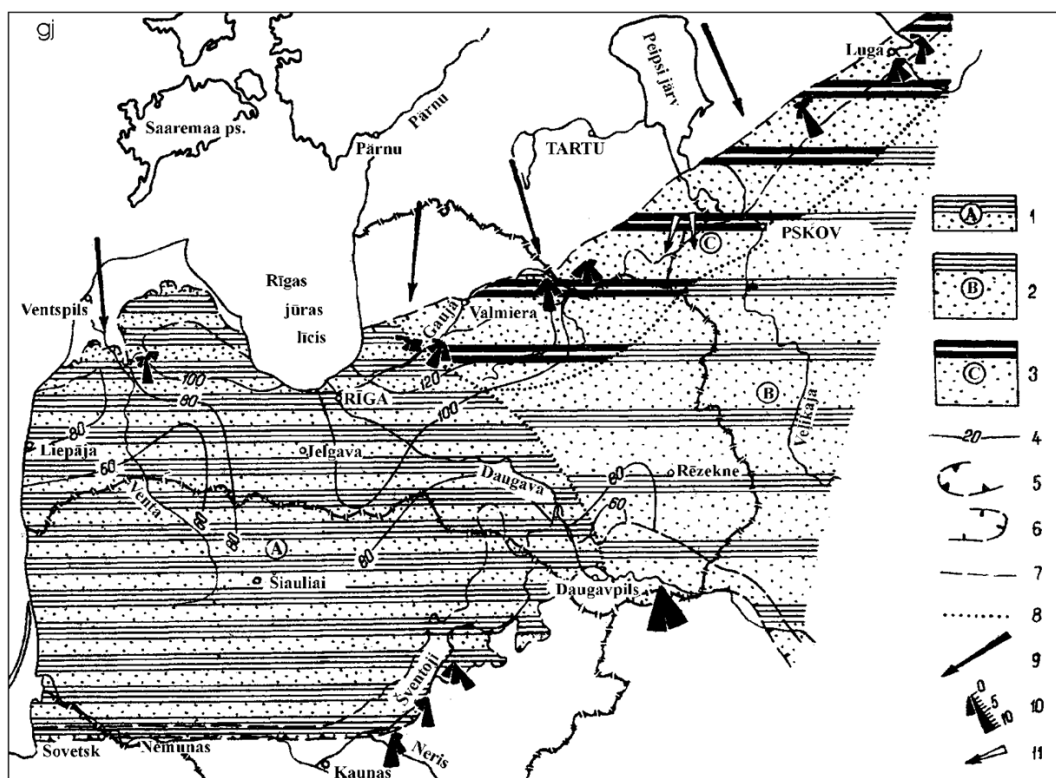
Burtnieku svītas nogulumu, kopā ar Arukilas svītas nogulumiem veido pazemes ūdens horizontu, kuru izmanto Ventspils, Daugavpils un Valmieras pilsētu ūdensapgādē (Levins u.c., 1998).

### 2.1.3. Augšdevona Gaujas svīta

Gaujas svītas nogulumu veido Franas stāva pašu apakšējo daļu un sastāv no klastiskajiem nogulumiem ar ciklisku griezuma uzbūvi. Svītas pamatnē ir vidēji un smalkgraudaini smilšakmeņi. Griezuma augšējā daļā dominē aleirolīti un māli. Gaujas svītas nogulumus sastop lielākajā daļā Latvijas sauszemes teritorijas un šelfā. Nogulumu nav sastopami valsts ziemeļos un dienvidaustrumos, kur tie tikuši eksarēti ledāja darbības rezultātā (Brangulis u.c., 1998).

Gaujas svītas smilšakmeņi pārsvarā ir smalkgraudaini un vidējgraudaini un parasti tie ir slīpslāņoti, bieži satur aleirolīta un māla, retāk kvarca oļus. Rietumlatvijā svītas ieži ir sarkani vai dzeltenīgi rūsgani vietām ar karbonātisku, parasti plankumainu cementu. Savukārt Austrumlatvijā Gaujas svītas smilšakmeņi ir gaiši pelēki un nedaudz rupjgraudaināki ar augstāku kvarca saturu, bet cementu šeit veido reģenerēts laukšpats, kā arī nedaudz, mazāk par 2 %, mālvielas. Karbonātiskais cements ir sastopams ļoti reti. Austrumlatvijā salīdzinot ar Rietumlatviju ir arī atšķirīgs smago, aksesoro minerālu sastāvs (Brangulis u.c., 1998).

Kopumā Gaujas svītas nogulumieži veidojušies no ziemeļiem plūdušu upju deltu zemūdens nogāzēs un seklas jūras piekrastes zonā, kur bijis pazemināts ūdens sāļums. Dēļ drupu materiāla ieplūdes baseinā no Z un baseina hidrodinamiskajiem apstākļiem svītas nogulumos labi izdalāmas trīs litofāciju zonas (Куршс, 1975) ar tiem raksturīgiem nogulumiem (2.3. attēls). Nogulumu ziemeļu izplatības daļā, Vidzemē sastopami zemūdens deltās uzkrājušies smilšainie un mālainie nogulumi (2.3. attēls), kuros sastopamas arī šajā reģionā svītas griezuma augšdaļā sastop pelēku, sīkdispersu mālu lēcas, kas izgulsnējušās uz deltu marīnajām nogāzēm noslīdeņu depresijās. Latvijas austrumu un dienvidaustrumu daļā sastopami dominējoši smilšainie un aleirītu nogulumi, kas uzkrājušies šelfa seklūdens daļā, bet centrālajā Latvijas daļā un Kurzemē sastopami aleirītu un smilšu nogulumi, kas uzkrājušies šelfa dziļūdens apstākļos (2.3. attēls) (Куршс, 1975).



2.3. attēls. Augšējā devona Gaujas svītas izplatība Latvijā un litofāciju zonu shēma (Куршс, 1975)

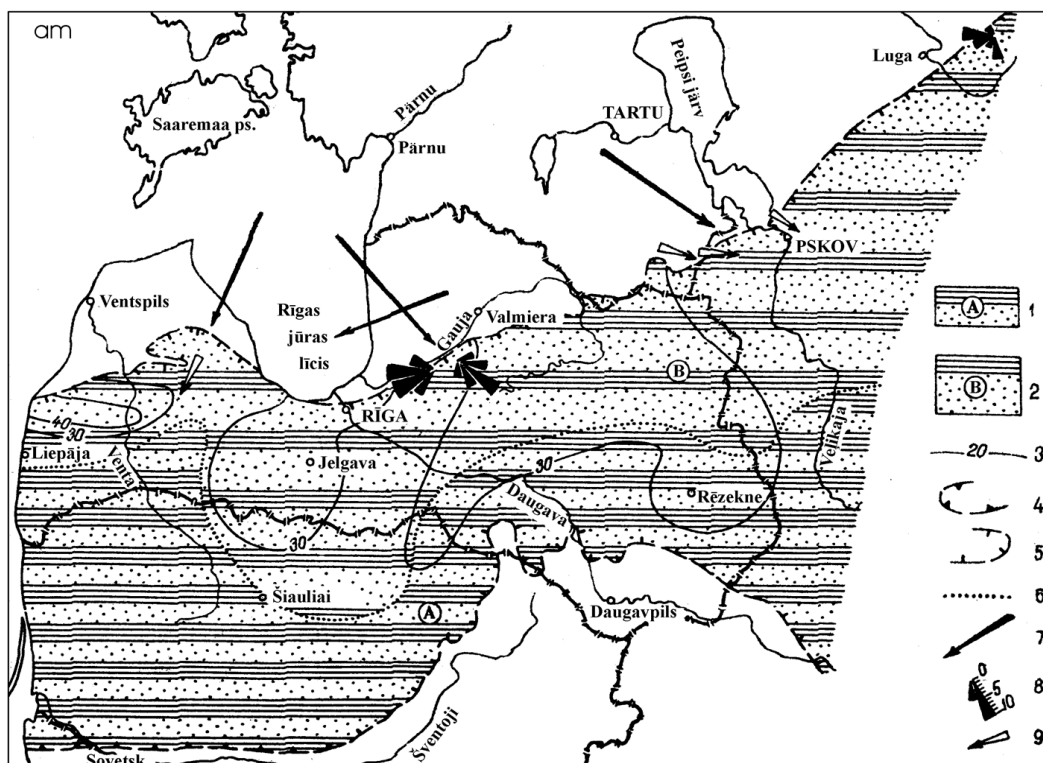
**Apzīmējumi:** 1 – aleirītu un smilšu, šelfa dziļūdens apstākļu zona; 2 – smilšu (krasi dominējošu) un aleirītu šelfa seklūdens zona; 3 – zemūdens deltu smilšu un mālu zona; 4 – izolīnija; 5 – mūsdienu Gaujas horizonta izplatības robežas, nosacīta ar pirmsperma izskalojuma virsmu; 6 – mūsdienu Gaujas horizonta izplatības robežas, nosacītas ar pirmskvartāra izskalojuma virsmu; 7 – daļēja pirmskvartāra izskalojuma virsmas robeža; 8 – litofāciju zonas robeža; 9 – drupu materiāla plūsmas virziens; 10 – rozēs diagramma slīpslāņoto slāņu krituma azimutam; 11 – slīpo slāņīšu krituma virziens

Gaujas svītas biezums mainās robežās no 59 līdz 119 m, biezumam pieaugot no dienvidrietumiem uz ziemeļiem, no kurienes sedimentācijas baseinā tika ienests drupu materiāls. Drupu materiāla cilmavots atradās Baltijas vairoga rajonā. Svītas nogulumiem ir liela praktiska nozīme. Smiltis un mālus, kā derīgos izrakteņus izmanto stiklrūpniecībā, metalurģijā (veidņiem) un keramiskajā rūpniecībā. Gaujas svītas smilšakmeņi ir arī ļoti nozīmīgs dzeramo ūdeņu ieguves avots. Daudzu lielo pilsētu – Rīgas, Aizkraukles, Bauskas, Jelgavas, Balvu, Preiļu, Valkas ūdensgūtnes ir ierīkotas šajā horizontā (Levins u.c., 1998).

#### 2.1.4. Augšdevona Amatas svīta

Tāpat kā iepriekš aprakstītie Gaujas svītas nogulumi, arī Amatas svītas nogulumi veidojušies devona jūra transgresijas laikā. Svītai raksturīgi pelēki un dzeltenīgi smalkgraudaini smilšakmeņi. Smilšakmeņos bieži sastop cietus veidojumus ar kalcīta un dolomīta cementu, kas radušies pēcsedimentācijas procesos, karbonātu migrācijas rezultātā. Smilšakmeņi ar kalcīta cementu veido gaišpelēkas un sārtas lodītes un to ķekarus, bet smilšakmeņi ar dolomīta cementu – dzeltenīga un sārtas plātnes, retāk dzīslas. Smiltis

izgulsnējusies sekla jūras piekrastes zonā ar pastāvošām mainīga virziena ūdens straumēm. Samazinoties baseina hidrodinamiskajai aktivitātei, notikusi mālaini aleirītiska materiāla izgulsnēšanās, veidojoties sarkanbrūniem māliem un aleirolītiem, kas ir otrs dominējošais Amatas svīta nogulumu tips (Brangulis u.c., 1998). Rupjgraudainākie Amatas svītas nogulmi, kas uzkrājušies šelfa seklūdens daļā, svītas robežās, Latvijā, izplatīti teritorijas ziemeļrietumos, visā centrālajā daļā un ziemeļaustrumos, bet smalkgraudainākie nogulumi – aleirīti un smiltis, kas uzkrājušies dziļākā baseina daļā sastopami teritorijas pašos dienvidrietumos uz dienvidaustrumiem no centrālās daļas (2.4. attēls) (Курш, 1975).



2.4. attēls. Augšējā devona Amatas svītas izplatība Latvijā un litofāciju zonu shēma (Курш, 1975)

**Apzīmējumi:** 1 – aleirītu un smilšu, šelfa dziļūdens apstākļu zona; 2 – smilšu (krasi dominējošu) un aleirītu šelfa seklūdens zona; 3 - izolīnija; 4 – mūsdienu Amatas horizonta izplatības robežas, nosacīta ar pirmsperma izskalojuma virsmu; 5 – mūsdienu Amatas horizonta izplatības robežas, nosacītas ar pirmskvartāra izskalojuma virsmu; 6 – litofāciju zonas robeža; 7 – drupu materiāla plūsmas virziens; 8 – rozes diagramma slīpslāņoto slāņu krituma azimutam; 9 – slīpo slāņīšu krituma virziens

Amatas svīta biezums, atšķirībā no iepriekš aprakstītajām Arukilas, Burtnieku un Gaujas svītām ir samērā pastāvīgs un mainās 20 – 30 m robežās. Maksimālais slāņkopas biezums ir vairāk kā 40 m un tas konstatēts divos apgabalos pie svītas nogulumu izplatības robežas – Latvijas rietumos un ziemeļaustrumos (ibid).

Svītas nogulumu praktiskā nozīme nav liela. Ūdensapgādes urbumus šajā svītā bieži neierīko tādēļ, ka smalkgraudainie ieži rada urbumu smilšošanu (Brangulis u.c., 1998).

## 2.2. Teritorijas hidroģeoloģiskie apstākļi

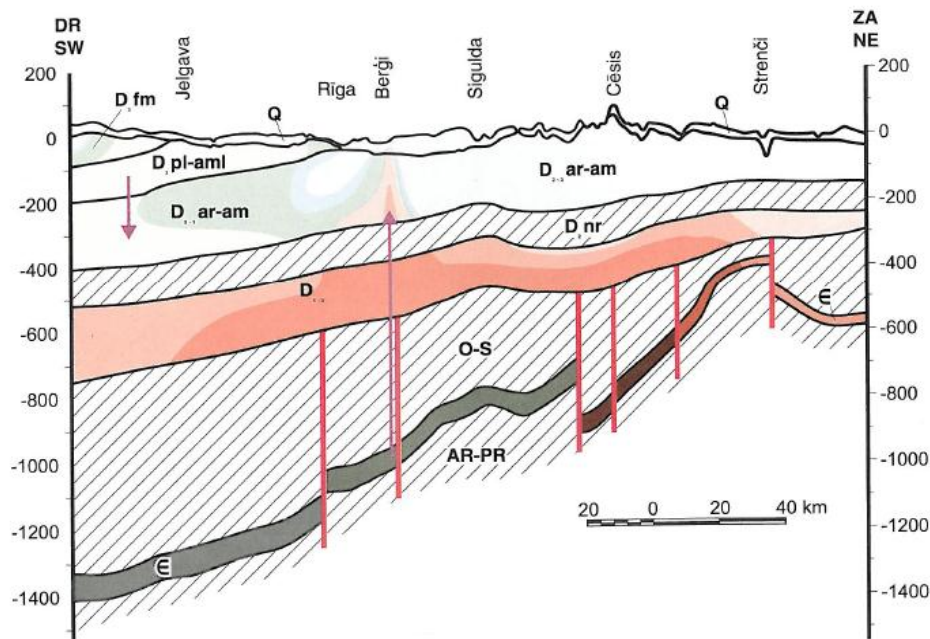
Latvijas teritorija veido daļu no Baltijas artēziskā baseina (BAB). Baltijas artēziskais baseins atrodas pirmskembrija Austrumeiropas platformas rietumu daļā (Иодказис, 1989). Baltijas artēziskais baseins saistīts ar ievērojamu platformas malas ielieci jeb Baltijas sineklīzi, tāpēc baseina kopējā griezumā vērojama slāņu ieguluma dziļuma palielināšanās virzienā uz teritorijas dienvidrietumiem. Ar nogulumiežu ieguluma dziļuma pieaugumu saistītas arī pazemes ūdeņu īpašību izmaiņas hidroģeoloģiskajā griezumā ūdens horizontu ietvaros (Дзилна, 1970; Биčko u.c., 1985).

Baseina hidroģeoloģisko griezumu veido ūdeni saturošu un ūdeni vāji caurlaidīgu slāņkopu mija. Ūdens daudzums un ūdens kvalitāte dažādos slāņus ir visai atšķirīga (Levins u.c., 1998).

Pēc nogulumu ūdenscaurlaidības un litoloģiskā sastāva viendabīgas slāņkopas, kuras vienu no otras atdala vāji caurlaidīgi iežu slāņi jeb sprotslāņi, tiek apvienotas ūdens horizontos. Savukārt, ūdens horizonti ar relatīvi līdzīgiem rādītājiem, kas griezumā iegul viens virs otra un ir hidrauliski savstarpēji sasaistīti, tiek apvienoti ūdens horizontu kompleksos (2.1. tabula, 2.5. attēls).

Vadoties no ūdens apmaiņas intensitātes un ūdens ķīmiskā sastāva, artēziskā baseina griezumā var izdalīt trīs hidroģeoloģiskās zonas (2.5. attēls), (Levins u.c., 1998; Дзилна, 1970):

- Aktīvās ūdens apmaiņas zona, kas satur saldūdeņus;
- Palēninātās ūdens apmaiņas zona, kas satur sāļūdeņus;
- Lēnas ūdens apmaiņas jeb „stagnantā” zona, kas satur sālsūdeņus.



2.5. attēls. Latvijas hidroģeoloģiskais griezumš (Levins u.c., 1998)

**Apzīmējumi:** Ūdens horizontu kompleksi: Q – kvartāra horizonts (smilts, aleirīts); D3 fm – famenas horizonts (smilšakmens, dolomīts); D3 pl-aml – Pļaviņu-Amulas horizontu komplekss (dolomīts, kaļķakmens, ģipsis); D2-3 ar-am – Arukilas – Amatas (smilšakmens, aleirolīts); D1-2 – apakšē'jais – vidusdevons (smilšakmens, aleirolīts); E – kembrijs (smilšakmens, aleirolīts);

Vāji caurlaidīgie ieži jeb sprostslnāņi: D2 nr – Narvas sprostslnānis (merģelis); O-S – ordoviks un silūrs (merģelis, māls); AR-PR – arhajs un proterozojs (gneisi, granīti);

Par robežu starp hidroģeoloģiskajām zonām, tiek pieņemti, visā Latvijas teritorijā izplatītie reģionālie sprostslnāņi, kas aprūrina ūdens apmaiņu griezumā. Tomēr ūdens apmaiņa starp hidroģeoloģiskajām zonām notiek tektonisko lūzumu vietās un hidroģeoloģiskā griezuma stratifikācija pēc ūdens apmaiņas intensitātes un ūdens ķīmiskā sastāva ne vienmēr sakrīt (Levins u.c., 1998).

### 2.2.1. Aktīvās ūdens apmaiņas zona

Aktīvās ūdens apmaiņas zonā apvienoti kvartāra un pirmskvartāra ūdens kompleksi no zemes virsmas līdz pirmajam reģionālajam sprostslnānim. Aktīvās ūdens apmaiņas zonas biezums svārstās no dažiem metriem Ziemeļkurzemē līdz 600 m Liepājas rajona dienvidu daļā (Levins u.c., 1998).

Pirmo ūdens vāji caurlaidīgo sprostslnāni Latvijā veido vidusdevona Narvas svītas merģeļu un mālainie nogulumu, kuru biezums sasniedz pat 180 m (Levins u.c., 1998). Par sprostslnāņa izolējošo darbību liecina pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva krasās izmaiņas zem minētā sprostslnāņa.

Aktīvo pazemes ūdeņu apmaiņas zonu veido gan gruntsūdeņi, gan artēziskie ūdeņi. Gruntsūdeņi izplatīti visos kvartāra augšējajos, smilšainajos nogulumos. Gruntsūdeņi ir bezspiediena ūdeņi, to līmeņu dziļums leļākoties nepārsniedz 1 – 3 m (Levins u.c., 1998), bet

augstienēs līmeņa ieguluma dziļums ievērojami pieaug, un var sasniegt pat 30 metrus.. Kvartāra augšējo, smilšaino nogulumu pamatnē parasti atrodas ūdeni vāji caurlaidīgi morēnas smilšmāli un mālsmitis, dažos iecirkņos arī limnoglaciālie māli un aleirīti. Šie nogulumi atdala kvartāra un pirmskvartāra nogulumu ūdens kompleksus. Atsevišķos, lokālos iecirkņos šī sprostsliāņa nav un gruntsūdeņi ir hidrauliski saistīti ar artēziskajiem ūdeņiem (Levins u.c., 1998).

Artēziskie ūdeņi jeb spiedienūdeņi saistīti ar kvartāra starpmorēnu nogulumiem un dažāda vecuma pirmskvartāra iežiem. Atsedzot šādu ūdens slāni, ūdens līmenis ir augstāks par slāņa virsmu (Дзилна, 1970). Reljefa pazeminājumos artēzisko ūdeņu urbumi nereti fontanē.

Artēziskie ūdeņi atrodas smilšaino nogulumu porās un karbonātisko iežu plaisās un kavernās. Smilšakmeņu ūdens kompleksi (Arukilas – Amatas u.c.) saglabā savas kolektorās īpašības visā Latvijas teritorijā. Savukārt karbonātisko Pļaviņu – Amulas horizonta iežu apūdeņotība vērsumā būtiski atšķiras. Austrumlatvijā, kur komplekss iegul tieši zem kvartāra nogulumiem, dolomīti un kaļķakmeņi ir stipri plaisaini un kavernozi, līdz ar to tiem raksturīgas salīdzinoši ļoti augstas filtrācijas īpašības. Savukārt Dienvidkurzemē komplekss iegul ivērojamā dziļumā zem citiem pirmskvartāra nogulumiem, līdz ar to karbonātiskie nogulumi ir masīvi un vāji filtrējoši (Levins u.c., 1998).

Kvartāra, perma, karbona un devona nogulumos izdalīta virkne ūdens horizontu, kas apvienoti sešos galvenajos ūdens horizontu kompleksos (2.1. tabula) (Levins u.c., 1998). Visos aktīvās ūdens apmaiņas zonas pazemes ūdens horizontu kompleksos dominē hidroģēnkarbonātu kalcija tipa saldūdeņi, taču daudzviet ūdeņu ķīmisko sastāvu un kvalitāti ietekmē ģipša nogulumu klātbūtne ģeoloģiskajā griezumā (Levins u.c., 1998).

2.1. tabula.

**Latvijas hidroģeoloģiskā griezumā stratifikācija** (Levins u.c., 1998)

Hidroģeoloģiskās zonas	Pazemes ūdens kompleksi	Galvenie ūdens horizonti	Dominējošie nogulumi	
Aktīvās ūdens apmaiņas zona	Kvartāra Q		Smilts, smilšmāls u.c.	
		Augšperma P <sub>2</sub>	Kaļķakmens, dolomīts	
		Apakškarbona C <sub>1</sub>	Smilšakmens, dolomīts	
	Famena, D <sub>3</sub> fm	Mūru – Ketleru D <sub>3</sub> mr-ktl		
		Jonišķu – Akmenes D <sub>3</sub> jn-ak		Dolomīts, smilšakmens
	Pļaviņu – Amulas, D <sub>3</sub> pl-aml	Stipinu, D <sub>3</sub> st		Dolomīts, merģelis
		Katlešu – Ogres, D <sub>3</sub> kt-og		Smilšakmens, merģelis
		Daugavas, D <sub>3</sub> dg		Dolomīts
		Salaspils, D <sub>3</sub> slp		Merģelis, ģipsis
		Pļaviņu, D <sub>3</sub> pl		Dolomīts
	Arukilas – Amatas, D <sub>2</sub> <sub>3</sub> ar-am	Amatas, D <sub>3</sub> am		Smilšakmens, aleirolīts
		Gaujas, D <sub>3</sub> gj		
Burtnieku, D <sub>2</sub> br				
Arukilas, D <sub>2</sub> ar				



Narvas sprostsplānis, D <sub>2nr</sub>		Merģelis, māls	
Palēninātās ūdens apmaiņas (sāļūdeņu) zona	Apakš un vidusdevona, D <sub>1-2</sub>	Pērnavas, D <sub>2pr</sub>	
		Rēzeknes, D <sub>2rz</sub>	
		Ķemeru, D <sub>1km</sub>	
		Gargždu, D <sub>1gr</sub>	
Ordovika un Silūra vāji caurlaidīgie nogulumi, O - S		Merģelis, masīvs kaļķakmens	
„Stagnanto” (sālsūdeņu) zona	Kembrija, Ē	Deimenu, Ē <sub>2dm</sub>	
		Cīrmās, Ē <sub>1-2cr</sub>	
		Tebras, Ē <sub>1-2tb</sub>	
	Lontovas ūdens vāji caurlaidīgie nogulumi Ē <sub>1ln</sub>		Māls
	Venda, V	Voronkas, V <sub>vt</sub>	
Gdovu, V <sub>gd</sub>			
Kraslavas, V <sub>kr</sub>			
Arhaja un Proterozoja ieži, AR - PR		Gneiss, granīts	

Sāļie pazemes ūdeņi aktīvās ūdens apmaiņas zonā izplatīti retāk. Sulfātu – kalcija tipa iesāļūdeņi ar sausni jeb mineralizāciju līdz 3 g/l visbiežāk sastopami Pļaviņu – Amulas ūdens horizontu kompleksā Latvija centrālajā un rietumu daļā. Mazākas mineralizācijas sulfātu – kalcija tipa ūdeņi sastopami arī Arukilas – Amatas un Famenas kompleksā Latvijas centrālajā un dienvidrietumu daļā. Sulfātu – kalcija tipa iesāļūdeņos bieži sastopams sērūdeņradis, tomēr parasti ļoti nelielā koncentrācijā (0, n- mg/l). Tikai divos iecirkņos – Baldonē un Ķemeros msērūdeņraža koncentrācija pašniedz 10 mg/l, maksimālā zināmā koncentrācija ir 60 – 65 mg/l (Levins u.c., 1998).

Atsevišķos lokālos iecirkņos Rīgas apkārtnē, Daugavpilī un Valmierā, tektonisko lūzumu zonās, Arukilas – Amatas kompleksā ir konstatēti hlorīdu – nātrija iesāļūdeņi ar kopējo mineralizāciju līdz 3,6 g/l. Šī tipa ūdeņi atrasti arī šaurā piejūras zonā kvartara nogulumos (Levins u.c., 1998), bet šī parādība skaidrojama ar jūras ūdens intrūziju pazemes ūdeņos nevis vertikālo starphorizontu pārteci.

### 2.2.2. Palēninātās ūdens apmaiņas zona

Palēninātās ūdens apmaiņas zona (2.1. tabula) ietver tikai apakšējā un vidus devona ūdens horizontu kompleksu, kas izplatīts visā Latvijas teritorijā. Kompleksu veido pārsvarā teigēno nogulumiežu – smilšakmeņu un aleirolītu slāņmija. Merģeļi un doomīti sastopami tikai griezumā apakšējā daļā. Kopējais nogulumu biezums svārstās no dažiem metriem Daugavpils rajonā līdz vairāk kā 200 m Liepājas apkārtnē (Levins u.c., 1998; Дзилна, 1970). Kompleksa virsma paaugstinās Z virzienā no 800 m Liepājas apkārtnē līdz apmēram 100 m Ziemeļkurzemē.

Lielākajā valsts teritorijas daļā apakš un vidusdevona pazemes ūdens komplekss satur hlorīdu – nātrija tipa sāļūdeņus ar mineralizāciju 3 – 10 g/l. Pazemes ūdeņu mineralizācija horizontu kompleksā pieaug, pieaugot horizontu kompleksa ieguluma dziļumam, virzienā no ziemeļiem uz dienvidrietumiem. Jāmin, ka tektonisko lūzumu zonās (Cēsis, Carnikava u.c.)

novērojama lēcienveidīga ūdens mineralizācijas palielināšanās 10 – 40 g/l. Šajās zonās pazemes ūdeņos pieaug hlorīda un bromīda saturs (Levins u.c., 1998).

Kā jau minēts iepriekš pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs un sāļu satura koncentrācija var ievērojami mainīties arī kompleksa griezumā, palielinoties kompleksu veidojošo nogulumiežu ieguluma dziļumam. Ūdens mineralizācijas starpība augšējā un apakšējā kompleksa daļās var sasniegt 30 g/l. Nelielā platībā Daugavpils rajonā sastopami sulfātu kalcija tipa ūdeņi ar mineralizāciju līdz 4.6 g/l (Levins u.c., 1998). Ūdensapgādei no šī kompleksa ūdeņiem izmantojami hidroģēnkarbonātu – kalcija tipa saldūdeņi, kas izplatīti tikai Ziemeļvidzemē. Pazemes ūdens horizontu kompleksam ir liela nozīme balneoloģijā. Tas satur kā galda minerālūdeņus, tā arī ārstnieciskos broma ūdeņus (*ibid*).

Apakš un vidusdevona pazemes ūdeņu kompleksa ūdeņiem raksturīgs augsts pjezometriskais spiediens, Rīgas rajonā urbumu pašizplūdes augstums sasniedz 40 m (Levins u.c., 1998).

Palēninātās ūdens apmaiņas zonu no stagnanto ūdeņu zonas atdala masīvie silūra un ordovika kaļķakmeņi un mergēļi. Šīs slāņkopas veido reģionālo sprostslāni un to kopējais biežums svārstās no 300 līdz 800 m (Levins u.c., 1998).

### **2.2.3. Lēnās ūdens apmaiņas jeb „Stagnantā” zona**

Stagnanto ūdeņu zona saistīta ar kembrija un venda (ediakara) klastisko nogulumu veidotajiem ūdens horizontiem, kuri ir izplatīti ļoti lielā dziļumā un satur sālsūdeņus ar mineralizāciju līdz 140 g/l. Paaugstinātas plaisainības zonās pazemes ūdeņi sastopami arī artēziskā baseina pamatnē esošajos arhaja un proterozoja iežos. Baltijas artēziskā baseina pamatnes daļā pazemes ūdeņu kustība notiek ļoti lēni, tādēļ minētā griezuma daļa tiek dēvēta par „stagnācijas” jeb lēnas ūdens apmaiņas zonu (Levins u.c., 1998).

Kembrija un venda ūdeņi saturošie klastiskie nogulumieži iegul tieši uz kristāliskā pamatklintāja iežiem. Pazemes ūdeņu kompleksa virsma dažādās Latvijas vietās iegul dziļumā no 400 līdz 1600 m (Levins u.c., 1998). Lontovas mālainie nogulumi šo hidroģeoloģisko zonu sadala divos – kembrija un venda ūdens horizontu kompleksos. Kembrija ūdens horizontu komplekss izplatīts visā Latvijā, Venda tikai Latgales reģionā. Nogulumu apūdeņotība ir visai neliela, bet vinmērīgi stabila visā Latvijas teritorijā (Levins u.c., 1998).

Artēziskā baseina pamatnē ir krasi izteikta bloku uzbūve. Bloku vertikālā dislokācija tektoniskajos lūzumos var sasniegt vairākus simtus metru, līdz ar to kembrija un venda ūdens horizontu komplekss ir sadalīts atsevišķos relatīvi izolētos blokos (2.5. attēls)

Pazemes ūdeņiem šajā kompleksā raksturīgs augsts pjezometriskais spiediens. Latvijas centrālajā un rietumu daļā urbumu pašizplūdes augstums var sasniegt 30 m (Levins u.c., 1998).

Kembrija un venda nogulumos izplatīti hlorīdu – nātrija tipa ūdeņi, kas klasificējami, kā sālsūdeņi. Tikai relatīvi nelielā teitorijā Ziemeļvidzemē šajā horizontu kompleksā sastopami arī sāļūdeņi. Reģionālā plānā ūdens mineralizācija paaugstinās līdz ar slāņa ieguluma dziļuma palielināšanos, proti, Latgalē rietumu un Kurzemē dienvidrietumu virzienā. Mineralizācijas izmaiņas nav pakāpeniskas, bet gan lēcienveidīgas un var pat ievērojami atšķirties blakus esošos tektoniskajos blokos. Šāda veida raksturīgs piemērs ir Alūksnes rajonā, kur tektoniskais lūzums daļa iecirkņus ar ūdens mineralizāciju Kembrija kompleksā attiecīgi 10 – 25 un 100 – 140 g/l (Levins u.c., 1998).

Sālsūdeņu īpatnība ir augsts bromīdu saturs, kas palielinās vienlaicīgi ar hlorīdu koncentrāciju. Vēl jāatzīmē, ka atsevišķos rajonos kompleksa ūdeņi klasificējami, kā termālie pazemes ūdeņi dēļ to paaugstinātās temperatūras.

Kembrija un venda pazemes ūdeņu horizontu kompleksa ūdeņus iespējams izmantot balneoloģijā, broma rūpnieciskai ieguvei un kā termālos pazemes ūdeņus (Levins u.c., 1998).

### **2.3. Vidus un augšdevona Arukilas - Amatas klastiskā ūdens horizontu kompleksa raksturojums**

Pētījumā apskatītie pazemes ūdens horizonti – D<sub>2ar</sub>, D<sub>2br</sub>, D<sub>3gj</sub> un D<sub>3am</sub> kopā veido vidus un augšdevona Arukilas - Amatas pazemes ūdens horizontu kompleksu (2.5. attēls, 2.1. tabula). Šie horizonti ietverti vienotā horizontu kompleksā, jo tie ir savstarpēji hidrauliski saistīti, kā arī litoloģiski ļoti līdzīgi, visi ietilpst aktīvās ūdens apmaiņas zonā un starp tiem pastāv arī zināma hidroģeoloģiskā saistība. Zemāk darbā dots vidus un augšdevona pazemes ūdens horizontu kompleksa hidroģeoloģiskais raksturojums.

Vidus un augšdevona pazemes ūdens horizontu komplekss kopumā izplatīts praktiski visā Latvijas teritorijā, ar izņēmumiem pašā Kurzemes ziemeļu daļā. Šajā horizontu kompleksā, vadoties pēc litoloģiski – petrogrāfiskā nogulumu sastāva un hidroģeoloģiskajām īpatnībām, apvienoti smilšainie, mālainie un aleirītiskie vidusdevona Arukilas un Burtnieku svītu un augšdevona Gaujas un Amatas svītu nogulumi (Bičko un Tracevskis, 1979). Šim kompleksam nereti tiek pieskaitīta arī Narvas pazemes ūdens horizonta augšējā mālainus smilšakmeņus saturošā rinda, kuras kopējais biezums mainās no 8 – 40 m (Bičko un Tracevskis, 1979).

Atsevišķos apgabals starp augšējā un vidējā devona pazemes ūdens horizontiem ir izdalāms ūdens mazcaurlaidīgu iežu slānis, kas sastāv no māliem un blīviem mālainiem

aleirītiem, ar kopējo biezumu 5 – 34 m. Iepriekšminētais ūdens mazcaurlaidīgo iežu slānis uzskatāms par lokālu sprostslnāni, kas rada šķēršļus brīvai ūdensapmaiņai visā ūdens horizontu kompleksa griezumā un veicina hidroķīmisko inversiju horizontu kompleksa iekšienē (Bičko un Tracevskis, 1979). Šādi sprostslnāni starp horizontiem nav izsekojami visā valsts teritorijā, kas ļauj apskatīt vidus un augšdevona pazemes ūdens horizontus, kā vienu veselu ūdens horizontu kompleksu (Bičko un Tracevskis, 1979).

Maksimālais horizontu kompleksa nogulumu biezums konstatēts Latvijas centrālajā, dienvidrietumu un ziemeļu daļā, kur biezums attiecīgi mainās no 360 līdz 250 un 310 m. Latvijas ziemeļdaļā, kur kompleksa nogulumi atsedzas zemkvartāra virsmā un, kur ledāja eksarācijas dēļ saglabājušies tikai vidusdevona apakšējās daļas nogulumieži, kompleksa biezums ievērojami samazinās līdz 10 – 20 m (Bičko un Tracevskis, 1979).

Arukilas – Amatas pazemes ūdens horizontu komplekss sastāv no piekrastes – kontinentāliem veidojumiem, kuru ģeoloģiskajā griezumā vērojama likumsakarīga smilšakmeņu, aleirolītu un mālu slāņmija, kur smalkgraudainā un mālainā materiāla ir procentuāli vairāk nekā rupjgraudainā (Bičko un Tracevskis, 1979).

Par izteiktiem pazemes ūdens nesējslnāņiem parasti kalpo smilšakmeņi, kas visā laterālajā un vertikālajā izplatības teritorijā veido kā atsevišķus starpslnāņus, tā arī ievērojamas slāņkopas ar nogulumiežu biezumu līdz 30 m (Bičko un Tracevskis, 1979). Augšdevona ūdens horizontos smilšakmeņi vairāk vai mazāk vienmērīgi izplatīti visā apskatāmajā teritorijā un veido vidēji 60 – 70% no kopējā griezuma. Tostarp jāpiemin, ka novērojama neliela smilšainā materiāla satura palielināšanās virzienā no Z uz A. Visbiežākā no horizontu kompleksa smilšakmeņu slāņkopām sastopama augšdevona ūdens horizonta apakšējā daļā un tās biezums mainās no 15 – 30 m (Bičko un Tracevskis, 1979).

Horizontu kompleksa vidusdevona daļā, smilšakmeņu saturs ir mazāks nekā augšdevona daļā un sastāda apmēram 50 – 60% no horizonta kopējā griezuma. Vidusdevona horizontu ietvaros smilšakmeņu satura pieaugums konstatēts virzienā no valsts rietumiem (50 – 60%) uz dienvidaustrumiem (72 – 95%) (Bičko un Tracevskis, 1979).

Arukilas – Amatas ūdens horizontu kompleksa konfigurācija ģeoloģiskajā struktūrā ir salīdzinoši komplicēta (Bičko un Tracevskis, 1979). Kompleksa virsmas ieguluma dziļums svārstās no 0 m līdz pat vairāk nekā 500 m no Zemes virsmas, virzienā no teritorijas ziemeļiem – ziemeļaustrumiem uz dienvidiem un rietumiem ar nelieliem izņēmumiem augstieņu teritorijās un tektonisko lūzumu zonās (ibid).

Pazemes ūdens horizontu kompleksu no zemāk un augstāk iegulošiem horizontu kompleksiem norobežo ūdens mazcaurlaidīgi sprostslnāni. Horizontu kompleksu no augstāk iegulošā Pļaviņu – Amulas horizontu kompleksa norobežo mālu un mālainu mergeļu

nogulumi, kas izplatīti iepriekšminētā kompleksa pamatnē. Teritorijās, kur komplekss atrodas zemkvartāra virsmā, pārsedzošo sprostsplāni veido kvartāra ūdens ūdensmazcaurlaidīgie nogulumi, taču šajās teritorijās ir lokāli iecirkņi, kur kompleksu sedz kvartāra ūdenscaurlaidīgie nogulumi (Bičko un Tracevskis, 1979). Horizontu kompleksa apakšējo ūdens mazcaurlaidīgo robežu veido Narvas reģionālā sprostsplāna māli un merģeļi, kuru vidējais kopējais biežums svārstās ap 100 m (Bičko un Tracevskis, 1979).

Kompleksa statisko ūdens līmeņu ieguluma dziļums teritorijā mainās atkarībā no apvidus reljefa. Paši dziļākie ūdens līmeņi fiksēti augstienēs, kur kvartāra nogulumu slāņkopa sasniedz ievērojamu biežumu (vairāk kā 100 m Vidzemes augstienē). Upju ielejās un hipsometriski zemās teritorijās horizonta pjezometriskais ūdens līmenis atrodas ievērojami tuvāk Zemes virsmai. Rīgas jūras līča piekrastē un lielo upju – Daugava, Gauja, Venta u.c., ielejās nereti sastopami horizontā ierīkoti fontanējoši urbumi. Līmeņu starpība starp augšējā un vidusdevona pazemes ūdens horizontiem, parasti nepārsniedz 1 metra robežas (Bičko un Tracevskis, 1979). Izņēmums ir augstienes, kur izplatīti kompleksa horizontu papildināšanās apgabali, kā arī teritorijās, kur kompleksu aktīvi izmanto ūdensapgādē (ibid).

Galvenie kompleksa pazemes ūdeņu atslodzes apgabali ir Baltijas jūra un Rīgas jūras līcis, daļēji kompleksa atslodzē piedalās arī Daugavas, Gaujas un Lielupes ielejas.

Arukilas – Amatas pazemes ūdens horizontu kompleksu ļoti plaši izmanto ūdensapgādē. Vislabāk apūdeņotais horizonts ir augšdevona apakšējā daļa jeb Gaujas horizonts, bet augšējā daļa jeb Amatas horizonts dēļ to veidojošā smalkgraudainā materiāla ir ar salīdzinoši sliktākām ūdensvadāmības īpašībām. Arī vidusdevona Burtnieku un Arukilas horizonti nav tik ūdensbagāti kā Gaujas horizonts, kas ir skaidrojams ar smalkākiem horizonta nogulumiežiem un ūdens mazcaurlaidīgo nogulumu biežuma pieaugumu.

Kompleksa kopējā ūdensvadāmība ir ievērojami liela, sasniedzot pat 900 – 1200 m<sup>2</sup>/dnn. Kompleksa smilšakmeņu vidējais filtrācijas koeficients dažādās horizonta vietās svārstās robežās no 3 - 8 līdz 10 - 15 m/dnn (Bičko un Tracevskis, 1979; Bičko u.c., 1985).

Arukilas – Amatas horizontu kompleksa filtrācijas koeficienti visā valsts teritorijā mainās ļoti nenoteikti – visbiežāk tie mainās robežās no 3 – 8 m/dnn, asevišķos gadījumos no 10 – 15 m/dnn, bet pārsvarā tie ir 5 – 6 m/dnn (Bičko un Tracevskis, 1979). Smalkgraudainos kompleksa nogulumiežus, kas izplatīti Amata horizontā raksturo mazāki filtrācijas koeficienti, vidēji 2 – 4 m/dnn, bet Gaujas horizontu vairāk raksturo filtrācijas koeficienti ar vidējām vērtībām no 7 līdz 15 m/dnn (vietām 13 – 15 m/dnn). Vidus devona – Burtnieku un Arukilas horizontos vidējās fiksētās filtrācijas koeficientu vērtības mainās no 4 – 7 m/dnn. Starp horizonta kompleksiem ir novērojamas nelielas koeficientu atšķirības (Bičko u.c., 1985).

Kopējās kompleksa filtrācijas filtrācijas īpašības pasliktinās un līdz ar to filtrācijas koeficientu vērtības samazinās virzienā no teritorijas Z-ZA uz D un DR, kas sastās ar kompleksa virsmas ieguluma dziļuma pieaugumu un, līdz ar to, nogulumiežu blīvuma pieaugumu (Bičko u.c., 1985).

### 3. NOGULUMU FILTRĀCIJAS ĪPAŠĪBAS

Pazemes ūdeņi, to dabiskajā vidē, atrodas nepārtrauktā kustībā, kura ir pakārtota noteiktiem hidroģeoloģiskiem principiem. Viens no būtiskākajiem parametriem, kas raksturo šķidrums kustību iežos jeb nogulumu spēju laist cauri šķidrumu – filtrācijas īpašības ir filtrācijas koeficients (turpmāk tekstā arī  $K$ ). Svarīgs parametrs ir arī caurplūdes vai ūdensvadāmības koeficients ( $T$ ), kas apraksta nogulumu spēju filtrēt ūdeni noteiktos hidroģeoloģiskos apstākļos (Todd and Mays, 2005) un caurlaidības koeficients ( $k_0$ ), kas apskata filtrācijas koeficienta un filtrējošā šķidrums īpašību sakarības (Brassington, 2007).

#### 3.1. Filtrācijas koeficients ( $K$ ) un to ietekmējošie faktori

Filtrācijas koeficients raksturo nogulumu un iežu spēju laist cauri jeb filtrēt ūdeni, kas ir atkarīga no poru un plaisu izmēriem, kā arī filtrējošā šķidrums īpašībām. Filtrācijas koeficients tiek izmantots pazemes ūdeņu hidroģeoloģijā, praktiskajos darbos, kur dominējošais šķidrums ir ūdens un to izsaka kā attāluma un laika attiecību (Todd and Mays, 2005). Filtrācijas koeficientu iespējams noteikt eksperimentāli uz lauka, laboratorijā ar filtrācijas iekārtu palīdzību vai, zinot materiāla īpašības, aprēķināt ar matemātiskiem vienādojumiem. Filtrācijas koeficients ir aprakstīts Darsī likumā, kas viendimensionālai, vertikālai plūsmai ir rakstāms šādi:

$$U = -k \frac{\Delta h}{\Delta z}, \quad (3.1)$$

Kur:  $U$  – ātrums ar kādu šķidrums filtrējas caur noteiktu laukuma vienību (m/dnn);

$-k$  – filtrācijas koeficients (m/dnn);

$\Delta h$  – ūdens līmeņu starpība (m);

$\Delta z$  – vertikālais filtrācijas ceļa garums (m) (RESRAD, bez dat.).

Filtrācijas koeficients nosaka iežos esošā šķidrums uzvedību pie dažādiem specifiskiem nosacījumiem. Jo īpaši filtrācijas koeficients nosaka iežos esošā šķidrums spēju plūst cauri iežu sistēmai, pie noteikta hidrauliskā gradienta (RESRAD, bez dat.).

Filtrācijas koeficients ir atkarīgs no materiāla daļiņu izmēra, no nogulumu matricas virsmas, nogulumos esošā šķidrums veida, kā arī no nogulumu relatīvā piesātinājuma ar ūdeni. Svarīgākās īpašības, kas attiecas uz nogulumu matrici ir poru izmērs un izvietojums, poru forma, izliekums, virsmas īpatnības un porainība. Visbūtiskākās šķidrums īpašības, kas ietekmē filtrācijas koeficientu ir šķidrums blīvums un viskozitāte (RESRAD, bez dat.).

Filtrācijas koeficienta vērtības piesātinātos iežos, atkarībā no materiāla, var mainīties ļoti plašā vērtību diapazonā. Vērtību variācijas nosaka atšķirības materiāla granulometriskajā sastāvā, blīvumā un konsolidētībā, būtiski ir arī materiāla tekstūra, šķīrotības pakāpe un

smalko daļiņu procentuālais piejaukums. To cik liela ir filtrācijas koeficientu vērtību amplitūda, zināmā mērā, ietekmē arī ģeoloģisko veidojumu neviendabība (RESRAD, bez dat.). Balstoties uz ģeoloģiskās vides neviendabību  $K$  vērtības var būt ļoti mainīgas kā dažādos nogulumu slāņos, tā dažādās vietās viena slāņa ietvaros (Ritzema, 1994). Kā arī ģeoloģisko veidojumu telpiskās neviendabības dēļ, filtrācijas koeficienta vērtības mainās dažādās nogulumu masīva vietās neviendabība (RESRAD, bez dat.) un atkarībā no virziena attiecības, kāda mērījumi veikti – paralēli vai perpendikulāri pret nogulumiežu slāņa virsmu.

Šādas ģeoloģiskās formācijas sauc par heterogēnām jeb anizotropām. Bet ja iežu īpašības ir nemainīgas telpā, filtrācijas koeficients nemainās un nav atkarīgs ne no novietojuma, ne virziena, kādā tas noteikts, veidojums ir homogēns jeb izotropus. Bet parasti šādus nogulumus var sastapt reti, jo dabiskā vidē nekonsolidētie nogulumu parasti ir, vairāk vai mazāk, slāņaini, tādejādi veidojot anizotropu formāciju. Šādā anizotropā ģeoloģiskajā vidē šķidrums kustoties paralēli slāņa virsmai filtrācijas koeficienta vērtības var būt 2 līdz pat 20 reizes lielākas par tām vērtībām, ko nosaka ūdens kustība perpendikulāri pret slāņa virsmu (Hua Chen, 2000). Gadījumos, kad nogulumu ir izteikti slāņaini, atšķirīgos slāņos vidējās filtrācijas koeficientu vērtības var būt ar ļoti ievērojamu vērtību amplitūdu. Galvenokārt, starpslāņos ar mālainākiem nogulumiem  $K$  vērtības ir mazākas nekā smilšainos slāņos, bet pastāv arī izņēmumi. Šādos slāņainos ūdens horizontos reprezentatīvās  $K$  vērtības ir atkarīgas no pazemes ūdeņu plūsmas virziena. Pazemes ūdeņu plūsmai plūstot šādā slāņotā vidē, paralēli nogulumiežu slāņiem, reprezentatīvās  $K$  vērtības tiek izteiktas balstoties uz slāņu summāro ūdenscaurlaidību, bet pazemes ūdeņiem plūstot perpendikulāri slāņu virsmai, filtrācijas koeficienta vērtību raksturošanai izmanto atsevišķu nogulumu slāņu ūdensvadāmības hidraulisko pretestību summu (Ritzema, 1994).

Pētot pazemes ūdeņus un risinot ar tiem saistītus jautājumus, reizēm nākas novērot diezgan lielu līdzību starp pazemes ūdeņu filtrācijas koeficientu un plūsmas ātrumu. Šādos gadījumos rodas jautājums, par to, kāda ir atšķirība starp filtrācijas koeficientu un plūsmas ātrumu un vai šie termini neapzīmē vienu un to pašu parametru. Atbildi uz šo jautājumu sniedz no Darsī vienādojuma izsecināms salīdzinājums (Шварцев, 1996):

$$\frac{Q}{F} = v = kI, \quad (3.2)$$

Kur:  $Q$  – plūsmas debits ( $m^3/dnn$ ),

$F$  – plūsmas šķērsriezuma laukums (m),

$v$  – filtrācijas ātrums (m/dnn),

$k$  – filtrācijas koeficients (m/dnn),

$I$  – plūsmas jeb spiediena gradients.



Šis vienādojums attēlo lineāro sakarību starp filtrācijas ātrumu un plūsmas gradientu. Ja pieņem, ka  $I = 1$ , tad  $v = k$ , principā, filtrācijas ātrums ir vienāds ar filtrācijas koeficientu pie nosacījuma, ja hidrauliskais gradients ir 1. Tāpēc arī filtrācijas koeficientam ir tādas pašas mērvienības kā plūsmas ātrumam – cm/s, m/h vai m/dnn (Шварцев, 1996).

Ja reālas plūsmas vietā tiek apskatīta abstrakta plūsma, jāņem vērā, ka filtrācijas ātrums, kas izrēķināts izmantojot augstākminēto formulu, nav vienāds ar patieso ūdens kustības ātrumu iežu porās un plaisās (Шварцев, 1996). Tas izskaidrojams ar to, ka ūdens pārvietojas tikai poru šķērsgriezumu laukuma kopplatībā, kas ir mazāka par visu ūdens slāņa šķērsgriezuma laukumu (Maldavs, 1964). Lai iegūtu reālo pazemes ūdeņu kustības ātrumu  $U$  (m/dnn), pazemes ūdens filtrācijas ātrumu  $v$  (m/dnn) nepieciešams izdalīt ar nogulumu porainības koeficientu  $n$ :

$$U = \frac{v}{n}. \quad (3.3)$$

Ņemot vērā to, ka  $n$  vienmēr ir mazāks par 1, tad no Darsī likuma iegūstam, ka filtrācijas ātrums vienmēr ir mazāks par patieso ūdens kustības ātrumu. Reālo pazemes ūdens kustības ātrumu ietekmē, un visbiežāk tas ir atkarīgs no ūdens horizontu veidojošo iežu minerāliem, jo tieši tie nosaka poru struktūru un raksturu (Шварцев, 1996).

Praksē filtrācijas koeficients tiek pētīts un noteikts, gan piesātinājuma, gan nepiesātinājuma zonai. Strādājot ar nepiesātinājuma zonas filtrācijas īpašību noteikšanu, jāņem vērā, ka tai filtrācijas koeficients ir būtiski mazāks par piesātinājuma zonas koeficientu, jo ūdens, plūstot caur sausām nogulumu porām, tiek pakļauts adhēzijas un kohēzijas iedarbības spēkam, kas būtiski ietekmē ūdens filtrāciju caur nogulumiem. Piesātinājuma zonas porainajā vidē, lielāka ūdens daudzuma klātbūtne padara plūsmu daudz iespējamāku un ātrāku, jo lielajā ūdens daudzumā kohēzijas un adhēzijas spēki izlīdzinās, tādejādi būtiski neietekmējot plūsmu (Sanders, 1998).

Runājot par filtrācijas koeficientu, jāpiemin arī bieži praksē lietotais, ūdens piesātināto nogulumu filtrācijas īpašību raksturojošais parametrs – caurplūdes (saukts arī par ūdens vadāmības) koeficients ( $T$ ).

Termins caurplūdes koeficients ir samērā plaši lietots pazemes ūdeņu hidraulikā. Tas var tikt definēts gan kā ūdens apjoms jeb caurplūdums, pie kura ūdens ar dominējošo kinemātisko viskozitāti tiek vadīts caur ūdens slāņa platuma vienību ar noteiktu filtrācijas koeficientu (Todd and Mays, 2005), gan kā parametrs, kas raksturo 1 m plata ūdens horizonta spēju filtrēt ūdeni vienā laika vienībā, ja hidrauliskais gradients ir 1. To var izteikt kā:

$$T = kb = (m/dnn) \times (m) = m^2/dnn, \quad (3.4)$$

kur:  $b$  – ūdens nesējslāņa piesātinātās daļas biezums (m);

$k$  – filtrācijas koeficients (m/dnn) (Todd and Mays, 2005).

1929. gadā zinātnieks Nuttings, izejot no šī, ieviesa jaunu jēdzienu – porainās vides caurplūdes koeficients. Gadījumā, ja iežos plūst homogēns šķidrums, caurplūdes koeficients ir atkarīgs tikai no tiem parametriem, kas raksturo tikai materiāla poraino vidi. Caurplūdes koeficients attēlo, cik liels ir grunts porainās vides potenciāls vadīt tajā esošos šķidrumus un gāzes (Пыхачев, 1961). Šo koeficientu bieži izmanto neviendabīgu ūdens horizontu raksturošanai.

Hidroloģiskajos pētījumos, ļoti bieži, vienu un to pašu parametru raksturošanai lieto gan filtrācijas koeficientu, gan caurplūdes koeficientu, lai šīs abas koeficientu vērtības savstarpēji varētu salīdzināt, izmantojot vienkāršu aprēķinu iespējams pārrēķināt vienu koeficientu otrā. Nogulumiežu caurplūdes koeficientu dalot ar ūdens horizonta efektīvo biezumu ir iegūstams filtrācijas koeficients.

Dažādos hidroģeoloģiskajos pētījumos bieži var nākties saskarties, ar situāciju, kad nepieciešamas veikt teritorijas hidroģeoloģisko raksturošanu, kurā praktiski nav nekādu iepriekšēju pētījumu ziņu par nogulumiežu filtrācijas īpašībām. Šādos gadījumos teritorijas raksturošanai iespējams izmantot vispārīgas filtrācijas koeficientu novērtēšanas metodes.

Par vienu no filtrācijas koeficienta novērtēšanas metodēm var uzskatīt filtrācijas koeficienta un dažādu tā ietekmējošo faktoru korelāciju. Kā arī izmantojot korelācijas analīžu rezultātus, analogās situācijās, zinot kādu no nogulumiežu parametriem, iespējams noteikt aptuvenas  $K$  vērtības.  $K$  noteikšanai izmantotās korelācijas metodes visbiežāk balstās uz savstarpējo saistību starp filtrācijas koeficientu un dažādiem citiem nogulumu parametriem – nogulumu tekstūra, poru izmērs, procentuālā porainība, granulometriskais sastāvs (Brassington, 2007; Smith and Mullins, 2000).

Nogulumu tekstūra saistīta ar smilšu, aleirītu un mālu daļiņu procentuālo daudzumu nogulumos. Nogulumu tekstūra parasti tiek izmantota lai raksturotu dažādus nogulumu hidrauliskos parametrus, kā piemēram ūdensietilpības kapacitāti, aktīvo porainību u.c. (Ritzema, 1994.). Pamatojoties uz nogulumu tekstūras un  $K$  vērtību korelāciju, daudzi pētnieki ir izstrādājuši uzskatāmas shēmas, kur tiek parādīts nogulumu veids un šāda tipa nogulumiem atbilstošas filtrācijas koeficientu vērtības (sīkāk skatīt 5.1. nodaļu, 5.1 tabula) (Ritzema, 1994).

Vieni no ļoti būtiskiem filtrācijas koeficienta vērtību ietekmējošiem parametriem ir nogulumu poru izmērs, porainība, poru forma, regularitāte un aktīvā porainība. Tomēr, nogulumu filtrācijas koeficientu noteikšana balstoties tikai uz datiem par nogulumu porainību nav pietiekami attīstīta, lai to pielietotu liela mēroga teritoriju raksturošanai (Ritzema, 1994).

Smilšainajos nogulumos, kuros nav izteiktas savstarpēji saistītu poru sistēmas, nogulumu filtrācijas īpašības jeb filtrācijas koeficienti ir tieši saistīti ar nogulumu granulometrisko sastāvu (Ritzema, 1994).

## 4. MATERIĀLI UN METODES

Pētījuma gaitā tika veikta filtrācijas koeficienta ( $K$ ) un iežu granulometriskā sastāva datu ievākšana,  $K$  analizēšana saistībā ar nogulumiežu granulometrisko un litoloģisko sastāvu,  $K$  vērtību aprēķināšana, izmantojot nogulumiežu granulometrisko sastāvu. Kā arī veikta darbā apskatīto horizontu raksturīgāko  $K$  vērtību apgabalu izdalīšana un to novērtēšana, izmantojot vienkāršas datu analīzes metodes un Baltijas artēziskā baseina matemātiskā modeļa inverso kalibrāciju.

Darba izstrādes gaitā, lai varētu pilnvērtīgi strādāt ar Baltijas artēziskā baseina datormdeli tika apgūts darbs ar PUMa projekta ievaros izstrādāto MOSYS modelēšanas sistēmu, kas darbojas Python programmēšanas valodā. Darbam ar urbumu informācijas atlasu no datubāzes un to apstrādei, kā arī vienkāršiem datu aprēķiniem, apgūta MySQL sintakse sistēmas datubāzes pieprasījumu rakstīšana. Darbam ar MySQL datubāzi izmatota saskarnes datorprogramma HeidiSQL.

Darbā izmantoto datu un rezultātu vizualizācija veikta izmantojot datorprogrammu HifiGeo (PAIC, bez dat.), kā arī datu analīzes programma DataScene (CyberWit software solutions, bez dat.), ar kuras palīdzību tika analizēts filtrācijas koeficientu normālsadalījums jeb  $K$  vērtību (mērījumu) skaita sadalījums attiecībā pret fiksēto  $K$  vērtību amplitūdu,  $m/dnn$ . Kā arī datu apstrāde un vizualizācija veikta izmantojot datorprogrammu MicrosoftExcel.

### 4.1. Pētījumā izmantotie dati un to sagatavošana darbam

Liela daļa darbā izmantoto datu – filtrācijas koeficientu vērtības, urbumu litoloģiskais apraksts, tika iegūti no Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra (LVĢMC) izveidotās urbumu datubāzes „URBUMI” (turpmāk tekstā – datubāze), bet daļa filtrācijas koeficientu datu, kas iepriekš nebija iekļauta datubāzē, ir iegūta no Valsts Ģeoloģijas fondā (turpmāk tekstā VĢF) esošajām 1:200 000 un 1:50 000 mēroga kartēšanas atskaitēm un ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes un ūdensapgādes urbumu ierīkošanas atskaitēm, ar mērķi papildināt esošo datu apjomu. Granulometrisko analīžu dati iegūti no LVĢMC, VĢF smago minerālu meklēšanas darbu atskaitēm un gāzes un naftas struktūru meklēšanas un izpētes darbu atskaitēm.

Filtrācijas koeficientu dati no Valsts ģeoloģijas fondā esošajām atskaitēm tikuši ievākti 2010. gadā, pāris mēnešu laikā, kopumā izskatot vairāk nekā 200 dažādas ģeoloģisko un hidroģeoloģisko pētījumu darbu atskaites. Kopumā ievāktais informācijas apjoms sastāvēja no galvenajiem urbumu parametriem – urbuma lokālā numura atskaitē un datubāzē (ja tāds bija norādīts), urbuma koordinātēm, urbuma griezuma ģeoloģiskajiem indeksiem, paraugotā horizonta indeksa, urbuma litoloģiskā apraksta, hidroģeoloģiskajiem parametriem –

pjezometriskā ūdens līmeņa, urbuma debīta, īpatnējā debīta, caurplūdes koeficienta, horizonta efektīvā biezuma, filtrācijas koeficienta, kā arī tika fiksēta informācija par urbuma filtra intervālu dziļumu, horizonta kopējo biezumu. Jāatzīmē, ka bieži ievāktie dati aprobežojās ar urbuma lokālo atskaites numuru, urbuma augstuma atzīmi un filtrācijas koeficienta vērtību, kas vēlākā datu apstrādes procesā radīja vislielākās problēmas, bet diemžēl pārsvarā iepriekšējo gadu pētījumu pārskatos netiek sniegtas urbumu koordinātas, to piesaiste veicama manuāli, izmantojot atskaitēi pievienoto kartogrāfisko materiālu.

Pēc urbumu datu ievākšanas, datu apstrādes process noritēja sekojoši – sākotnēji, vadoties pēc atskaitēs norādītā paraugotā horizonta, dati tika sašķiroti pēc piederības noteiktam pazemes ūdens horizontam, tad norakstītie urbumi pēc to norādītajiem numuriem, augstuma atzīmes un ģeoloģiskajiem indeksiem tika salīdzināti ar datubāzē esošajiem urbumiem. Norakstītajiem urbumiem datubāzes analoģu meklēšana, principā, tika veikta manuāli, izmantojot nelielu MySQL datubāzei rakstītu skriptu, kas atlasa urbumus pēc noteiktiem parametriem – urbuma numura, augstuma atzīmes u.c. Kā jau iepriekš tika minēts vislielākās problēmas sagādāja urbumi, kam bija pieejami tikai lokāli, konkrētajā izpētes darbu atskaitē piešķirti identifikācijas numuri. Atrodot urbumu analogus, tika salīdzināta urbumu filtrācijas parametru informācija, un nācās secināt, ka daudziem datubāzē esošajiem urbumiem nav pievienota informācija par filtrācijas koeficientiem, kas tika ievākta ģeoloģijas fonda atskaitēs. Sakārtojot ievāktos filtrācijas koeficientu datus atbilstoši datubāzes prasībām, daļa datubāzē esošie urbumi tika papildināti ar filtrācijas koeficientu vērtībām (4.1. tabula). Jāatzīmē, ka filtrācijas parametru dati sākotnēji tika ievākti un vienādi apstrādāti visiem pieejamajiem pazemes ūdens horizontiem, taču balstoties uz pētnieciskā darba mērķi, turpmāk darbā tiks norādīti dati, kas saistās ar darbā apskatītajiem pazemes ūdens horizontiem.

Kopumā, datubāzē esošie urbumi, darbā apskatītajos vidusdevona Arukilas un Burtnieku un augšdevona Gaujas un Amatas pazemes ūdens horizontos, tika papildināti ar 4.1. tabulā norādītu daudzumu ierakstu par filtrācijas koeficienta vērtībām (1. – 4. pielikums). Kā arī, zināms K datu apjoms ticis aprēķināts, izmantojot LVĢMC pieejamos granulometrisko analīžu rezultātus urbumos (LVĢMC, bez dat.) (4.1. tabula):

*4.1. tabula*

**Sākotnējo un papildināto K datu ierakstu apjoms datubāzē** (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Pazemes ūdens horizonts	Sākotnējais K datu apjoms datubāzē	Papildinātais (no VĢF atskaitēm) K datu apjoms datubāzē	Kopējais K datu apjoms datubāzē	Iespējamais datu papildinājums, aprēķinot K	Kopējais izmantojamais K datu apjoms
D <sub>3am</sub>	39	27	66	18	84
D <sub>3gj</sub>	57	95	152	66	218

D <sub>2</sub> br	36	53	89	41	130
D <sub>2</sub> ar	38	57	95	18	113

VGF ievāktie nogulumiežu granulometrisko analīžu rezultātu dati tālāk izmantoti nogulumiežu daļiņu efektīvo diametru aprēķināšanā un tai sekojošos filtrācijas koeficienta vērtību aprēķinos. Šie aprēķini sīkāk aprakstīti 4.2. un 4.3. apakšnodaļās.

#### 4.2. Nogulumiežu daļiņu efektīvo diametru aprēķināšana

Darba izstrādes gaitā katram urbūmam, par kuru bija pieejami nogulumiežu granulometrisko analīžu rezultāti, tika sākotnēji izrēķināts efektīvais daļiņu izmērs jeb  $d_{10}$ , kas norāda drupu graudu izmēru konkrētā paraugā, par kuru smalkāks materiāls sastāda 10% no visas parauga masas (Todd and Mays, 2005; Tucker, 2001).

Kopumā par pētījumā izmantotajiem, devona klastiskajiem pazemes ūdens horizontiem granulometrisko analīžu rezultāti bija pieejami 149 urbūmos, attiecīgi daļiņu efektīvie diametri šo horizontu nogulumiežiem tika aprēķināti 4140 paraugiem. Granulometriskos analīžu rezultātu apjoms konkrētos ūdens horizontos skatāms 4.2. tabulā.

4.2. tabula

**Daļiņu efektīvo diametru ( $d_{10}$ ) aprēķināšanā izmantotais datu apjoms (sastādījusi autore)**

Pazemes ūdens horizonts	Urbūmu skaits, kuros veiktas granulometriskās analīzes	Granulometriskos analīžu paraugu skaits ar aprēķinātu $d_{10}$
D3am	82	412
D3gj	124	1520
D2br	104	1190
D2ar	96	1018
Kopā:	149	4140

Kopumā efektīvie diametri klastiskajiem nogulumiežiem tika aprēķināti šādās pozīcijās –  $d_{10}$ ,  $d_{16}$ ,  $d_{20}$ ,  $d_{25}$ ,  $d_{30}$ ,  $d_{40}$ ,  $d_{50}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{75}$ ,  $d_{84}$  un  $d_{90}$ , lai iegūtu pārskatāmāku kopainu, kā arī tika automātiski aprēķināts grunts šķirofības koeficients jeb nogulumu nevienādības koeficients ( $C_u$ ). Nogulumu nevienādības koeficients ir attiecība starp  $d_{60}$  un  $d_{10}$  un to izsaka ar vienādojumu (Indāns u.c., 1986):

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4.1.)$$

Hidroģeoloģiskajos aprēķinos praktiski visbiežāk tiek izmantots tieši  $d_{10}$  (Fetter, 2001), un atkarībā no vienādojuma arī  $d_{50}$  un  $d_{60}$ .

Daļiņu efektīvo diametru aprēķins tika veikts matemātiskajā datorprogrammā MATLAB, kuras funkcijas ļauj ērti ievadīt datus no Excel formāta, veikt salīdzinoši ātru aprēķinu, kā arī rezultātu izvadīt ērti lietojamā Excel vidē. Izstrādes gaitā MATLAB vidē tika izveidots skripts, kas automātiski veica visas darbības, ieskaitot datu ievadi, datu aprēķinu un

datu izvadi. Skripta pamatprincips ir tāds, ka tas savā rīcībā iegūst granulometrijas rezultātus, kas sastāv no frakciju izmēriem un katrai frakcijai attiecīgo procentuālo svaru. Tālāk programmas vidē, interpolējot datus starp konkrētajiem izejas datiem, tika iegūta vienlaidus kumulatīvā līkne, no kuras iespējams nolasīt iežu frakcijas vērtību pie jebkura attiecīgā procentuālā sastāva jeb iegūt jebkuru nepieciešamo daļiņu efektīvo diametru pozīciju (Trauth, 2006).

### 4.3. Filtrācijas koeficienta matemātiskais aprēķins

Pētījuma izstrādes gaitā viens no uzdevumiem bija esošos, urbumu atsūkņēšanas darbos, iegūtos filtrācijas koeficientus papildināt ar koeficientiem, kas aprēķināti izmantojot granulometrisko analīžu datus. Lai izvēlētos labāko aprēķinu vienādojumu, kas atbilstu pieejamajiem datiem, tika izstudēti vairāki literatūras avoti par filtrācijas koeficientu aprēķinu metodēm, izmantojot empīriskus vienādojumus.

Filtrācijas koeficientu aprēķinos, izmantojot empīriskus matemātiskus vienādojumus, galvenokārt, tiek izmantoti dati par nogulumu granulometrisko sastāvu, porainību, kā arī par filtrējošā šķidrums īpašībām. Pastāv dažādi aprēķinu veidi, bet lielākoties aprēķina vienādojumiem ir vispārīga form:

$$k = fsfa d^2 \quad (4.2.)$$

kur:  $k$  – filtrācijas koeficients (m/dnn);

$fs$  - grunts daļiņu (vai poru) formas faktors,

$fa$  - porainības faktors,

$d$  - daļiņu diametru raksturojošs lielums (Todd and Mays, 2005).

Viens no plašāk lietotajiem vienādojumiem filtrācijas koeficientu aprēķināšanai ir Hāzena vienādojums (Fetter, 2001; Vienken and Dietrich, 2011). Filtrācijas koeficientu ar Hāzena vienādojumu iespējams izteikt šādi:

$$k = cd_{10}^2 (0,7+0,03t) \quad (4.3.)$$

kur:  $k$  – filtrācijas koeficients (m/dnn);

$c$  – empīrisks koeficients, kas parasti mainās no 400 (mālainā smiltī) līdz 1200 (tūrā smiltī), bet atsevišķos gadījumos līdz 1500 – labi šķīrotā rupjgraudainā smiltī (Fetter, 2001), atkarībā no ieža granulometriskā sastāva (jo lielāki daļiņu izmēri, jo lielāks koeficients);

$d_{10}$  – smilts daļiņu efektīvais diametrs (mm), t.i., tādu ieža daļiņu diametrs, par kurām mazāku daļiņu ir 10% no kopējās ieža masas (%);

$t$  – ūdens temperatūra (°C);

$(0,7+0,03t)$  – temperatūras korektūra (Maldavs, 1964).

Formulā ietverto  $c$  koeficientu parasti lieto balstoties uz iedalījumu, kas norādīts 4.3. tabulā.

4.3. tabula

**Filtrācijas koeficienta aprēķinos izmantojamā koeficienta  $c$  vērtības dažādiem nogulumiežiem**

(sastādījusi autore izmantojot, Fetter, 2001)

Nogulumiežu vieds	Koeficients $c$
Vāji šķirota, aleirītiska smilts, ļoti smalkgraudaina smilts	400-800
Smalkgraudaina smilts	400-800
Labi šķirota vidējgraudaina smilts	800-1200
Vāji šķirota rupjgraudaina smilts	800-1200
Tīra, labi šķirota rupjgraudaina smilts	1200-1500

Šis vienādojums lietojams, nosakot filtrācijas koeficientu samērā viendabīgām smiltīm, kurām daļiņu efektīvais diametrs svārstās no 0,1 – 3 mm (Indāns u.c., 1986), un ar neviendabības koeficientu no 1 līdz 5 (Maldavs, 1964).

Nemot vērā, ka katram aprēķinu vienādojumam ir noteikti ierobežojumi – efektīvā diametra lielums un neviendabības koeficients, tad viens aprēķinu vienādojums parasti neder visiem paraugiem. Hidroģeoloģisko aprēķinu praksē ir zināms arī Beijera (Beyer) veidējums (Vienken and Dietrich, 2011; Odong, 2007):

$$K = \frac{g}{\nu} \times 6 \times 10^{-4} \log \frac{500}{U} d_{10}^2 \quad (4.4.)$$

kur:  $K$  – filtrācijas koeficients m/dnn;

$g$  – gravitātes konstante;

$\nu$  – kinemātiskā viskozitāte;

$U$  – nevienmērības koeficients;

$d_{10}^2$  – smilts daļiņu efektīvais diametrs (mm), t.i., tādu ieža daļiņu diametrs, par kurām mazāku daļiņu ir 10% no kopējās ieža masas (%);

Beijera vienādojums pielāgots izmantošanai neviendabīgos un vāji šķirotos nogulumos, kam neviendabības koeficients mainās no 1 līdz 20, bet daļiņu efektīvie diametri mainās robežās no 0,06 – 0,6 mm (Vienken and Dietrich, 2011; Odong, 2007).

Vidējgraudainām smiltīm filtrācijas koeficientus izmantojot granulometriskā sastāva datus iespējams aprēķināt arī pēc USBR (Amerikas Savienoto Valstu meliorācijas dienests) vienādojuma (Odong, 2007):

$$K = \frac{g}{\nu} \times 4,8 \times 10^{-4} d_{20}^{0,3} \times d_{20}^2 \quad (4.5.)$$

kur:  $K$  – filtrācijas koeficients m/dnn;

$g$  – gravitātes konstante;

$\nu$  – kinemātiskā viskozitāte;



$d_{20}$  – smilts daļiņu efektīvais diametrs (mm), t.i., tādu ieža daļiņu diametrs, par kurām mazāku daļiņu ir 20% no kopējās ieža masas (%);

Filtrācija koeficientu aprēķināšanā no grunts granulometrisku analīžu datiem, salīdzinoši bieži, izmanto arī vienādojumus, kuros tiek ņemts vērā grunts porainības faktors. Pazīstamākie no šāda veida aprēķnu vienādojumiem ir Kozenī un Tercāgi vienādojumi. Kā piemēram, filtrācijas koeficientu ar Tercāgi vienādojumu iespējams izteikt šādi:

$$K = C_T \times \frac{\eta_{10}}{\eta_t} \times \left( \frac{\Phi - 0,13}{\sqrt[3]{1 - \Phi}} \right)^2 \times d_{10}^2 \quad (4.6.)$$

kur:  $K$  – filtrācijas koeficients;

$C_T$  – neviendabības jeb nevienmērības koeficients – mainās robežās no 460 – 800, atkarībā no smilts šķirotības;

$\eta_{10}$  un  $\eta_t$  - ūdens dinamiskā viskozitāte 10° temperatūrā un ūdens dinamiskā viskozitāte dabiskā temperatūrā;

$\Phi$  - kopējā porainība (Vienken and Dietrich, 2011).

Šajā pētījumā Tercāgi un citus, ar porainības datu izmantošanu saistītus vienādojumus, nebija iespējams pielietot, jo dati par nogulumiežu porainību kopējā valsts teritorijā ir ļoti maz, vai tie ir vispārīgi. Neprecīzu nogulumiežu porainība vērtību lietošana empīriskos  $K$  aprēķinos var radīt ievērojami kļūdainus rezultātus (Vienken and Dietrich, 2011).

Savstarpēji salīdzinot augstāk minētos  $K$  matemātisko aprēķinu vienādojumus un izvērtējot pieejamos datus un vienādojumu pielietošanas noteikumus,  $K$  vērtību aprēķināšanai tika izvēlēti Hāzena (4.3.) un Beijera (4.4.) vienādojumi. Aprēķināto  $K$  vērtību novērtējums sīkāk izklāstīts darba 5.2. nodaļā.

Aprēķinos izmantotie lielumi – pazemes ūdens temperatūra ņemta no datubāzē pieejamajiem datiem, kinemātiskā viskozitāte vienādojumā pieņemta kā vidējā ūdeni raksturojošā.

Izmantojot matemātiskos aprēķinus, jāņem vērā, ka dažas formulas sniedz ticamus rezultātu aprēķinus, jo to sarežģītība ļauj iekļaut visas iespējamās porainās vides variācijas. Ideāla vidē, piemēram, sfērisku, vienāda diametra daļiņu kopā, filtrācijas koeficients var tikt precīzi izteikts skaitļos, zinot porainību un blīvuma pakāpi (Todd and Mays, 2005). Bet izmantojot empīriskās formulas, jāievēro, ka tās dod aptuvenus rezultātus un ka to pielietošanai ir zināmas robežas (Maldavs, 1964). Pēc empīriskajām formulām var ātri un ar mazu līdzekļu patēriņu iegūt orientējošus datus par iežu filtrācijas koeficientiem (Maldavs, 1964).

#### **4.4. Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskais datormodelis**

##### **4.4.1. Citi reģionālie hidroģeoloģiskie modeļi**

Iepriekšējie pētījumi, kas saistās ar Baltijas artēziskā baseina (turpmāk tekstā BAB) modelēšanu ietver mazāka mēroga hidroģeoloģiskos modeļus dažādās valstīs. Ir zināmi vairāki mazāki ar pazemes ūdens plūsmu modelēšanu saistīti pētījumi Polijā, Igaunijā, Latvijā un Lietuvā (Vallner, 2003; Spalviņš u.c., 1996; Spalvins et al., 2009). Igaunijas un tai pieguļošās piekrastes teritorijā pazemes pjezometrisko ūdens līmeņu sadalījuma modelēšana tikusi veikta, izmantojot programmu Visual MODFLOW (Vallner, 2003). Ir veikta pazemes ūdeņu plūsmas modelēšana Latvijas centrālajā, Lietuvas ziemeļu daļā, kā arī lielā Rīga jūras līča teritorijā, kas kopumā aptver 26000 km<sup>2</sup> un ietver 9 pazemes ūdens horizontus (sīkā apraksts nodaļā 1.1.) (Spalviņš u.c., 1996). Reģionāls hidroģeoloģisks modelis ir izveidots Lietuvas dienvidu – austrumu daļai, izmantojot programmu Groundwater Vistas (Spalvins et al., 2009).

Pasaules pētījumu praksē ir izveidoti un pastāv vairāki artēzisko baseinu reģionālie hidroģeoloģiskie modeļi. Kā piemērus var minēt Austrālijas lielā artēziskā baseina pazemes ūdeņu modeli (Welsh, 2006), kas sastāv no vairāk kā 60 000, 5x5 km izmēra šūnu režģa, aptver tikai vienu ūdens horizontu un darbojas ar datorprogrammas MODFLOW-2000 palīdzību. Stacionārs hidroģeoloģiskais datormodelis ar pieciem slāņiem ir izveidots arī Rietum Sibīrijas artēziskajam baseinam (Foley, 1994). Šis modelis izveidots izmantojot CFEST kodu. Tajā ir izmantoti visi iespējamie dati, bet rupjais modeļa režģis nespēj ticami iekļaut un attēlot ģeoloģisko un hidroģeoloģisko informāciju 3,5 miljonus lielai baseina teritorijai. Vēl viens ievērojama mēroga hidroģeoloģiskais modelis ir pazemes ūdeņu plūsmu modelis Bengālijas baseinam (Indija un Bangladeša), kas veidots izmantojot programmu MODFLOW, un, kas ietver 34 modeļa slāņus (Michael, 2009).

##### **4.4.2. BAB hidroģeoloģiskā datormodeļa izveide**

Vienots Baltija artēziskā baseina hidroģeoloģiskais datormodelis, ar salīdzinoši augstu modeļa detalizāciju Latvijas teritorijā, pirmo reizi nopietni sākts veidot 2010. gadā Latvijas Universitātē. BAB hidroģeoloģiskais datormodelis ir izveidots projekta „Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” (PUMa) ietvaros pazemes ūdeņu filtrācijas un vielu pārnesei matemātiskajai modelēšanai (Dēliņa u.c., 2011). Modelis izveidots projekta ietvaros izstrādātā modelēšanas sistēmā MOSYS, kas paredzēta 3D ģeoloģisko struktūru izveidei un hidroģeoloģisko aprēķinu veikšanai (Seņņikovs, 2011).

Baltijas artēziskais baseins ir daudzslāņu sedimentācijas baseins un komplicēta hidroģeoloģiska sistēma, kas aizņem aptuveni 480 000 km<sup>2</sup> lielu teritoriju Austrumeiropas

platformas rietumu daļā. BAB pilnībā ietilpst Latvijas, Lietuvas un Igaunijas teritorija, daļa Polijas, Krievijas un Baltkrievijas, kā arī apmēram pusi no BAB teritorijas sedz Baltijas jūra (4.1. attēls).



4.1. attēls. Baltijas artēziskā baseina izplatības robežas (Google maps, 2012)

Nogulumu segas biezums artēziskā baseina dienvidu – rietumu daļā sasniedz 5000 m, bet baseina ziemeļu un dienvidu – austrumu daļā nogulumu biezums ievērojami samazinās un kristāliskais pamatklintājs sasniedz zemes virsmu. Vecākos BAB nogulumus veido venda un kembrija perioda nogulumieži, bet jaunākie pārstāvēti lielākoties ar kvartāra glacigēnajiem nogulumiem (Иодказис, 1989; Levins u.c., 1998).

Skatoties no hidroģeoloģijas viedokļa BAB sastāv no dažāda izmēra un mēroga pazemes ūdens nesējslāņiem jeb pazemes ūdens horizontiem un sprostsļāņiem. BAB pamatnes ūdens mazcaurlaidīgo virsmu veido kristāliskais pamatklintājs. Lielākoties visi pazemes ūdens horizonti ir spiediena ūdens horizonti, bezspiediena ūdens horizontu veido vienīgi kvartāra nogulumu. Aktīvās ūdens apmaiņas zonas ūdeni mazcaurlaidīgie sprostsļāņi nenodrošina pilnīgu pazemes ūdens horizontu izolāciju un šajā zonā notiek vertikālā ūdens apmaiņa starp horizontiem (Juodkazis, 1976; Дзилна, 1970).

Pazemes ūdeņi ir galvenais dzeramo ūdeņu resurss Baltijas valstīs, kā arī tos lieto industriālām un lauksaimniecības vajadzībām. Par spīti ievērojamajiem pazemes ūdens resursiem, lai nodrošinātu ilgtspējīgu ūdens iegūvi lielos apjomos, lielos ūdensguves objektos vai plašos reģionos, ir jāveic atbilstošs šādas ūdens ieguves ietekmes un kopējo pazemes

ūdeņu sistēmu izvērtējums. Proti, jāizvērtē, kādu ietekmi uz kopējo pazemes ūdens sistēmu atstās, piemēram, ievērojams pazemes ūdens līmeņa pazeminājums vai sālūdens intrūzijas piekrastes reģionos. Šādu pazemes ūdeņu novērtējumu visērtāk un precīzāk ir veikt izmantojot hidroģeoloģisko, pazemes ūdeņu plūsmu matemātisko modelēšanu (Virbulis et al., bez dat.). Kā arī šādā viedā ir iespējams novērtēt ģeotermālās enerģijas potenciālu un dabasgāzes glabāšanas iespējas dziļajos pazemes ūdens horizontos un tml.

BAB ģeoloģiskais modelis ticis veidots galīgo elementu trijstūru režģī, kur katram izdalītajam modeļa slānim atbilst trijstūra prizmu un piramīdu formas 3D šūnas. Šāda neregulāra trijstūru režģa izmantošana ļāvusi būtiski atvieglot BAB sarežģītās ģeoloģiskās struktūras attēlojumu, jo pieejamo ģeoloģisko datu izšķirtspēja baseinā ir nevienmērīga, kas krietni apgrūtina ģeoloģiskās informācijas intrpolāciju (Virbulis et al., bez dat.; Dēliņa u.c., 2011).

Baltijas artēziskā baseina hidroģeoloģiskā datormodeļa izveidei tikuši izmantoti dažādi ģeoloģiskās informācijas dati no dažādiem avotiem. Esošajā modeļa versijā ģeoloģiskā struktūra sastāv no 42 slāņiem un tā ģeometriskās struktūras izveidei tikuši izmantoti sekojoši datu avoti (Seņņikovs, 2011):

1. Latvijas un Lietuvas ģeoloģisko slāņu augstuma atzīmju izolīniju kartes;
2. Latvijas un Lietuvas zemkvartāra nogulumu izplatības kartes;
3. Pamatklintāja ģeoloģisko lūzumu kartes Latvijas teritorijai;
4. stratigrāfiskā informācija no Latvijas teritorijā esošajiem un pieejamajiem vairāk nekā 20 000 urbumiem no Latvijas vides, ģeoloģija un meteoroloģijas centra (LVĢMC) datubāzes;
5. Igaunijas hidroģeoloģiskā modeļa slāņu virsmas dati;
6. SRTM Zemes virsmas reljefa dati;
7. IOW Baltijas jūras dziļuma dati;
8. Dati no publicētajiem ģeoloģiskajiem griezumiem BAB teritorijā (ibid);

Pazemes ūdeņu līmeņu un horizontu apūdeņotības modelēšanai izmantoti pazemes ūdeņu ieguves dati, kā arī novērotie pazemes ūdeņu pjezometriskie līmeņi. Monitoringa urbumos novērotie pjezometriskie līmeņi izmantoti arī modeļa kalibrācijas procesā. Šie dati iegūti Latvijas Vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centrā un Lietuvas un Igaunijas ģeoloģiskās izpētes dienestos (Virbulis et al., bez dat.).

BAB hidroģeoloģiskais modelis izveidots izmantojot galīgo elementu metodi, kas paredzēta trīsdimensionālu pazemes ūdeņu plūsmu ar brīvu virsmu modelēšanai. Modeļa režģa ģeometriskā struktūra ir izveidota izmantojot galīgo elementu metodi. Šī metode tikusi

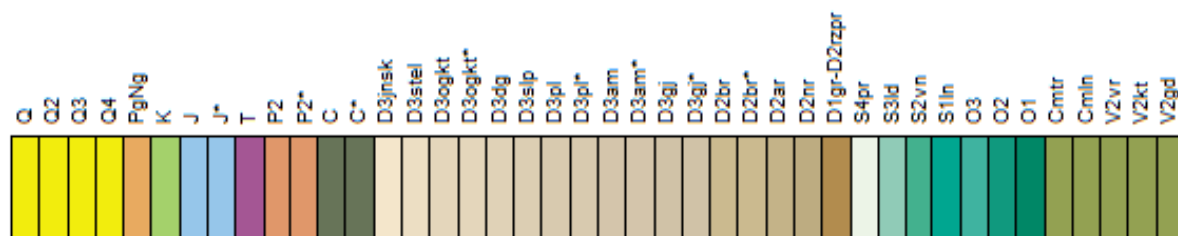
izmantota, jo salīdzinājumā ar citām metodēm tā ir daudz precīzāka attēlojot struktūras slāņojumu, iekšējās struktūras robežas (upes, tektoniskos lūzumus, plaisas, slāņu robežas utt.), kā arī iespējams izveidot lokāli smalkāku struktūras režģi (Virbulis et al., bez dat.)

Modeļa triangulārais režģis horizontālā plaknē ir konstruēts ietverot tajā raksturīgākās līnijas, piemēram, upes, krasta līniju, valstu robežas un nogulumu ģeoloģiskās izplatības robežas. Urbumi, kas vēlāk izmantoti modeļa kalibrācijas procesā, modelī iekļauti kā mezgli. Struktūras režģa trijstūru izmēri struktūrā ir dažādi, sākot ar 10 km<sup>2</sup>, teritorijās ar salīdzinoši blīvu ģeoloģisko informāciju (Baltijas valstīs), līdz pat 100 km<sup>2</sup> – Baltijas jūras teritorijā. Režģa trijstūru malas garums ir mazāks režģī iekļauto līniju un punktu tuvumā (Virbulis et al., bez dat.).

Lielākā daļa modeļa galīgo 3D elementu ir trīsstūrveida prizmas. Piramīdu un tetraedru formas elementi, nepieciešamības gadījumā, tiek lietoti uz tektonisko lūzuma zonu un ģeoloģisko slāņu izplatības robežām. Pašreizējais modeļa režģis sastāv no nedaudz vairāk kā 876 tūkstošiem punktu un 1,4 miljoniem tilpuma elementu (Virbulis et al., bez dat.).

BAB hidroģeoloģiskā modeļa izveide, tajā veiktie aprēķini un modeļa kalibrācija ir realizēta izmantojot Python programmēšanas valodā (Virbulis et al., bez dat.).

Modeļa ģeoloģiskā struktūra sastāv no 42 slāņiem, ieskaitot pazemes ūdens horizontus un sprosts slāņus no kembrija līdz pat kvartāram (4.2. attēls).



4.2. attēls. BAB datormodeļa stratifikācijas shēma (sastādījusi autore)

Modeļa ģeoloģiskā stratifikācija (4.2. attēls) balstīta uz nogulumiežu segas stratigrāfisko vienību, nevis litoloģisko iedalījumu, tā ierobežojot ģeoloģisko nenoteiktību un saglabājot ģeoloģiskās uzbūves pārskatāmību, kā arī ierobežojot ģeoloģiskās vides heterogenitāti (Popovs, 2011). BAB modeli veidojošie 42 slāņi tikuši izdalīti, balstoties uz urbumu datubāzes stratigrāfisko vienību klasifikatoru, proti, tajā ietilpstošo indeksu sastopamību urbumu vertikālā griezumā aprakstā. Papildus ņemta vērā arī urbumu telpiskā izklīde modeļapgabalā, nogulumu izplatības informācija no zemkvartāra nogulumu izplatības kartes un publicētajām Kaledonijas un Hercīnijas struktūrkompleksu virsmu kartēm. Ņemot vērā ietverošo urbumu izklīdi un slāņu biezumu, veikta šīs informācijas sistemātiska analīze, un modeļa stratifikācija iedalīta iespējami labākajā detalizācijā līdz sistēmu, nodaļu, reģionālo stāvu un arī svītu un svītu kopu izšķirtspējai (Popovs, 2011) (4.2. att.).

#### 4.4.3. Modeļa hidroģeoloģija

Par modeļa līdzsvara risinājumu ticis pieņemts Darsī vienādojums, kas raksturo neviendabīgu 3D plūsmu ar brīvu virsmu (Virbulis et al., bez dat.):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_h \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_v \frac{\partial h}{\partial z} \right) + Q = 0 \quad (4.7.)$$

kur:  $h$  – pazemes ūdeņu pjezometriskais līmenis;

$Q$  – ūdens ieguves avoti;

$K_h$  un  $K_v$  – horizontālais un vertikālais filtrācijas koeficients;

Modelī kā brīvā ūdens virsma ir pieņemts aprēķinātais ūdens līmenis  $h$ , kura pamatā ir vienkāršots hidroģeoloģiskais modelis (Virbulis et al., bez dat.). Ņemot vērā, to, ka visi modelī iekļautie pazemes ūdens horizonti, izņemot daļu kvartāra horizonta ir pilnībā ūdens piesātināti, filtrācijas koeficientu vērtības modelī tiek pieņemtas, neņemot vērā šo faktu un pieņemot, ka visi modeļa slāņi ir ūdenspiesātināti. Respektīvi kvartāra nogulumiem netiek izmantots princips par ūdens saturu modeļa elementos, kādu bieži izmanto nepiesātinājuma zonas modelēšanā (McDonald, 1989).

Šāda rīcība palielina neprecizitātes filtrācijas koeficientu aprēķinos kvartāra bezspiediena ūdeņu horizonta daļā, bet ļauj izvairīties no iespējamās skaitliskās nestabilitātes, kā arī ietaupa aprēķinu laiku, jo nav nepieciešamas papildus iterācijas (Virbulis et al., bez dat.).

Augstāk aprakstītais modeļa vienādojums tika risināts izmantojot galīgo elementu metodi ar Galerkina svērto atlikumu. Kā galīgie elementi tika lietotas bilineāras prizmas, piecstūru piramīdas, kā arī lineāri tetraedri. Elementu integrācija modelī ir veikta skaitliski izmantojot Gausa otrās kārtas kvadrāturu, tādējādi panākot, ka integrāļi pielāgojas precīzam analītiskam risinājumam priekš lineāriem elementiem ar konstantām materiālu īpašībām (Virbulis et al., bez dat.).

#### 4.4.4. Modeļa robežnosacījumi

Lai atrastu filtrācijas vienādojumu atrisinājumu galīgā apgabalā filtrācijas pamatvienādojumam ir nepieciešami papildus nosacījumi uz apgabala ārējām robežām – robežnosacījumi. Robežnosacījumi raksturo pieņēmumus par to kā filtrācijas procesi apgabalā, kas tiek aprēķināts, mijiedarbojas ar procesiem ārpus aprēķināmā apgabala.

BAB modelī tiek izmantoti gan 1. veida robežnosacījumi ar uzdotu pjezometrisko pazemes ūdens līmeni  $h$ :

- apgabalos zem ūdenstilpnēm  $h$  vienāds ar ūdenstilpnes ūdens līmeni;
- $h$  ir vienāds ar gruntsūdeņu virsmu, kas aprēķinu gaitā nav zināma un tiek aprēķināta,

gan arī 2. veida robežnosacījumi ar uzdotu pazemes ūdeņu filtrācijas plūsmu  $v$ :

- uz necaurlaidīgās apakšējās robežas filtrācijas plūsma ir vienāda ar nulli;
- defnēta ūdensbalance uz modeļa virsmas;
- uz BAB ģeogrāfiskajām izplatības robežām tiek pieņemts, ka ūdensapmaiņa nenotiek un  $v$  ir vienāds ar nulli (Stankeviča, 2011).

Par BAB modeļa necaurlaidīgo pamatnes virsmu kalpo prekembrija jeb kristāliskā pamatklintāja iežu virsma (Levins u.c., 1998; Mokrik, 1997). BAB ziemeļu un rietumu daļā kristāliskais pamatklintājs sasniedz Zemes virsmu un modeļa slāņu biezums šajos apgabalos ir nulle, tātad baseina ziemeļos un ziemeļrietumos par baseina robežu kalpo kristāliskais pamatklintājs. Par baseina dienvidrietumu ūdensnecaurlaidīgo robežu ir pieņemts Dānijas – Polijas baseins ar plašu lūzumu zonu (Mokrik, 1997; Иодказис, 1989). BAB austrumu robeža ir saistīta ar Maskavas artēzisko baseinu, bet par dienvidaustrumu robežu noteikta Baltkrievijas – Mazūrijas sedliene. Artēziskā baseina nogulumu biezums šajās robežās, vidēji, svārstās no 300 – 500 m (Иодказис, 1989). Ūdens apmaiņa uz baseina robežām modelī ir pielīdzināta nullei (Virbulis et al., bez dat.).

Baseina virsma tiek attēlota ar vienkāršu hidroģeoloģisko modeli. Virszemes ūdeņu – upju, ezeru un jūras ūdens līmenis tiek fiksēts kā konstants ūdens līmenis attiecīgos režģa punktos. Virsmas infiltrācija ir uzdota kā mainīgi robežnosacījumi citos režģa punktos. Lielākā daļa no gada aptuvenā nokrišņu daudzuma (1000 mm/gadā) iztvaiko atpakaļ atmosfērā vai tiek savākti nelielās straumēs un upēs, tādejādi šis ūdens daudzums tiek izslēgts no kopējās infiltrācijas plūsmas. BAB modelī autmātiskās kalibrācijas procesa rezultātā, kā konstants infiltrācijas plūsmu veidojošs faktors, visam modeļapgabalam, ir pieņemts nokrišņu daudzums 70 mm/gadā (Virbulis et al., bez dat.).

Ūdens ieguves režīma modelēšanā BAB modelī ir izmantoti dati tikai no ūdensieguves urbumiem ar salīdzinoši lieliem uzrādītajiem debītiem. Kopumā par Lietuvas teritoriju šādi dati iegūti no 49 urbumiem (kopējā ūdens ieguve 45 000 m<sup>3</sup>/dnn), Latvijā 161 urbums (kopējā ieguve 184 000 m<sup>3</sup>/day) un Igaunijā 172 urbumi (kopējā ieguve 24 000 m<sup>3</sup>/dnn) (Virbulis et al., bez dat.). Katra ūdensguves avota debīts ( $Q$ , m<sup>3</sup>/s), atbilstoši ūdensguves apstākļiem uz 2000. gadu, tika sadalīts iekš slēgtiem modeļa režģa galīgajiem tilpuma elementiem. Gadījumos, kad urbuma filtra garums pārsniedz viena elementa robežas, urbumu debīta rādītājs tika sadalīts starp modeļa elementiem proporcionāli filtra garumam tajos (Virbulis et al., bez dat.).

#### **4.4.5. Pazemes ūdens pjezometrisko līmeņu aprēķins**

Ņemot vērā to, ka šajā pētījumā nogulumiežu filtrācijas koeficientu novērtēšana tiek veikta izmantojot inversās kalibrācijas metodi BAB modelim, kā procesā mainot modeļa

slāņiem  $K$  vērtības atbilstoši dabā novērotajām, tiek aprēķināta modeļa iznākuma mērķa funkcija (MF) un līdz ar to pjezometriskie pazemes ūdeņu līmeņi, zemāk tiks sniegts neliels ieskats pjezometriso līmeņu aprēķinos.

Pjezometrisko ūdens līmeņu sadalījumu  $h$ , BAB ģeometriskajam trīsdimensionālajam tilpuma režģim, iegūst, pielietojot galīgo elementu metodi. Metodes izmantošanas gaitu iespējams sadalīt vairākos etapos (Stankevica, 2011).

Pirmajā etapā tiek noteiktas ģeometrisko režģi veidojošo elementu īpašības un tās apkopojošie dati. Katram modeļa struktūras elementam tiek uzdotas tajā ietilpstošo punktu koordinātes un punktu savstarpējās saistības (Zienkiewicz, 2000), kā arī tiek piešķirts elementa identifikācijas numurs. Kad īpašības globālajās koordinātēs ir noteiktas, tiek izveidota nezināmo koeficientu matrica, kur nezināmais koeficients raksturo atbilstošajā punktā nezināmo meklējamo lielumu (Zienkiewicz, 2000), kas šajā gadījumā ir pjezometriskais ūdens līmenis  $h$ .

Otrajā etapā tiek veikta gala vienādojumu sistēmas izveidošana, sasummējot kopā katram elementam atbilstošo nezināmo koeficientu matricu vienā kopējā, globālā matricā (Zienkiewicz, 2000).

Trešajā etapā tiek veikta robežnosacījumu ievietošana iepriekš minētajā matricā. Pēc robežnosacījumu ievietošanas matricā tiek veikta virkne modeļa sistēmas vienādojumu atrisināšana un kā aprēķinu rezultāts tiek iegūts pjezometriskais ūdens līmenis katrā modeļa režģa punktā katrā modeļa slānī (Zienkiewicz, 2000). Pjezometrisko līmeņu aprēķinu iespējams veikt ar dažādām lineāru algebrisku vienādojumu sistēmu risināšanas metodēm, bet BAB modeļa gadījumā tiek izmantota tiešā metode – LU faktorizācija ar vadošo elementu izdalīšanu (Stankevica, 2011).

Galīgo elementu metodes lineārās interpolācijas funkcijas nodrošina to, ka  $h$  ir iespējams noteikt jebkurā BAB apgabala iekšienes punktā, jo  $h$  katra elementa ietvaros mainās pēc interpolācijas funkciju noteiktajām lineārajām sakarībām (Stankevica, 2011; Virbulis et al., bez dat.).

Ievietojot aprēķinos noteikto pjezometrisko ūdens līmeņa lauku no Darsī likuma atvasinātā vienādojumā:

$$v = K \frac{dh}{dl}, \quad (4.8.)$$

kur:  $v$ - pazemes ūdens plūsmas ātrums;

$K$  – filtrācijas koeficients (m/dnn);

$dh$  – pjezometriskā ūdens līmeņa starpība starp diviem mērījumu punktiem;

$dl$  – distances attālums starp diviem mērījumu punktiem;



iespējams noteikt pazemes ūdeņu plūsmas ātrumu jeb ātruma lauku. Ņemot vērā, ka katrā modeļa elementā  $h$  mainību definē lineāras sakarības, līdz ar to pazemes ūdens plūsmas ātrums ir konstants katrā modeļa struktūras galīgā elementa iekšienē un no elementa uz elementu mainās lēcienviedīgi (Stankevica, 2011).

#### 4.4.6. BAB modeļa kalibrācija

Viens no pašiem svarīgākajiem soļiem hidroģeoloģiskā modeļa izveides gaitā ir modeļa kalibrācija, kas pielīdzina modelī ietvertos un attēlotos hidroģeoloģiskos parametrus to dabā novērotajiem lielumiem. Lielu reģionālu modeļu gadījumā zināšanas par sistēmā modelētajiem parametriem ļoti bieži ir nepietiekamas, kā arī modeļa ģeometrijas un filtrācijas koeficientu datu trūkums ir ierasta lieta. Stohastiski heterogēnā vidē ar neregulāru ģeometrisko uzbūvi un lielu filtrācijas īpašību variāciju, modeļa kalibrācija ir atkarīga no režģa elementu izmēriem (Virbulis et al., bez dat.).

Pazemes ūdeņu plūsmu kalibrēšana visbiežāk tiek veikta izmantojot modificētu Gausa – Ņūtona metodi (Harrar, 2003) vai ģenētisko algoritmu (Bastani, 2010). BAB modeļa kalibrācijai ir izmantota L-BFGS-B optimizācijas metode. L-BFGS-B metodē tiek izmantots limitētas atmiņas algoritms, kas paredzēts liela mēroga nelineāru optimizācijas problēmu risināšanai (Zhu, 1994).

BAB modelis ir kalibrēts izmantojot pieejamos ūdens līmeņu mērījumu datus no monitoringa urbumiem un no urbumiem to ierīkošanas brīdī. Kopumā šādi dati ir pieejami par periodu no 1913. gada līdz mūsdienām, kaut gan, apmēram, 90 % urbumu ir tikuši ierīkoti pēc 1962. gada (99 % pēc 1953. gada). 90 % no ūdens līmeņu mērījumiem monitoringa urbumos ir veikti pēc 1972. gada. Ņemot vērā, to, ka pieejamo datu sadalījums nav vienmērīgs visā teritorijā, katram urbumam tika piešķirts svara koeficients, lai urbumu kopas netiktu pārvērtētas. Svara koeficients urbumiem modelī ir izteikts šādi (Virbulis et al., bez dat.):

$$c_{ri} = \sum_{i=1}^N \left( \frac{1}{\sum_{j=1}^N e^{-\frac{(r_i-r_j)^2}{\sigma^2}}} \right) / \sum_{j=1}^N e^{-\frac{(r_i-r_j)^2}{\sigma^2}} \quad (4.9.)$$

kur:  $r_i$  – attiecīgā urbuma koordinātu vektors,  $r_j$  – koordinātu vektors līdz blakus esošajiem urbumiem,  $N$  – visi urbumi konkrētajā slānī,  $\sigma$  – urbuma ietekmes attālums (šajā gadījumā – 1500 m).

Izmantotie monitoring dati parāda noteiktu ūdens līmeņa laika atkarību pazemes ūdens horizontos, ko intensīvi izmanto ūdens apgādē. Ņemot vērā, ka BAB modelis ir stacionārs, mūsdienu hidroģeoloģiskās situācijas raksturošanai tiek izmantoti hidroģeoloģisko urbumu dati par 2000. gadu. Taču ņemot vērā faktu, ka šī konkrētā gada dati ir nepietiekami, tādēļ ir

izmantoti dati arī par blakus esošajiem gadiem, bet ar mazāku svara koeficientu (Virbulis et al., bez dat.):

$$c_{ti} = \frac{e^{-\frac{(t_i-t_0)^2}{2\tau^2}}}{\sum_{i=1}^N e^{-\frac{(t_i-t_0)^2}{2\tau^2}}} \quad (4.10.)$$

Kur:  $t_0$  – kalibrācijas gads (2000. gads),  $t_i$  – novērojumu gads,  $N$  – novērojumu skaits,  $\tau$  – ietekmes laiks.

Modelim, kalibrācijas procesā tiek aprēķināta arī mērķa funkcija jeb kvadrātsikā starpība starp dabā novērotajiem un modelētajiem ūdens līmeņiem. Mērķa funkciju  $Z_j$ , konkrētam slānim  $j$ , izsaka ar šādu vienādojumu (Virbulis et al., bez dat.):

$$Z_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^N c_{ti} c_{ri}} \sum_{i=1}^N c_{ti} c_{ri} (h_{obs} - h_{mod})^2 \quad (4.11.)$$

kur:  $h_{obs}$  – novērotais ūdens slīmenis,  $h_{mod}$  – modelētais ūdens līmenis,  $N$  – novērojumu skaits,  $j$  – modeļa slānis.

Modeļa kalibrācijas mērķa funkcija ir samazināta jeb optimizēta izmantojot augstākminēto L-BFGS-B optimizācijas metodi. Kopējā modeļa kalibrācijas mērķa funkcija  $Z$  (citviet tekstā MF) ir vienāda ar modeļa slāņu mērķa funkciju  $Z_j$  summu (Virbulis et al., bez dat.).

Pazemes ūdens modelī definētajos dziļajos horizontos – kembrijā un silūrā – ordovikā ir ar augstu mineralizācijas pakāpi un ūdens blīvums sasniedz  $1,08 \text{ g/cm}^3$ . Šī iemesla dēļ, novērotie ūdens līmeņi kembrijā ir koriģēti uz virtuāliem saldūdens līmeņiem, reizinot ūdens kolonnas, starp S – O slāņkopas virsmu un ūdens līmeni urbumā, augstumu ar konkrētajā urbumā nomērīto ūdens blīvumu (Virbulis et al., bez dat.).

Par BAB modeļa kalibrācijas parametriem tika izmantotas modeļa slāņu horizontālās un vertikālās filtrācijas koeficientu vērtības. Sākotnējās filtrācijas koeficientu vērtības tika ņemtas no pieejamajiem datiem, kas iegūti urbumu atsūkņēšanas rezultātā, vai arī, vērtības, kas individuāliem slāņiem izdalītas balstoties uz slāņa litoloģisko informāciju. Pieņemot, ka nogulumiežu slāņi veido neviendabīgu ģeoloģisko vidi, vertikālās filtrācijas koeficientu vērtības ir pieņemtas 10 reizes mazākas nekā horizontālās vērtības. Optimizācijas aprēķinos attiecība starp vertikālo un horizontālo filtrācijas koeficientu ir saglabāta fiksēta, bet modeļa slānim piešķirtā filtrācijas koeficienta vērtība, meklējot optimālo variantu, šajā procesā tiek mainīta (ibid).

Katram modeļa slānim sākotnēji ir piešķirta viena horizontālā un vertikālā filtrācijas koeficienta vērtība visā modeļa apgabalā. Izņēmums ir kvartāra nogulumi, kur materiāls ar dažādu ūdenscaurlaidību (māli, aleirīts, morēna, smiltis, grants) mijas dažādu biezumu slāņmijās. Teritorijās ar pietiekamu datu pārklājumu (Latvijas teritorija), lokāla horizontālā un

vertikālā ūdenscaurlaidība horizontam ir izdalīta izmantojot urbumu litoloģiskos aprakstus. Efektīvā vertikālā ūdenscaurlaidība  $K_{z\_eff}$  katram urbumam ir parēķināta kā slāņkopas slāņu pretestību summa (Virbulis et al, under revision 2012):

$$K_{z\_eff} = \frac{\sum_{i=1}^N dZ_i}{\sum_{i=1}^N dZ_i / K_i} \quad (4.12.)$$

Bet horizontālā efektīvā ūdenscaurlaidība  $K_{xy\_eff}$  aprēķināta kā paralēlā slāņkopas slāņu pretestību summa:

$$K_{xy\_eff} = \frac{\sum_{i=1}^N dZ_i * K_i}{\sum_{i=1}^N dZ_i} \quad (4.13.)$$

Kur:  $dZ_i$  – slāņkopās slāņa augstums,  $K_i$  – slāņkopas slāņa ūdenscaurlaidība (Virbulis et al., bez dat.). Pēc šiem aprēķiniem vērtības tiek ekstrapolētas uz struktūras režģa elementiem kā konstantas vērtības. Vēlāk iegūtās tipiskās ūdenscaurlaidības vērtības tika piešķirtas katram slāņkopas slānim. Optimizācijas procesā efektīvās vertikālās un horizontālās ūdensvadāmības vērtības tika reizinātas ar vienu mainīgo parametru (ibid).

BAB modelim kopumā piešķirti 42 kalibrācijas parametri – pa vienam parametram katram no 41 BAB pazemes ūdens horizontiem un viens infiltrācija koeficients. Kopumā BAB modelī izdalīti 42 slāņi, taču AR – PR ieži jeb kristāliskais pamatklintājs, kas veido baseina ūdenscaurlaidīgo pamatni un, faktiski, artēziskā baseina ūdens apmaiņas procesos nepiedalās, kalibrācijas procesā netiek iekļauts. Modeļa kalibrācijā no mērķa funkcijas optimizācijas aprēķina tiek izslēgti reģionālie sprostslāņi – ordovika un silūra slāņkopas.

## 5. ARUKILAS – AMATAS ŪDENS HORIZONTU KOMPLEKSA KLASTISKO NOGULUMIEŽU FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA VĒRTĪBAS UN TO SADALĪJUMS LATVIJĀ

### 5.1. Urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktā filtrācijas koeficienta datu kvalitātes analīze

Pētījuma ietvaros veicot datubāzē pieejamo, urbumu atsūkņēšanas darbos iegūto filtrācijas koeficientu kvalitatīvu novērtējumu, sākotnēji tika izstudēti vairāki literatūras avoti, par K vērtībām smilšainajos nogulumiežos (Brassington, 1988, Шварцев, 1996, Маслов и Комов, 1871), (5.1. tabula).

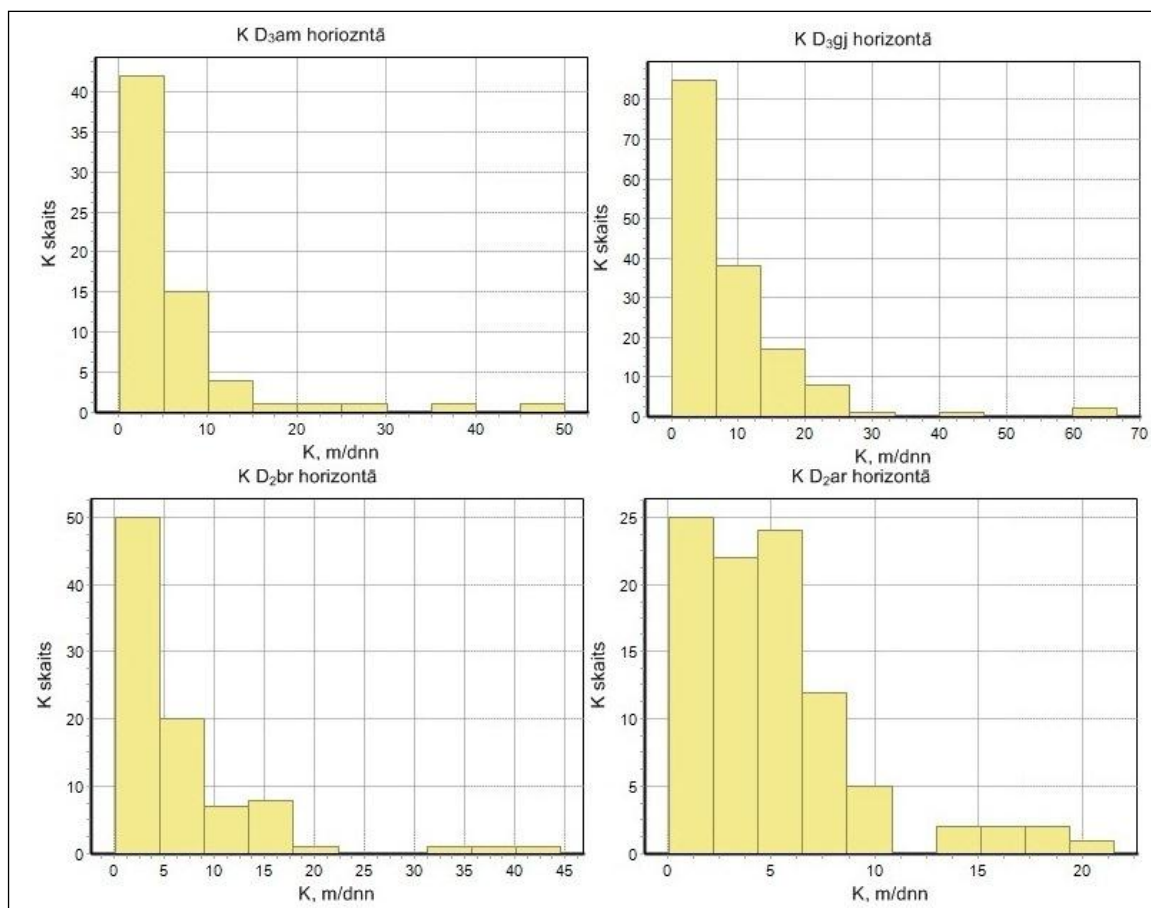
*5.1. tabula*

**Dažādu nogulumiežu filtrācijas koeficienti** (Izstrādājusi autore, izmantojot Brassington, 1988; Шварцев, 1996; Маслов и Комов, 1871)

Nogulumu veids	Filtrācijas koeficients, k (m/dnn)
Grants, rupja grants	100 – 1000, >1000
Rupjgraudaina smilts	20-100; 50 - 200
Vidējgraudaina smilts	5-20;
Smalkgraudaina smilts	1-7
Aleirīts	$10^{-3}$ - 1
Māls	$10^{-8}$ - $10^{-3}$

Balstoties uz zināšanām par devona klastisko nogulumiežu litoloģisko sastāvu (Курш, 1975; Brangulis u.c., 1998), tika pieņemts, ka darbā apskatītajos Arukilas – Amatas horizontu kompleksa horizontos fiksētie filtrācijas koeficienti kopumā nepārsniegs vidēji 20 m/dnn. Kā arī balstoties uz iepriekšējiem vispārīgiem pētījumiem un pārskatiem par K vērtību sadalījumu Latvijas teritorijā (Bičko u.c., 1985), vidējām vērtībām Arukilas un Burtnieku horizontos kopumā nevajadzētu pārsniegt 4 – 7 – 8 m/dnn, 10 – 15 m/dnn Gaujas horizontā un 2 – 4 m/dnn smalkgraudainajos Amatas horizonta nogulumos (Bičko u.c., 1985).

Analizējot pētāmo ūdens horizontu filtrācijas īpašības, sākotnēji tika apskatītas visas pieejamās vērtības un izveidots to vērtību skaita un vērtību amplitūdas sadalījums jeb sadalījuma histogrammas (5.1. attēls).



**5.1. attēls. Urbumu atsūkņēšanas darbos iegūto K vērtību D<sub>3am</sub>, D<sub>3gj</sub>, D<sub>2br</sub> un D<sub>2ar</sub> horizontos sadalījuma histogrammas (sastādījusi autore)**

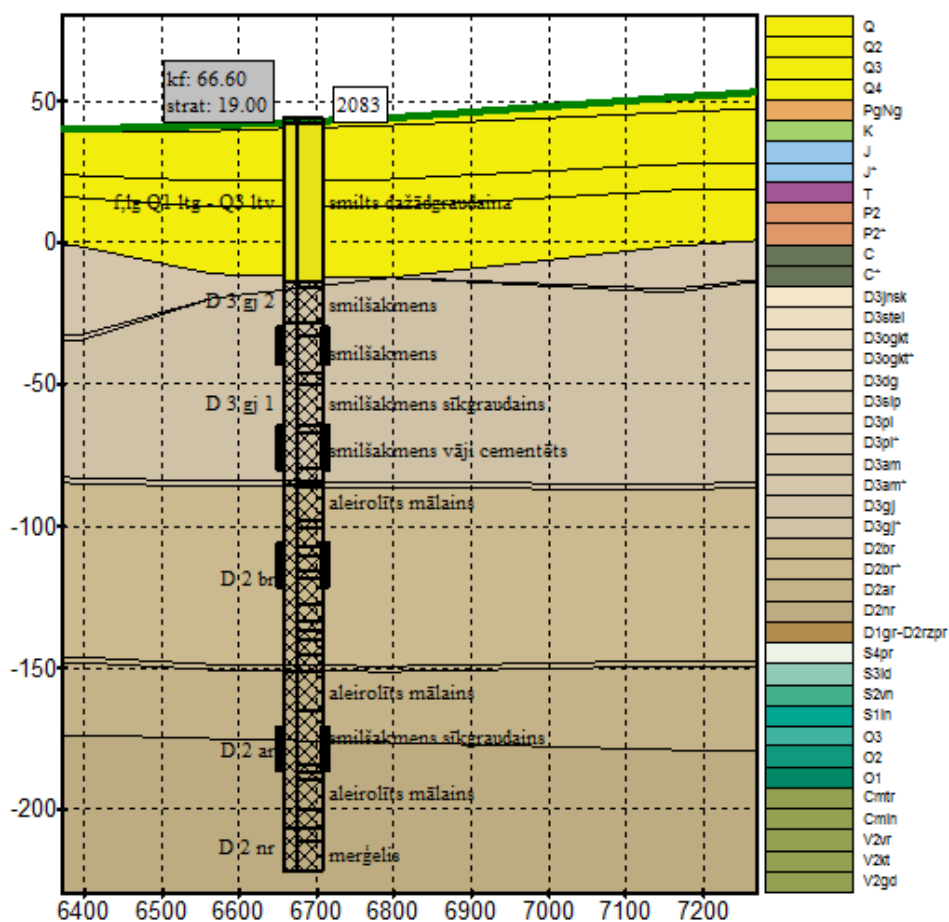
Skatoties uz šo (5.1. attēls) K datu daudzuma un vērtību amplitūdas sadalījumu, redzams, ka visos horizontos ir novēroti filtrācijas koeficienti, kas ievērojami pārsniedz gan iepriekšējos pētījumos norādītās vērtības gan teorētiskos 20 m/dnn. Amatas horizontā K vērtības kopumā mainās no 0,1 – 50 m/dnn, kur apmēram 80% no kopējiem K mērījumiem vērtība ir robežās no 0,1 līdz ~10 m/dnn. Gaujas horizontā kopējās K vērtības mainās robežās no 0 līdz nedaudz vairāk kā 60 m/dnn. Gaujas horizontā ~ 80% vērtību ir amplitūdā no 0 – 14 m/dnn, ~ 17% vērtību ir robežās no 15 – 25 m/dnn, pārējie 3% vērtību krietni pārsniedz 25 m/dnn. Burtnieku horizontā kopējās K vērtības atrodas robežās no 0,02 – 44 m/dnn, no kopējā datu apjoma 78% vērtību ir robežās no 0,02 - ~ 9 m/dnn, aptuveni 17% no vērtībām atrodas robežās no 9 – 17 m/dnn un 5% vērtību ievērojami pārsniedz 20 m/dnn. Arukilas horizontā situācija ir līdzīga kā iepriekš aprakstītajos horizontos, lielākais vairākums ~ 75 % K vērtību atrodas robežās no ļoti mazām vērtībām – 0,05 līdz vidēji 7 m/dnn, 18 % vērtību atrodas robežās no 7 – 11 m/dnn, bet pārējie 7% vērtību ievērojami pārsniedz 12 m/dnn. Kopumā Arukilas horizontā k vērtības mainās no 0,05 – 21,5 m/dnn. Iepriekš apskatītajos D<sub>3am</sub>, D<sub>3gj</sub>

un  $D_{2br}$  un  $D_{2ar}$  horizontos ļoti izteikti ir novērojams K vērtību maksimālais sadalījums atbilstošs literatūrā norādītajam horizontus vispār raksturojošajām K vērtībām, taču 15 – 20 % no kopējām vērtībām ir ievērojami lielākas un tās jāņem vērā apskatot kopējo K sadalījumu horizontos.

Ņemot vērā faktu, ka iegūtajos filtrācijas koeficientu datos tiek novērotas šādas nesaistes, tika veikts par horizontiem pieejamo K vērtību izvērtējums, lai konstatētu un izslēgtu no kopējā, turpmāk darbā izmantojamā, datu apjoma iespējamās kļūdainās vērtības.

Filtrācijas koeficientu datu kvalitātes analīze jeb iespējamo kļūdaino K vērtību izslēgšana no kopējā datu apjoma tika veikta izmantojot urbumu filtru ieguluma dziļuma analīzi attiecībā pret horizontu pārsedzošajiem kvartāra nogulumiem, kā arī izvērtējot sprostsliņņa esamību starp pamatiežu ūdens horizontu un pārsedzošajiem kvartāra nogulumiem. Šāda metode tika izvēlēta, jo zinot pētāmo ūdens horizontu nogulumu laterālās izplatības robežas, praktiski visi horizonti, vairāk vai mazāk, dažādās vietās, piemēram, gar to kopējo ziemeļu izplatības robežu u.c., atsedzas zemkvartāra virsmā (Куршс, 1975; Сорокин и др., 1981), vai arī ļoti tuvu tai. Ar filtra ieguluma dziļuma analīzes metodi, faktiski, tika pārbaudīti urbumi, kuros tikušas fiksētas nesamērīgi augstas K vērtības, jo principā tās uzskatāmas par kļūdainām.

Zemāk 5.2. attēlā parādīts viens no šādiem gadījumiem. Konkrētajā gadījumā urbums 2083 ierīkos devona klastiskajā slāņkopā, sasniedzot Narvas sprostsliņni, ar kopējo dziļumu nedaudz vairāk kā 265 m. Urbums atrodas Kurzemes rietumu daļā. Urbuma pirmais filtra intervāls atrodas aptuveni 10 – 13 m zem kvartāra nogulumiem un tā kopējais garums ir 12 m. Urbumam fiksēta maksimālā fiksētā filtrācijas koeficienta vērtība Gaujas horizontā – 66,6 m/dnn. Šādu K vērtību urbumā iespējams skaidrot ar faktu, ka ģeoloģiskajā griezumā virs Gaujas horizonta smilšakmeņiem iegūļ kvartāra smilšainie nogulumi, kas ir ūdeni labi vadoši, un tādejādi ietekmē urbumā atsūkņēšanas darbu rezultātā iegūto horizonta filtrācijas koeficienta vērtību. Apskatot detālu urbuma griezumā (5.1., 5.2. attēls), redzams, ka Gaujas horizonta smilšakmeņi mijas ar aleirolītiem, kam teorētiski vajadzētu veikt sprostsliņņa funkcijas, taču ļoti iespējams, ka aleirolītu starpsliņņi griezumā nav izturēti, tādejādi zaudējot savas sprostsliņņa funkcijas.



5.2. attēls. Urbuma 2083 ģeoloģiskais griezum un konstrukcija ar filtra intervāliem (sastādījusi autore, izmantojot, LVGMC, bez dat.)

Apskatot detālu urbuma griezum (5.3. attēls), redzams, Gaujas horizonta smilšakmeņi mijas ar aleirolītiem, kam teorētiski vajadzētu veikt sprostsļāņa funkcijas, taču ļoti iespējams, ka aleirolītu starpsļāņi griezumā nav izturēti, tādējādi zaudējot savas sprostsļāņa funkcijas.

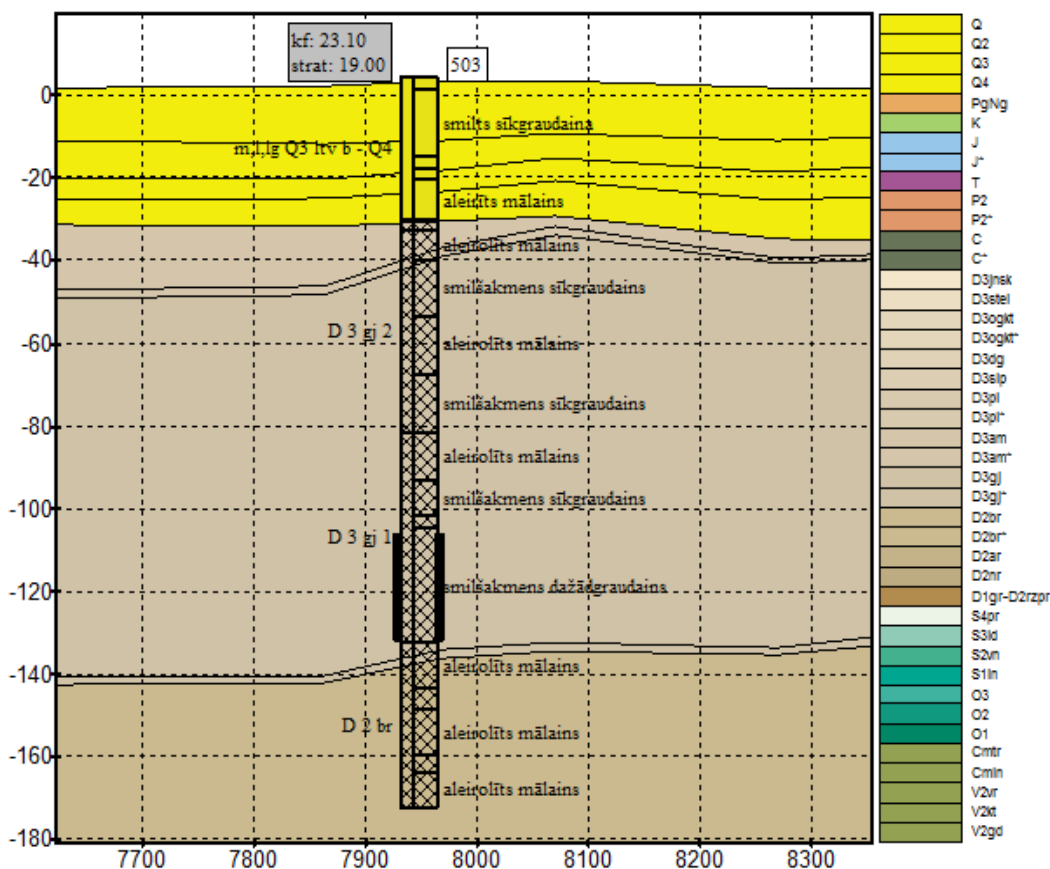
UrbNr	ztop	zbot	HGid	materials	PiemaisTips	Piem1	Piem2	Piem3
2083	44.12	41.92	g Q3 ltv	māsmilts morēnas				
2083	41.92	-13.98	f,lg Q1 ltv - Q3 ltv	smilts dažādgraudaina	Starpsļāņi:	smilts-grants-olu nogulum		
2083	-13.98	-15.98	D 3 gj 2	aleirolīts mālainš				
2083	-15.98	-28.28	D 3 gj 2	smilšakmens	Starpsļāņi:	aleirolīts		
2083	-28.28	-33.08	D 3 gj 1	aleirolīts mālainš	Starpsļāņi:	aleirolīts smilšains	smilšakmens mālainš	
2083	-33.08	-46.08	D 3 gj 1	smilšakmens	Starpsļāņi:	aleirolīts		
2083	-46.08	-50.08	D 3 gj 1	aleirolīts mālainš				
2083	-50.08	-64.28	D 3 gj 1	smilšakmens sīkgraudains	Starpsļāņi:	aleirolīts smilšains		
2083	-64.28	-66.68	D 3 gj 1	māls				
2083	-66.68	-79.88	D 3 gj 1	smilšakmens vāji cementēts	Starpsļāņi:	aleirolīts		
2083	-79.88	-84.48	D 3 gj 1	aleirolīts	Starpsļāņi:	smilšakmens mālainš		

Structure: BABV1\_Opt.str

5.3. attēls. Urbuma ģeoloģiskā griezuma augšējās daļas informācijas fragments (Sastādījusi autore, izmantojot LVGMC, bez dat.)

Attēlā redzamo datu kolonnu paskaidrojums: *UrbNr* – urbuma datubāzes numurs; *ztop* un *zbot* – urbumā izdalīto slāņu augšējās un apakšējās virsmas absolūtās augstuma atzīmes; *Hgid* – slāņu ģeoloģiskais indekss; *materials* – dominējošais nogulumiežu veids; *PiemaisTips* un *Piem1* u.c. – atzīmes par mazākas nozīmes starpsļāņiem un to materiāla veidu.

Šādā veidā novērtējot visos pētāmajos horizontos maksimālās, augstās fiksētās vērtības nācās arī secināt, ka ne vienmēr augstās K vērtības ir skaidrojamas ar sprostsļāņa trūkumu starp horizontu un augstāk iegulošajiem ūdeni labāk vadošajiem nogulumiežiem, bet, gluži vienkārši, ar nogulumiežu litoloģisko tipu. Tā piemēram urbumā 503 fiksēta K vērtība 23,10 m/dnn un tajā filtra intervāls ierīkots Gaujas horizontā, dažādgraudainu smilšakmeņu slānī (5.4. attēls).



5.4. attēls. Urbuma 503 ģeoloģiskais griezum un konstrukcija ar filtra intervāliem  
(sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Lielākoties horizontos fiksētās maksimālās augstās filtrācijas koeficientu vērtības horizontos saistās ar izteikta sprostsļāņa trūkumu starp horizontu un augstāk iegulošiem ūdeni labi vadošiem, visbiežāk, kvartāra nogulumiežiem, taču tika konstatēti arī pāris urbumi ar noteiktām ļoti augstām K vērtībām, kuras nebija iespējams izskaidrot ne ar vienu no iepriekš minētajiem iemesliem. Šādas vērtības no kopējā datu apjoma arī tika izslēgtas kā kļūdainas.

Kopumā, izslēdzot kļūdainos K datus no tālāk darbā izmantojamā datu apjoma, tika iegūts sekojošs datu apjoms ar optimizētu kopējo vērtību amplitūdu. (5.2. tabula).



**Sākotnējais, kļūdainais un kopējais izmantojamais K datu apjoms** (sastādījusi autore)

Pazemes ūdens horizonts	Sākotnējais K datu apjoms datubāzē	Kļūdaino K vērtību skaits	Kopējais izmantojamais K datu apjoms	Kopējā K vērtību amplitūda urbumos	Vidējā horizonta K vērtība
D <sub>3am</sub>	66	11	55	0,1 – 8,1	4,1
D <sub>3gj</sub>	152	5	146	0,3 – 23,1	7,51
D <sub>2br</sub>	89	5	84	0,02 - 15	5,15
D <sub>2ar</sub>	95	6	89	0,05 - 13	4.37

Turpmāk darbā, raksturīgāko K vērtību apgabalu izdalīšanai ūdens horizontos, tika izmantotas K vērtības, kas norādītas 5.2. tabulā, kā kopējais izmantojamais K datu apjoms.

## 5.2. Aprēķināto filtrācijas koeficienta vērtību izmantojamība

Papildus jau esošajiem datiem filtrācijas koeficients tika aprēķināts, balstoties uz granulometrisko analīžu rezultātiem, tādējādi nodrošinot iespēju papildināt kopējo esošo filtrācijas koeficientu datu apjomu par nedaudz vairāk nekā 70 ierakstiem (4.1. nodaļa, 4.1. tabula).

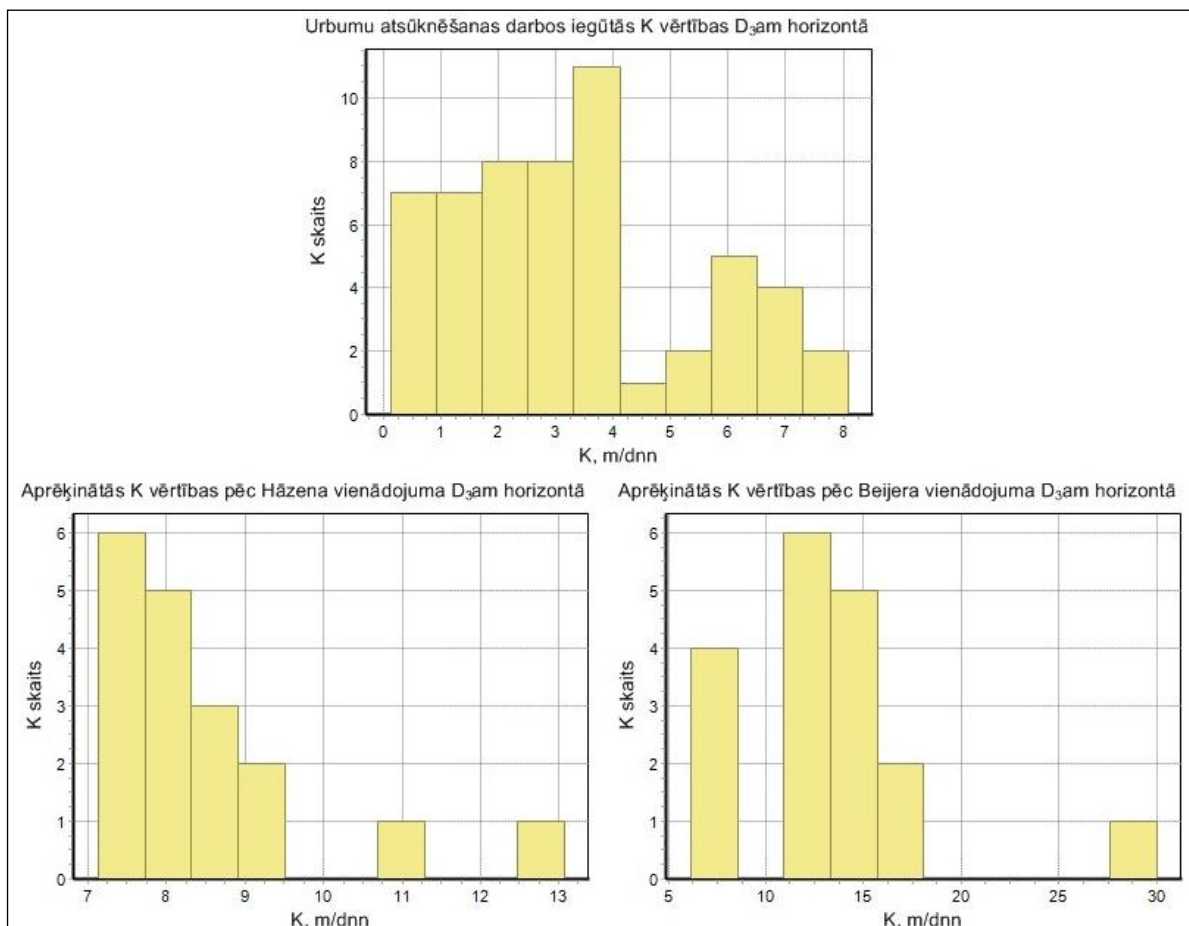
Pēc aprēķināto filtrācijas koeficientu datu salīdzināšanas savā starpā, par tālāk darbā daļēji izmantojamiem tika atzīti pēc Hāzena vienādojuma aprēķinātās vērtības, jo Hāzena vienādojums daudzos līdzīgos pētījumos tiek atzīts par vienu no objektīvākajiem (Vienken and Dietrich, 2011; Song et al 2009; Odong, 2007), kā arī šis vienādojums tiek ļoti plaši izmantots K aprēķināšanai. Šīs savstarpējās aprēķināto K vērtību atšķirības ar histogrammas palīdzību analizētas visos darbā pētītajos pazemes ūdens horizontos.

Aprēķināto K vērtību izmantojamības novērtēšanai tika izmantots aprēķināto vērtību sadalījuma histogrammas salīdzinājums ar atsūknēšanas darbos iegūto K vērtību normālo sadalījumu.

Amatas horizontu, kopumā iespējams raksturot ar 55 filtrācijas koeficienta vērtībām. Aprēķinu ceļā tika veikts mēģinājums šo datu kopu papildināt vēl par 18 vērtībām, proti darbā bija pieejami granulometrisko analīžu rezultāti 18 urbumos attiecīgajā horizontā.

Analizējot Amatas horizonta K vērtību normālo sadalījumu, jeb respektīvi K vērtību skaita atkārtojamību noteiktā K vērtību amplitūdā, tika konstatēta sekojoša kopaina. Urbumu atsūknēšanas darbos iegūtās filtrācijas koeficientu vērtības atrodas robežās no 0,1 – 8,1 m/dnn (5.2. tabula, 5.5. attēls), ar maksimālo vērtību skaitu jeb aptuveni 67% vērtību robežās no 0,1 – 4 m/dnn. Savukārt pārējie 23% vērtību sadalās robežās no 4 – 8,1 m/dnn. Salīdzinot atsūknēšanas darbos fiksētās K vērtības ar aprēķinātajām vērtībām, kur par pamatu ticis ņemts nogulumiežu granulometriskais sastāvs, K vērtību skaita un amplitūdas sadalījums ievērojami

atšķiras. Filtrācijas koeficientu vērtības, kas iegūtas aprēķinos izmantojot Hāzena vienādojumu ir krietni augstākas nekā atsūkņēšanas darbos iegūtās. Ar Hāzena vienādojumu aprēķinātās K vērtības, kopumā mainās robežās no  $\sim 7 - 13$  m/dnn. 16 urbumiem, kam tika aprēķināts K tas ir robežās no  $7 - 9,5$  m/dnn, bet divos gadījumos vidēji 11 un 13 m/dnn (5.5. attēls).

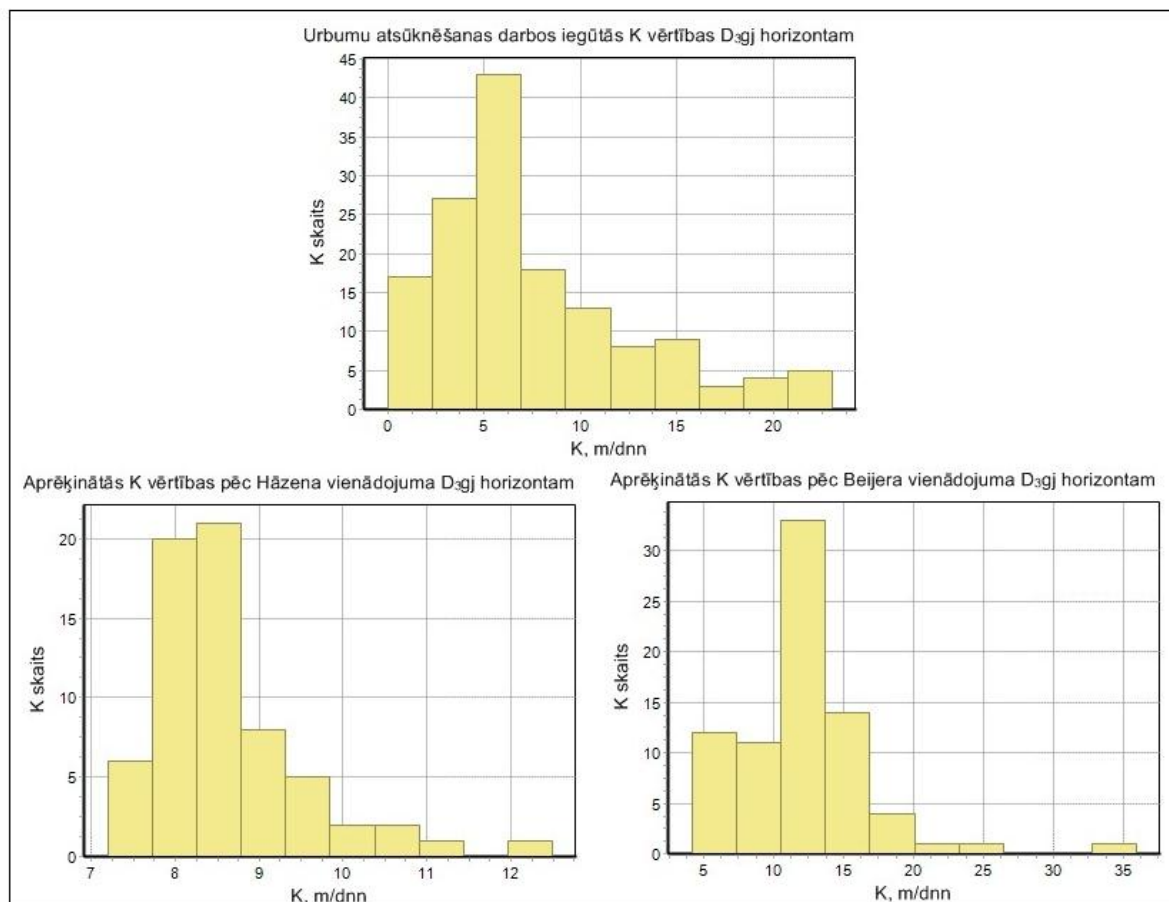


5.5. attēls. Urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtās un no granulometrisko analīžu datiem aprēķinātās K vērtības D<sub>3</sub>m horizontā (sastādījusi autore)

Salīdzinot iepriekš iegūtos rezultātus ar K vērtībām kas aprēķinātas izmantojot Beijera vienādojumu, nākas secināt, ka vidējais aprēķinātais K ievērojami pārsniedz atsūkņēšanas darbos iegūto K, jo kopējā vērtību amplitūda ir robežās no  $5 - 30$  m/dnn, un  $\sim 70\%$  no tām ir robežās no  $11 - 16$  m/dnn.

Gaujas horizonta filtrācijas īpašības jeb filtrācijas koeficientus kopumā iespējams raksturot ar datiem no 146 urbumiem (5.2. tabula, 5.6. attēls). Aprēķinu ceļā tika veikts mēģinājums šo datu kopu papildināt vēl par 66 vērtībām, jo darba izstrādes gaitā bija pieejami granulometrisko analīžu rezultāti 66 urbumos attiecīgajā horizontā.

Analizējot Gaujas horizonta K vērtību sadalījuma histogrammās uzskatāmi redzama atšķirība starp urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtajām un aprēķinātajām K vērtībām (5.6. attēls).

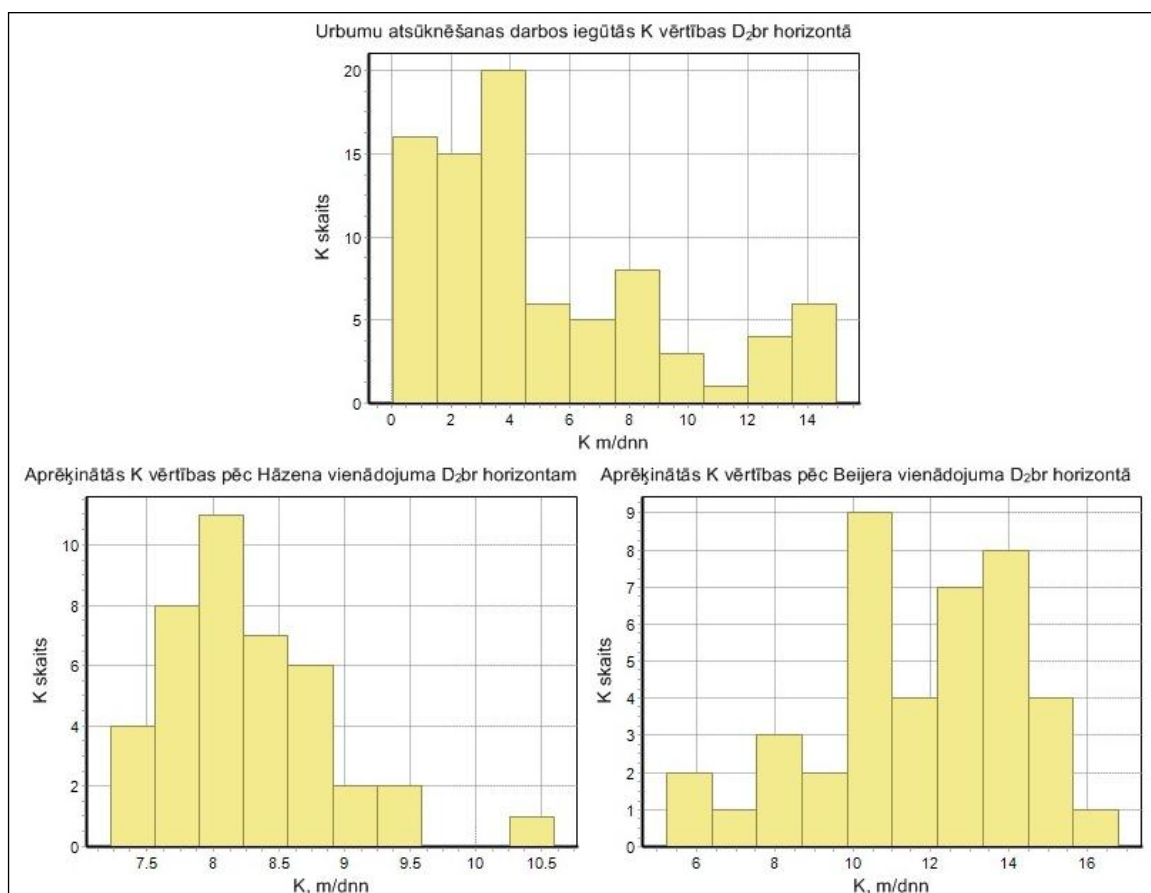


5.6. attēls. Urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtās un no granulometrisku analīžu datiem aprēķinātās K vērtības D<sub>3</sub>gj horizontā (sastādījusi autore)

Skatoties uz urbumu atsūkņēšanas darbos fiksētajām K vērtībām (5.6. attēls) – procentuāli lielākais mērījumu skaits ~ 71% no kopējā atrodas vērtību amplitūdā no 0 – 8 un 9 m/dnn, bet pārējās vērtības ~ 29% atrodas amplitūdā no 10 līdz 23 m/dnn. Ar Hāzena vienādojumu aprēķinātās K vērtības, principā, ļoti būtiski neatšķiras, jo 84% K vērtību atrodas robežās no 7 – 9 m/dnn, bet tikai 16% pārsniedz 9 m/dnn. Vienīgā atšķirība no dabā fiksēto K vērtību sadalījuma ir tā, ka aprēķinos netika iegūtas vērtības mazākas par 7 m/dnn. Tas iespējams skaidrojams ar aprēķina metodes pielietojuma ierobežojumiem. Apskatot ar Beijera vienādojumu aprēķināto filtrācijas koeficientu vērtību sadalījumu, situācija krasi mainās. Šajā gadījumā K vērtības ir būtiski lielākas par dabā fiksētajām un pēc Hāzena vienādojuma aprēķinātajām. Proti, vērtību skaits, kas atrodas robežās no 5 – 10 m/dnn ir tikai 29,4% no kopējā aprēķināto vērtību skaita. Visvairāk vērtību – 66,8% atrodas robežās no 10 – 20 m/dnn, bet ~ 4% no aprēķinātajām vērtībām ir lielākas par 20 m/dnn.

Burtnieku pazemes ūdens horizontā, kopumā, urbumu atsūkņēšanas darbos tikuši noteikti filtrācijas koeficienti 95 urbumos, no kuriem, izslēdzot kļūdainās vērtības par izmantojamiem atzīti 89 urbumu koeficienti. Savukārt, izmantojot matemātiskos aprēķinus, balstoties uz granulometrisko analīžu rezultātu daudzumu horizontā, kopējo K datu apjomu iespējams papildināt vēl par 41 ierakstu (4.1. tabula).

Izvērtējot Burtnieku horizontam pēc Hāzena un Beijera vienādojumiem aprēķinātās K vērtības, salīdzinot tās savā starpā un ar urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktajām, konstatējama līdzīga situācija kā abos iepriekš apskatītajos gadījumos. Proti, aprēķinātās vērtības diezgan uzskatāmi pārsniedz dabiski noteiktās (5.7. attēls).



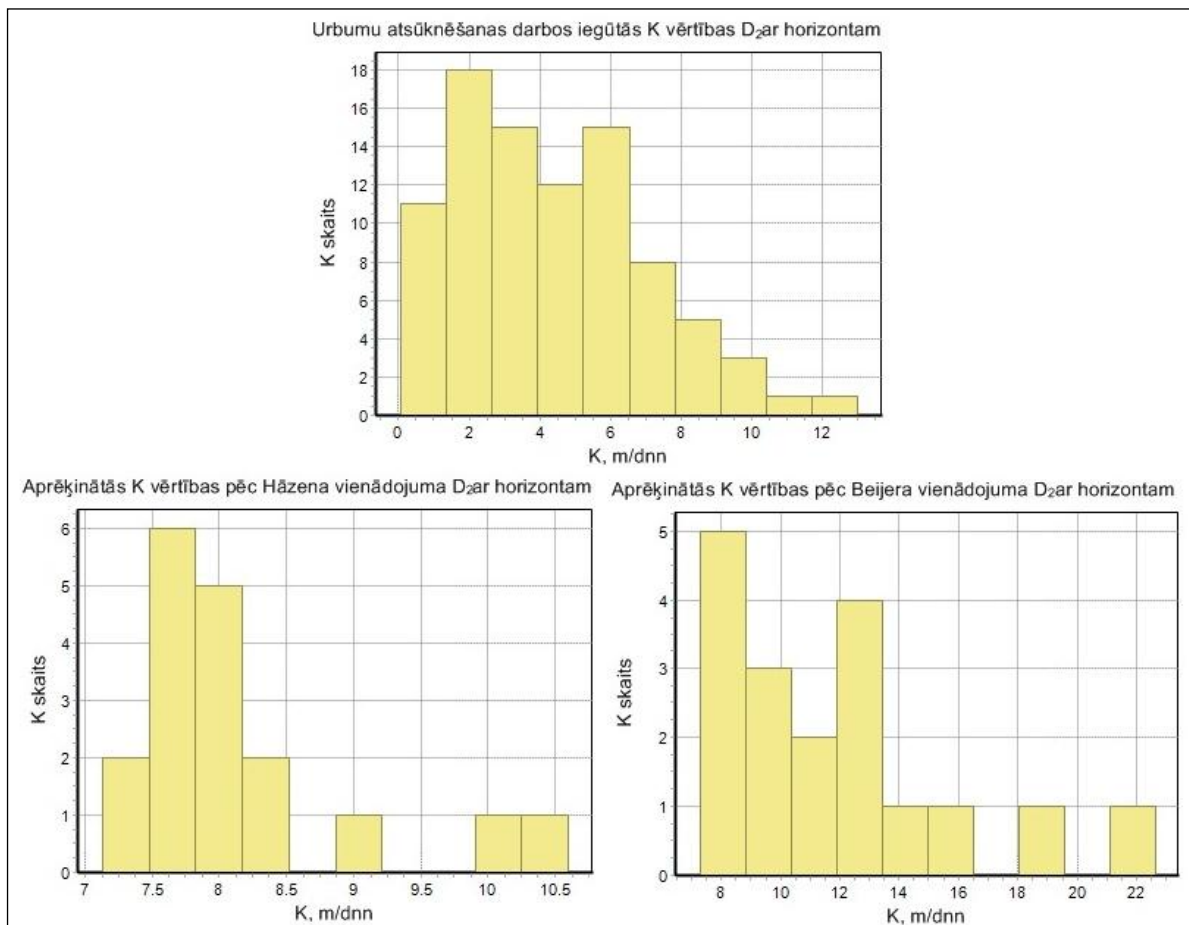
5.7. attēls. Urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtās un no granulometrisko analīžu datiem aprēķinātās K vērtības D<sub>2</sub>br horizontā (sastādījusi autore)

Urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktās K vērtības, pēc kļūdaino datu izņemšanas no kopējā izmantojamā datu apjoma, Burtnieku horizontā, mainās robežās no 0,02 – 15 m/dnn. No kopējā vērtību apjoma, ~ 60% vērtību ir robežās no 0,02 – 4 m/dnn, savukārt 21% vērtību mainās no 4 – 9 m/dnn un tikai atliekušie 19% vērtību ir salīdzinoši augstas – 9 – 15 m/dnn. Skatoties uz aprēķinātajām K vērtībām, datu sadalījums, līdzīgi kā iepriekš aprakstītajos horizontos, lielāko vērtību apjomu veido ar krietni augstākām K vērtībām. Hāzena vienādojuma pielietošanas gadījumā maksimums vērtību, 80% atrodas robežās no 7,5 – 9

m/dnn, bet Beijera vienādojumā aprēķināto vērtību vairākums svārstās no 10 – 16 m/dnn, sastādot 78% no kopējā vērtību apjoma. Pārējās K vērtības Hāzena vienādojuma gadījumā, kas mainās no ~ 3 – 7,5 un 9 – 11 m/dnn, aptuveni vienādās daļās sastāda 20% no kopējā vērtību apjoma. Beijera vienādojuma gadījumā ~ 20% sastāda vērtības, kas atrodas robežās no ~ 3 līdz 10 m/dnn.

Arukilas pazemes ūdens horizontā, kopumā, urbumu atsūkņēšanas darbos tikuši noteikti filtrācijas koeficienti 95 urbumos, no kuriem, izslēdzot kļūdainās vērtības par izmantojamiem atzīti 89 urbumu koeficienti, bet izmantojot matemātiskos aprēķinus K dati aprēķināti vēl 18 urbumiem (4.1. tabula).

Analizējot Arukilas horizonta, urbumu atsūkņēšanas darbos noteikto un pēc granulometrijas datiem aprēķināto filtrācijas koeficientu vērtību sadalījumu arī vērojama tāda pati situācija kā visos iepriekš aprakstītajos horizontos. Urbumu atsūkņēšanas darbos fiksētās K vērtības ir vidēji mazākas, nekā aprēķinātā (5.8. attēls).



5.8. attēls. Urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtās un no granulometrisko analīžu datiem aprēķinātās K vērtības D<sub>2</sub>ar horizontā (sastādījusi autore)

Skatoties uz urbumu atsūkņēšanas darbos fiksētajām K vērtībām (5.8. attēls) – procentuāli lielākais mērījumu skaits 79 % no kopējā atrodas vērtību amplitūdā no 0,05 līdz

~ 6 m/dnn, bet pārējās vērtības ~ 21 % atrodas amplitūdā no 6 – 13,5 m/dnn. Ar Hāzena vienādojumu aprēķinātās K vērtības, no dabā noteiktajā atšķiras ar to maksimālo vērtību skaita koncentrāciju K robežās no 7 – 8 m/dnn (83 %). Savukārt tikai ~7% pārsniedz 9 m/dnn (8,7 – 10,6 m/dnn). Atšķirība no dabā fiksēto K vērtību sadalījuma arī ir tāda, ka aprēķinos netika iegūtas vērtības mazākas par 7 m/dnn. Tas iespējams skaidrojams ar aprēķina metodes pielietojuma ierobežojumiem. Apskatot ar Beijera vienādojumu aprēķināto filtrācijas koeficientu vērtību sadalījumu, situācija ir līdzīga iepriekš aprakstītajiem gadījumiem. Beijera vienādojuma gadījumā K vērtības ir būtiski lielākas par dabā fiksētajām un pēc Hāzena vienādojuma aprēķinātajām. Proti, kopējā vērtību amplitūda ir robežās no ~ 7 līdz 22 m/dnn. Visvairāk vērtību – 77% atrodas robežās no ~ 8 - 14 m/dnn, bet pārējās aprēķinātās vērtības ir lielākas par 14 m/dnn.

Kopumā, salīdzinot dabiski noteiktās un aprēķinātās K vērtības un izvērtējot aprēķināto vērtību izmantojamību kopīgu uzdevumu risināšanā, jāsecina, ka darbā izmantotie aprēķinu vienādojumi nesniedz cerētos rezultātus. Proti, ir novērojamas pārāk lielas atšķirības starp dabiski noteiktajām un aprēķinu ceļā iegūtajām K vērtībām, kas neļauj šos datus tālāk izmantot objektīvai horizonta filtrācijas īpašību novērtēšanai. Konstatētajām, noteikto un aprēķināto vērtību atšķirībām un aprēķināto datu salīdzinoši sliktajai kvalitātei, par iemeslu var būt vairāki faktori – aprēķinu vienādojumu lietošanas ierobežojumi, granulometrisku datu nepilnības un nepietiekamība, u.c. Kā arī, jāņem vērā fakts, ka K aprēķināšana, kā metode, sniedz pozitīvi vērtējamus rezultātus, ja raksturojoši jānovērtē teritorija par kuru iepriekš nekas nav zināms (Vienken and Dietrich, 2011). Tomēr, ņemot vērā, šajā nodaļā aprakstītās K datu atšķirības un pētījuma nepieciešamību pēc maksimāli kvalitatīvām K vērtībām, aprēķinātās K vērtības kopējā datu apjomā netika iekļautas un darba turpmāko uzdevumu izpildē netika ņemtas vērā.

### **5.3. Arukilas – Amatas kompleksa horizontu raksturīgāko K vērtību apgabali**

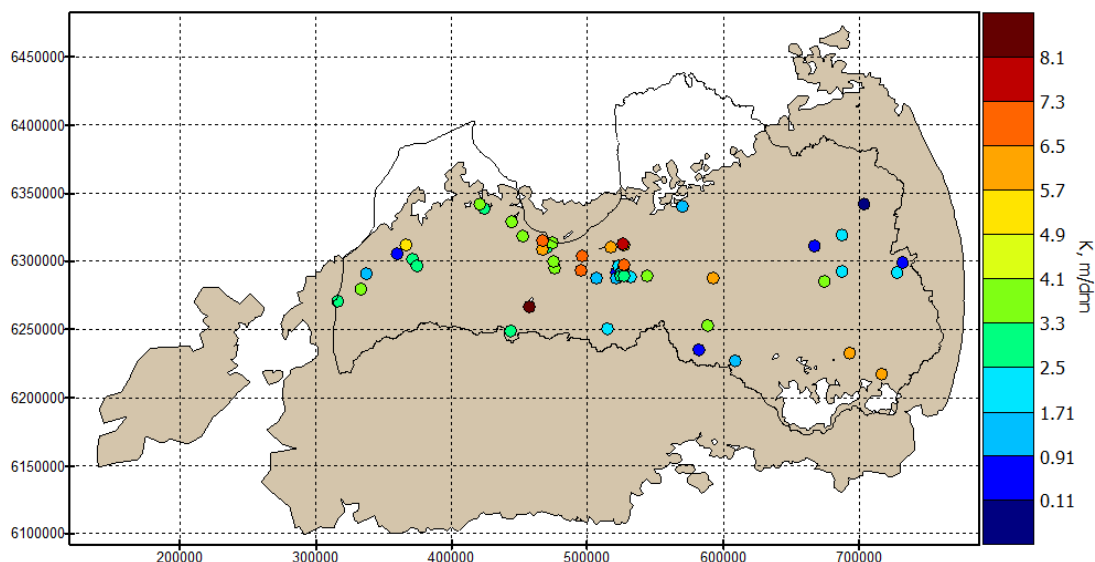
Analizējot pieejamos filtrācijas koeficientu datus, veicot to vērtību novērtējumu, kā arī saistību ar nogulumiežu granulometrisku un litoloģisko sastāvu, katrs apskatītais pazemes ūdens horizonts tā izplatības teritorijā Latvijā tika sadalīts tam raksturīgos filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos. Ņemot vērā, ka pētītie pazemes ūdeņu horizonti ir izplatīti ne tikai Latvijas teritorijā, bet lielā daļā Baltijas artēziskā baseina, un arī izdalīto raksturīgo K vērtību apgabali tika novērtēti BAB hidroģeoloģiskā modeļa V1 versiju, kas ietver horizontu izplatību visā BAB teritorijā, tad darbā izmantotie dati tiek attēloti uz horizontu kopējās izplatības režģiem ar nodalītu Latvijas teritoriju. Attēlojot izdalītos raksturīgo filtrācijas koeficientu apgabalus Latvijas teritorijā, par pamatu ņemot iepriekš minētos BAB V1

horizontu režģus, horizontu apgabaliem, ārpus Latvijas teritorijas, attēlota konkrētajā modeļa versijā integrētā K vērtība.

Sākotnēji tika veikts mēģinājums horizontus sadalīt vairākos raksturīgos K vērtību apgabalos izmantojot K vērtības, kas iegūtas urbumu atsūkņēšanas darbos (LVĢMC, bez dat.). Taču novērtējot kopējo datu apjomu un izkliedi Latvijas teritorijā, tika secināts, ka kopējais datu apjoms daudzos gadījumos ir nepietiekams, tādēļ, papildus, tika skatīta un ņemta vērā arī informācija par nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu. Granulometrisko un litoloģisko datu izmantošana, mēģinot sadalīt apskatītos ūdens horizontus tiem raksturīgu K vērtību apgabalos, šajā gadījumā aprobežojās ar vispārīgu likumsakarību noteikšanu. Proti, augstāku K vērtību apgabalu izplatība horizontos tika salīdzināta ar vidējgraudainu un rupjgraudainu smilšakmeņu izplatības apgabaliem, kas noteikti pēc urbumu litoloģiskā apraksta (LVĢMC, bez dat.), kā arī, pēc salīdzinājuma ar smiltsiežu smalkās frakcijas, ar daļiņu izmēru mazāku par 0,05 mm, vidējo procentuālo izplatību urbumos, iegūtu no urbumu serdes granulometrisko analīžu rezultātiem (LVĢMC, bez dat.). Šāda metode jeb pētāmo parametru izplatības apgabalu salīdzinājums tika izmantots, jo sākotnējie mēģinājumi veikt korelāciju starp urbumos aprakstīto nogulumiežu litoloģiju, granulometrisko sastāvu un fiksētajām K vērtībām, datu nepietiekamības dēļ nesniedza gaidītos rezultātus. Proti, katrā horizontā ir atšķirīgs to urbumu skaits, kuros fiksēts K, kuros veiktas granulometriskā sastāva analīzes un, kuros šie abi parametri noteikti kopā. Proti, Amatas horizontā no kopējā urbumu skaita, kuros noteikts K – 66 urbumi, un no urbumiem, kuros pieejami dati par granulometriskā sastāva analīzēm – 81 urbums, abi parametri noteikti tikai 7 urbumos. Gaujas horizontā no 152 K urbumiem un 124 urbumiem ar granulometrijas rezultātu datiem, abi parametri kopā noteikti 22 urbumos. Burtnieku horizontā no visiem 89 K urbumiem un 104 urbumiem ar granulometrijas datiem, abi lielumi noteikti 17 urbumos, bet Arukilas horizontā no 95 K urbumiem un 96 granulometrisko analīžu urbumiem, dati par abiem parametriem pieejami 14 urbumos.

### **5.3.1. Amatas horizonts**

Apskatot K datu kopējo blīvuma sadalījumu Latvijas teritorijā (5.9.attēls), redzams, ka K datu punktu jeb urbumu, kuros ticis noteikts filtrācijas koeficients, izkliede ir ļoti liela. Blīvāka datu koncentrācija ir nosacīti Rīgas reģionā. Šajā teritorijā koncentrējas arī urbumi ar augstākām K vērtībām – vidēji aptuveni 6 m/dnn. Pārējā Latvijas daļā K vērtības mainās ļoti nenoteikti.

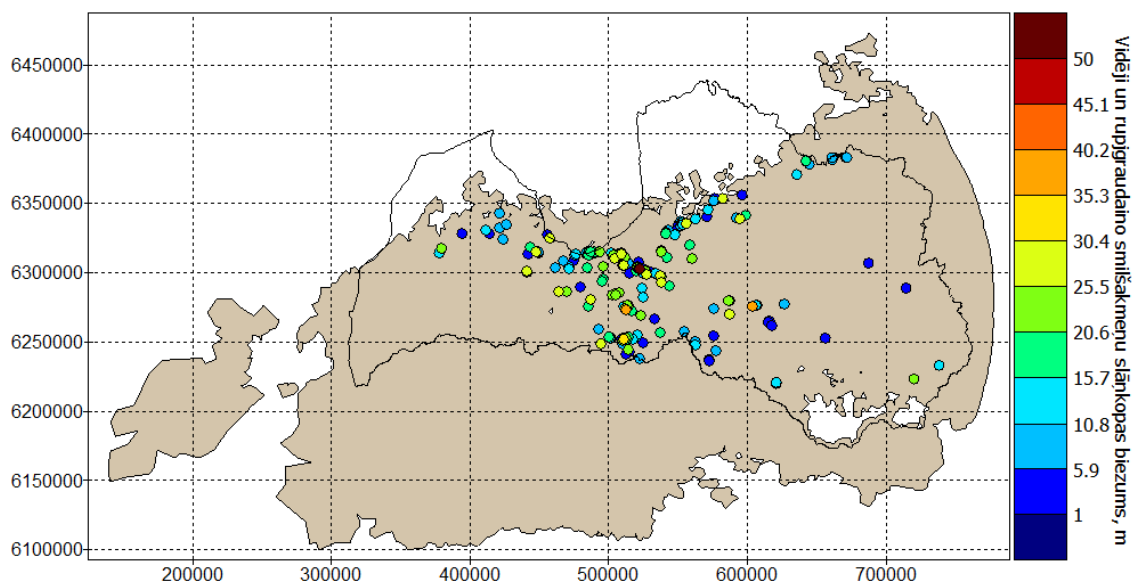


**5.9. attēls. Urbumu (55 urbumi) atsūknēšanas darbos noteiktie filtrācijas koeficienti Amatas ūdens horizontam Latvijas teritorijā, m/dm (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)**

Ņemot vērā, faktu, ka teorētiski augstāku K vērtību apgabalu ir iespējams izdalīt Rīgas reģionā, šī hipotēze tika pārbaudīta salīdzinot urbumu atsūknēšanas darbos iegūto K datu izkliedi ar informāciju par nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu horizontā ierīkotajos urbumos.

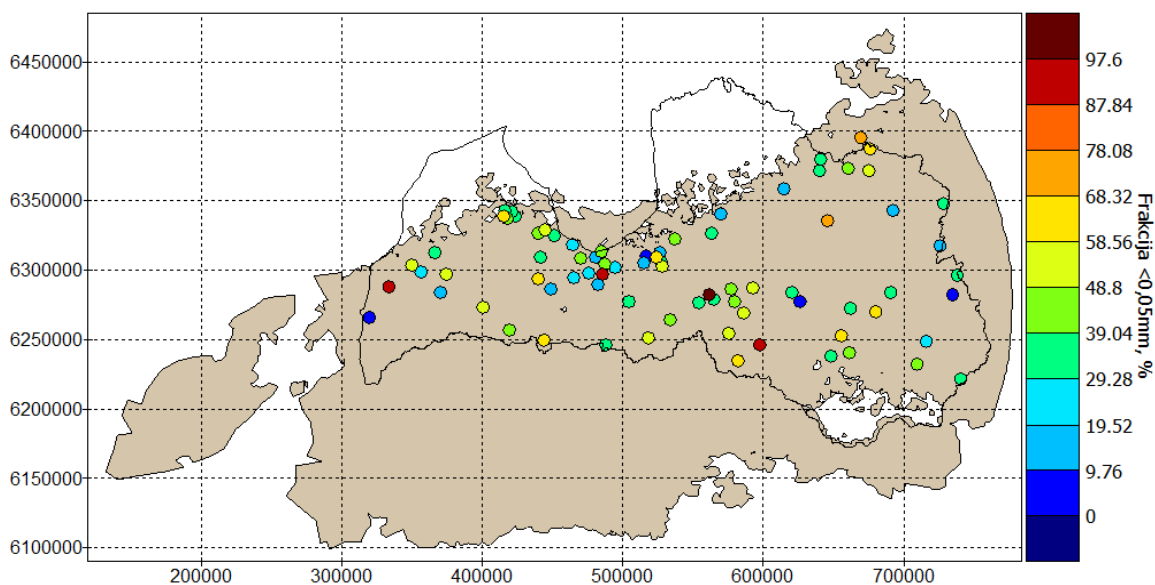
Analizējot datubāzē pieejamo informāciju par Amatas horizonta nogulumiežu litoloģisko sastāvu, situācija ir sekojoša – kopumā no visiem Amatas horizontu atsedzošajiem urbumiem (5421 urbums), tikai 215 urbumos, ģeoloģiskajā griezumā sniegtas ziņas par vidējgraudainu un rupjgraudainu smilšakmeņu sastopamību (5.10. attēls). Pārējie horizonta urbumi sniedz ziņas par smalkgraudainu, sīkgraudainu, aleirītisku smilšakmeņu un mālainu nogulumiežu izplatību.





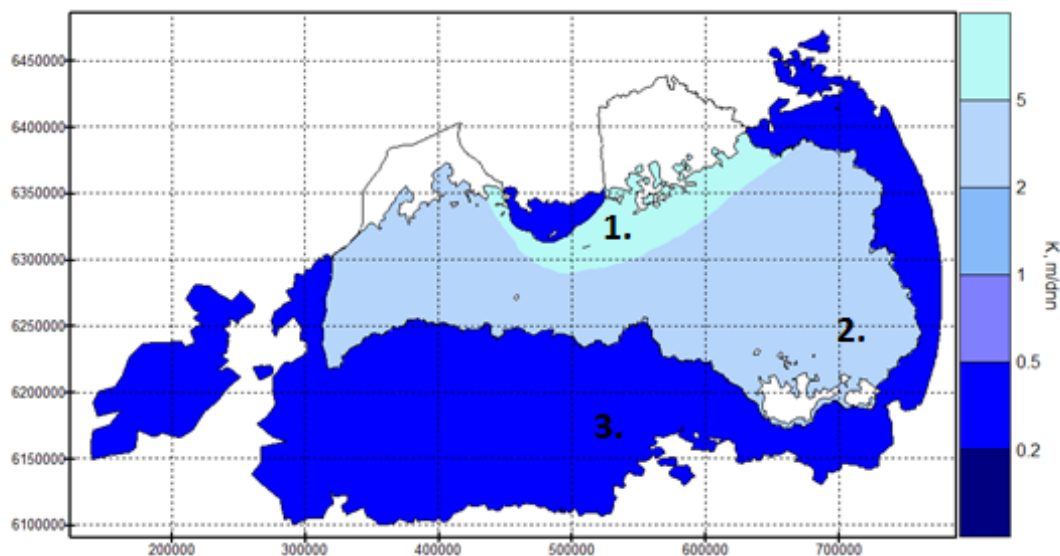
**5.10. attēls. Vidējigraudaino (203 urbumi) un rupjigraudaino (12 urbumi) smilšakmeņu sastopamības izplatība urbumos un to slāņkopas biezums Amatas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)**

Apskatot vidējigraudaino un rupjigraudaino nogulumiežu izplatību Amatas horizontā, vērojama tendence, ka tie urbumos vairāk konstatēti gar horizonta izplatības Z robežu un valsts centrālajā daļā. Raugoties uz kopējo, salīdzinoši, nelielo horizonta biezumu, arī vidējigraudaino un rupjigraudaino smilšakmeņu kopējais biezums horizonta griezumā vidēji nepārsniedz 20 m (5.10. attēls). Salīdzinot vidēji – rupjigraudaino nogulumiežu izplatības areālus ar granulometriskā sastāva sadalījumu urbumos, vērojama līdzīga aina. Proti, urbumi, kur smalko daļiņu, mazāku par 0,05 mm, procentuālais sastāvs ir salīdzinoši mazāks, ir izplatīti tajā pašā teritorijā (5.11. attēls).



**5.11. attēls. Smalkās frakcijas (<0,05 mm) procentuālais īpatsvars urbumos (82 urbumi) Amatas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)**

Balstoties uz šādu K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Amatas horizonts valsts robežās tika sadalīts divos nosacītos raksturīgo filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos. Viens apgabals – Amatas-ziemeļu poligons, tika izdalīts horizonta izplatības ziemeļu daļā, ar vidēji augstākām K vērtībām nekā pārējā Latvijas teritorija, kas tika pieņemta kā otrs jeb Amatas-Latvijas poligons. Amatas-ziemeļu poligonā, vidējo K vērtību raksturo 14 urbumi un vidējā, urbumu atsūknēšanas darbos, iegūtā K vērtība ir 5,3 m/dnn (5.12. attēls). Pārējā Latvijas teritorijā jeb Amatas-Latvijas poligonā vidējā K vērtība ir 2,7 m/dnn un to raksturo 41 urbums.

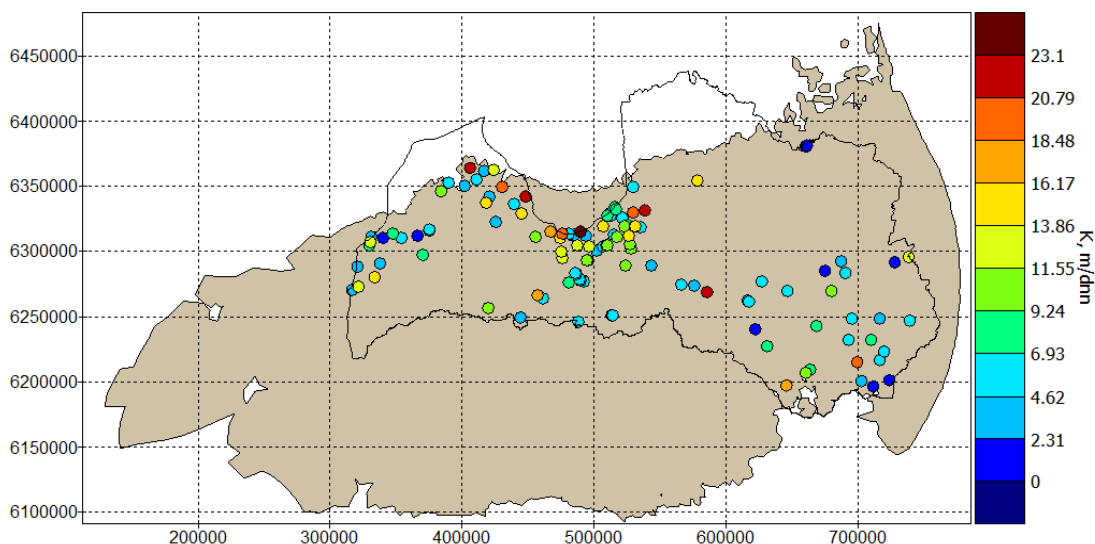


5.12. attēls. Izdalītie raksturīgāko K vērtību apgabali Amatas horizontā (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

**Apzīmējumi:** 1. – Amatas-ziemeļu poligons; 2. – Amatas-Latvijas poligons; 3. – Amatas horizonta izplatība BAB teritorijā

### 5.3.2. Gaujas horizonts

Analizējot Gaujas horizonta kopējo K datu kopējo blīvuma sadalījumu Latvijas teritorijā (5.13. attēls), redzams, ka K datu punktu jeb urbumu, kuros ticis noteikts filtrācijas koeficients, izkliede ir salīdzinoši liela. Blīvāka datu koncentrācija ir vērojama gar horizonta izplatības ziemeļu robežu Kurzemes pusē un, nosacīti, Rīgas reģionā. Šajā teritorijā koncentrējas arī urbumi ar augstākām K vērtībām, kas vidēji mainās robežās no 6 - 20 m/dnn. Otrs, nedaudz augstāku K vērtību apgabals novērojams valsts DA, Latgales teritorijā (5.13. attēls). Pārējā Latvijas daļā K vērtības, ar atsevišķiem izņēmumiem, ir salīdzinoši mazākas.

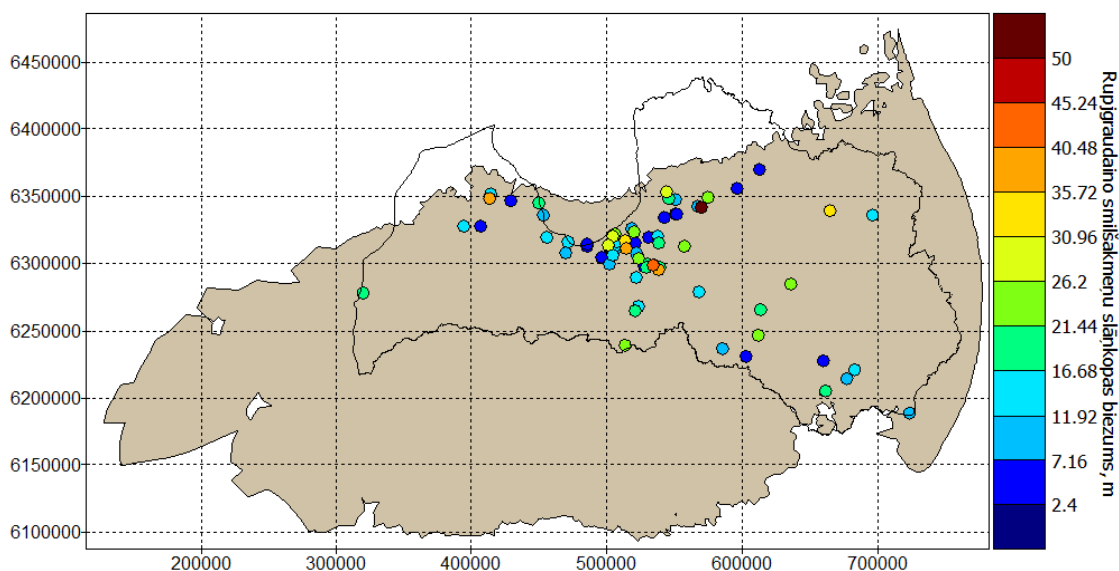


**5.13. attēls. Urbumu (147 urbumi) atsūkņēšanas darbos noteiktie filtrācijas koeficienti Gaujas ūdens horizontam, m/dnn, Latvijas teritorijā (Sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)**

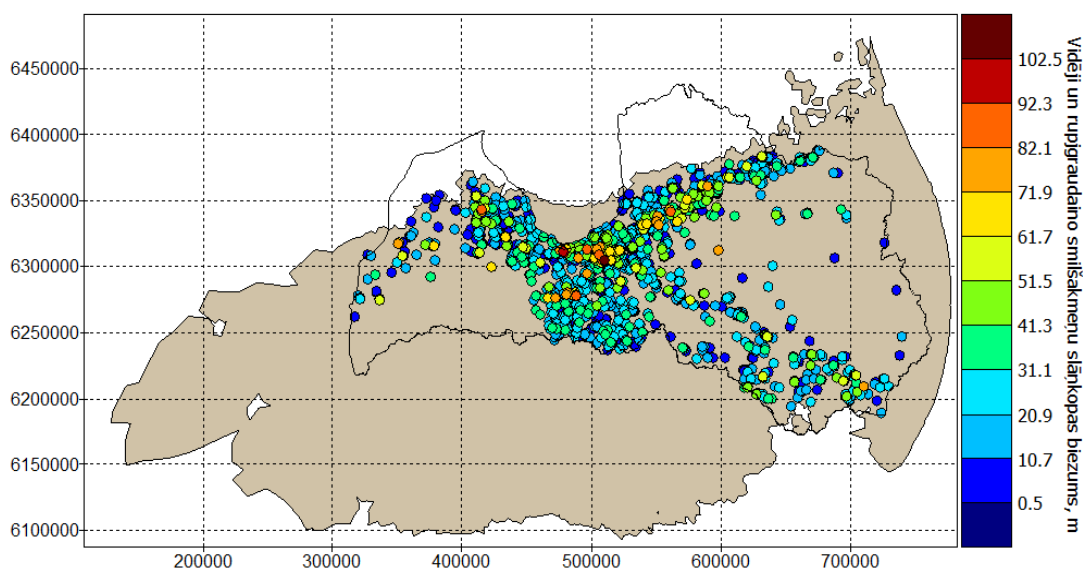
Izvērtējot Gaujas horizonta K vērtību teritoriālo sadalījumu, tiek pieņemts, ka teorētiski augstāku K vērtību apgabalus ir iespējams izdalīt Rīgas jūras līča R daļā - Rīgas reģionā un Latgales DA daļā. Šī hipotēze tika pārbaudīta salīdzinot urbumu atsūkņēšanas darbos iegūto K datu izkliedi ar informāciju par nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu horizontā ierīkotajos urbumos.

Analizējot datubāzē pieejamo informāciju par Gaujas horizonta nogulumiežu litoloģisko sastāvu, tika konstatēta sekojoša situācija – kopumā no visiem Gaujas horizonta ierīkotajiem urbumiem, kopumā tie ir 7302 urbumi, tikai 90 urbumos (5.14. attēls), ģeoloģiskajā griezumā ir sniegtas ziņas par rupjgraudainu un 2288 urbumos par vidējigraudainu smilšakmeņu sastopamību (5.15. attēls). Pārējie horizonta urbumi sniedz ziņas par smalkgraudainu, sīkgraudainu, aleirītisku, aleirītiski mālainu smilšakmeņu izplatību.

Meklējot apstiprinājumu augstāk izvirzītajai hipotēzei un apskatot vidējigraudaino un rupjgraudaino nogulumiežu izplatību Gaujas horizontā, vērojama sekojoša tendence, ka rupjgraudainie nogulumieži urbumos vairāk konstatēti gar horizonta izplatības Z robežu un nedaudz arī valsts DA daļā (5.14. attēls). Taču vidējigraudainie smilšakmeņi ļoti blīvā urbumu skaitā koncentrēti, praktiski, visā valsts teritorijā ar krasiem izņēmumiem daļā Kurzemes un Austrumlatvijas. Zinot kopējo Gaujas horizonta, salīdzinoši rupjgraudaino nogulumiežu sastāvu (Brangulis, u.c. 1998), šādas krasas vidējigraudaino smilšakmeņu izplatības robežas visticamāk skaidrojamas ar urbumu datu nepilnībām (LVĢMC, bez dat.).



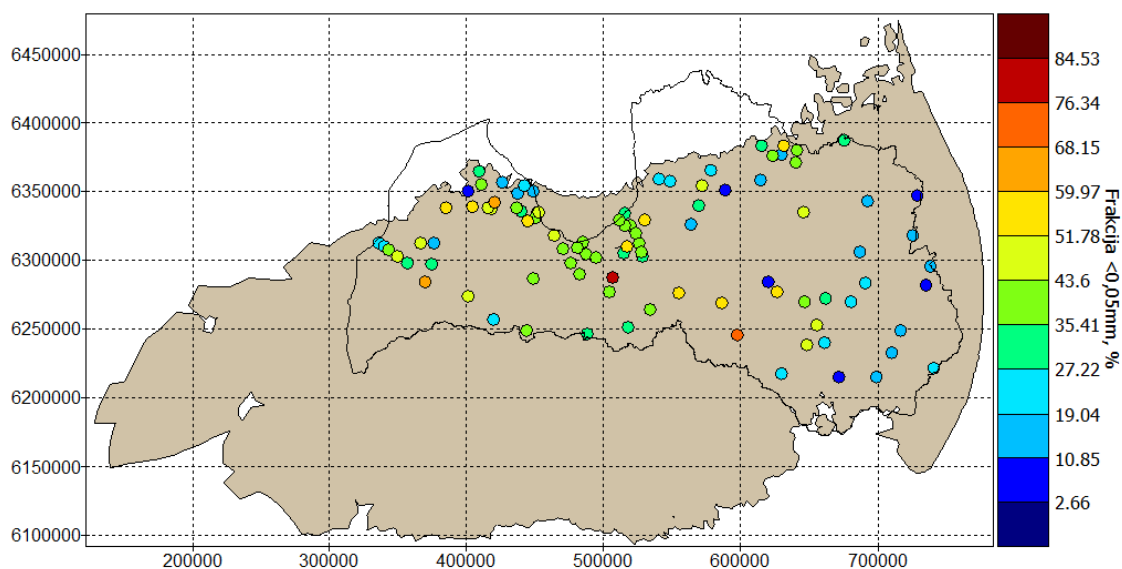
5.14. attēls. Rupjgraudaino smilšakmeņu sastopamības izplatība urbumos (90 urbumi) un to slāņkopas biežums Gaujas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)



5.15. attēls. Vidējgraudaino (2288 urbumi) un rupjgraudaino (90 urbumi) smilšakmeņu sastopamības izplatība urbumos un to slāņkopas biežums Gaujas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

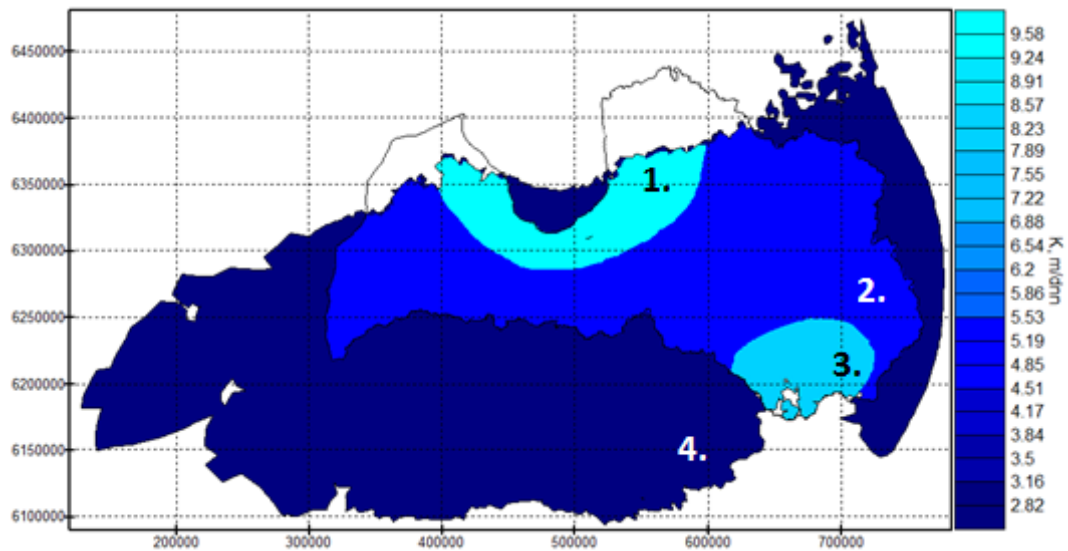
Novērtējot augstāku K vērtību izplatības saistību ar vidēj un rupjgraudainiem smilšakmeņiem, pastāv redzama likumsakarība, ka gar horizonta Z izplatības robežu Latvijā, vairāk koncentrējas gan augstākas K vērtības, gan ir novērojams lielāks iepriekšminēto iežu kopējais biežums griezumā (5.15. attēls). Ņemot vērā, ka lielāks kopējais rupjgraudaināku iežu biežums slāņkopā nodrošina lielāku tās efektīvo biežumu, kas arī pozitīvi ietekmē K, tad var uzskatīt, ka augstāku K vērtību apgabala izdalīšana šajā teritorijā ir pamatota.

Apskatot urbemos pieejamos datus par nogulumiežu granulometrisko sastāvu, konkrēti, par smalkās frakcijas, ar daļiņu izmēru mazāku par 0,05 mm, procentuālo sadalījumu urbemos, redzams (5.16. attēls), ka zemākais smalkās frakcijas procentuālais saturs urbemos fiksēts valsts A un DA daļā. Jāteic, ka datu izkliede šeit ir salīdzinoši ļoti liela, taču, ņemot vērā, K vērtību sadalījumu un vidēji un rupjgraudaino nogulumiežu sastopamību valsts pašos DA, šajā teritorijā ir iespējams izdalīt apgabalu ar nedaudz augstākām vērtībām, kā pārējā valsts teritorijā.



5.16. attēls. Smalkās frakcijas (<0,05 mm) procentuālais īpatsvars urbemos (101 urbums) Gaujas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Balstoties uz šādu K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Gaujas horizonts valsts robežās tika sadalīts trijos pieņemtos raksturīgo filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos. Viens apgabals – Gaujas-ziemeļu poligons, tika izdalīts horizonta izplatības ziemeļu daļā, ar vidēji augstākām K vērtībām nekā pārējā Latvijas teritorijā, kas tika pieņemta kā otrs jeb Gaujas-Latvijas poligons, un trešais poligons tika izdalīt valsts DA kā Gaujas-Latgales poligons. Gaujas-ziemeļu poligonā, vidējo K vērtību raksturo 50 urbumi un vidējā, urbumu atsūknēšanas darbos, iegūtā K vērtība ir 9,59 m/dnn (5.17. attēls). Gaujas-Latgales poligonu kopumā raksturo 11 urbumi un tajā noteiktā vidējā K vērtība ir 8,34 m/dnn. Pārējā Latvijas teritorijā jeb Gaujas-Latvijas poligonā vidējā K vērtība ir 5,52 m/dnn (5.17. attēls) un to kopumā raksturo 85 urbumi.

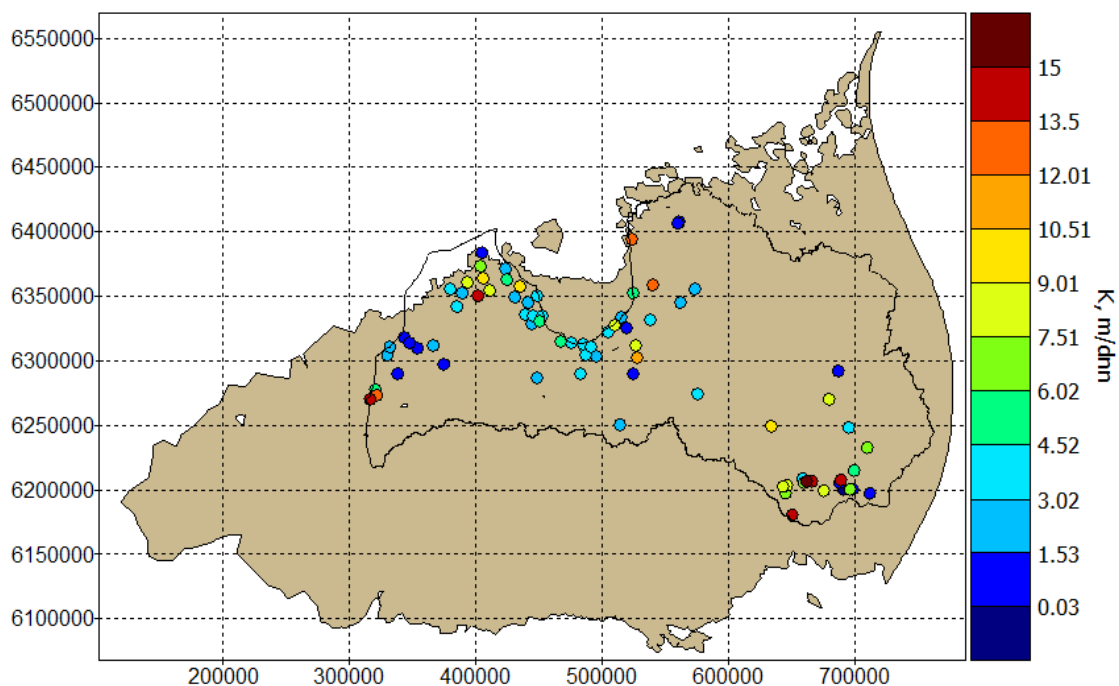


5.17. attēls. Izdalītie raksturīgāko K vērtību apgabali Gaujas horizontā (sagatavojuši autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

**Apzīmējumi:** 1. – Gaujas-ziemeļu poligons; 2. – Gaujas-Latvijas poligons; 3. – Gaujas-Latgales poligons; 4. – Gaujas horizonta izplatība BAB teritorijā

### 5.3.3. Burtnieku horizonts

Analizējot kopējo Burtnieku horizontā noteikto K datu blīvuma sadalījumu Latvijas teritorijā (5.18. attēls), redzams, ka K datu punktu jeb urbumu, kuros, atsūknēšanas darbu rezultātā, ticis noteikts filtrācijas koeficients, izkliede ir salīdzinoši liela. Datu blīvums, tāpat, kā abos iepriekš aprakstītajos horizontos ir salīdzinoši lielāks Rīgas jūras līča rietumu un dienvidu daļā. Urbumi ar augstākām filtrācijas koeficientu vērtībām, arī līdzīgi kā iepriekš, izplatīti tuvu horizonta izplatības ziemeļu robežai, īpaši, nelielā apgabalā pašos Kurzemes ziemeļos, kur salīdzinoši ļoti tuvu atrodas 7 urbumi kam K mainās no 7 – 13 m/dnn. Kā arī augstākas K vērtības fiksētas Latgales dienvidaustrumu daļā (5.18. attēls).

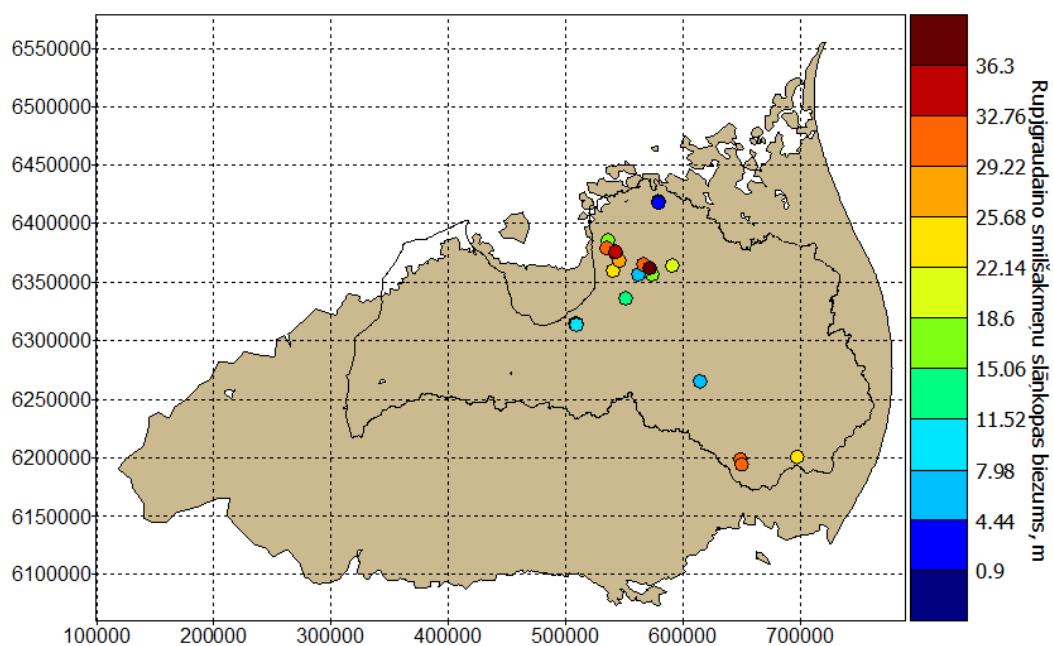


5.18. attēls. Urbumu (84 urbumi) atsūkņēšanas darbos noteiktie filtrācijas koeficienti, m/dnn **Burtnieku ūdens horizontam Latvijas teritorijā** (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

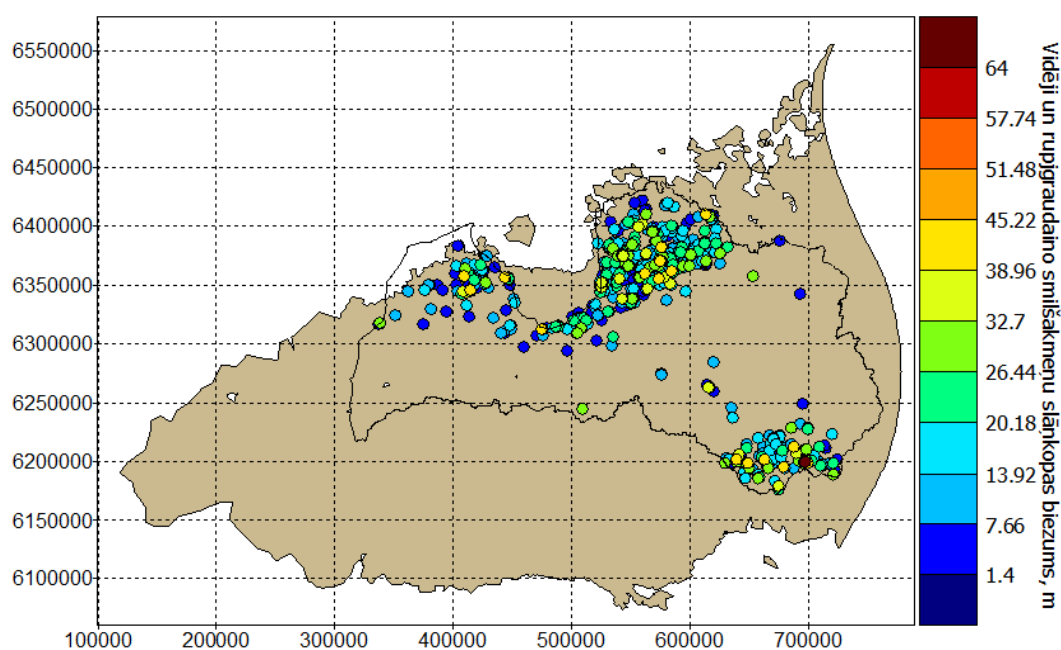
Ņemot vērā, faktu, ka teorētiski augstāku K vērtību apgabalu ir iespējams izdalīt Kurzemes Z daļā un Latgales DA apgabalā, šī hipotēze tika pārbaudīta salīdzinot urbumu atsūkņēšanas darbos iegūto K datu izkliedi ar informāciju par nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu horizontā ierīkotajos urbumos.

Analizējot datubāzē pieejamo informāciju par Burtnieku horizonta nogulumiežu litoloģisko sastāvu, situācija ir sekojoša – kopumā no visiem Burtnieku horizontu atsedzošajiem urbumiem (3987 urbumi), tikai 24 urbumos ir sniegti dati par rupjgraudainiem smilšakmeņiem un 785 urbumos, to ģeoloģiskajā griezumā sniegtas ziņas par vidējgraudainu un smilšakmeņu sastopamību (5.19. un 5.20. attēls). Pārējie horizonta urbumi sniedz ziņas par smalkgraudainu, sīkgraudainu, aleirītisku smilšakmeņu un mālainu nogulumiežu izplatību.





5.19. attēls. Rupjgraudaino (24 urbumi) smilšakmeņu sastopamības izplatība urbemos un to slāņkopas biezums, Burtņieku horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)



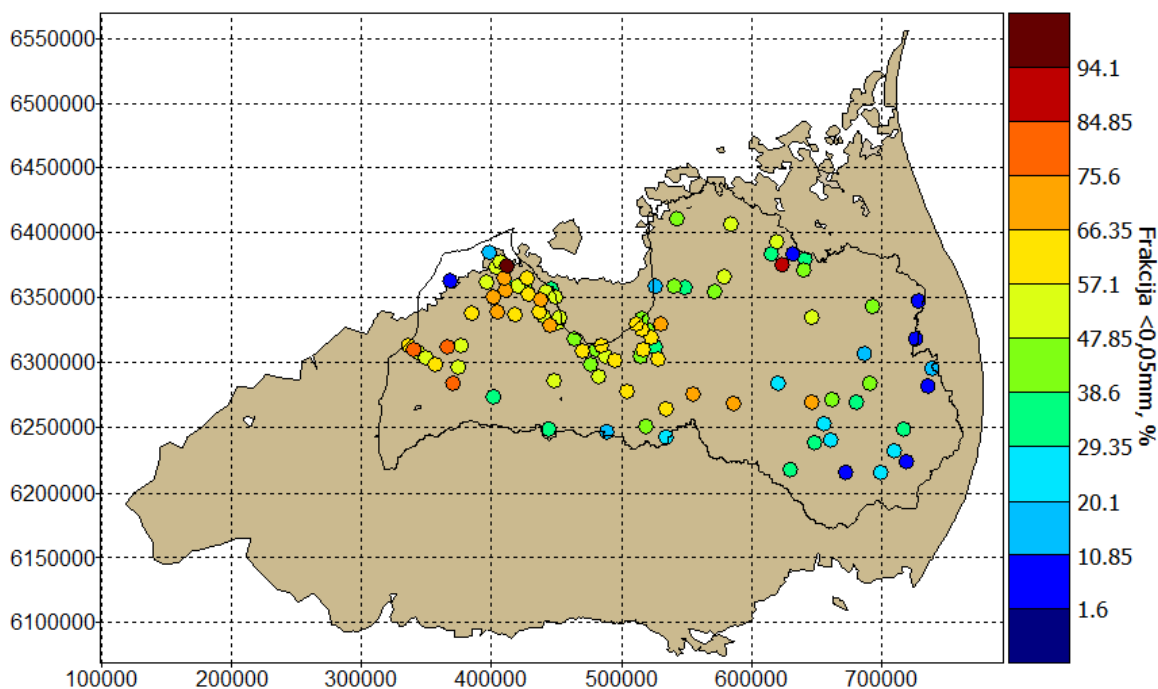
5.20. attēls. Vidējgraudaino (785 urbumi) un rupjgraudaino (24 urbumi) smilšakmeņu sastopamības izplatība urbemos un to slāņkopas biezums, Burtņieku horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Apskatot vidējgraudaino un rupjgraudaino nogulumiežu izplatību Burtņieku horizontā, vērojama likumsakarība, ka tie lielā urbumu skaitā fiksēti gar horizonta izplatības Z robežu un Latgales DA daļā. Raugoties uz kopējo vidēji un rupjgraudaino smilšakmeņu biezumu horizontā, tad vērojama situācija, ka Kurzemes Z daļā kur fiksētas salīdzinoši augstas K vērtības vidējgraudainie smilšakmeņi ir ar diezgan ievērojamu kopējo biezumu ~ 20 – 30 m,



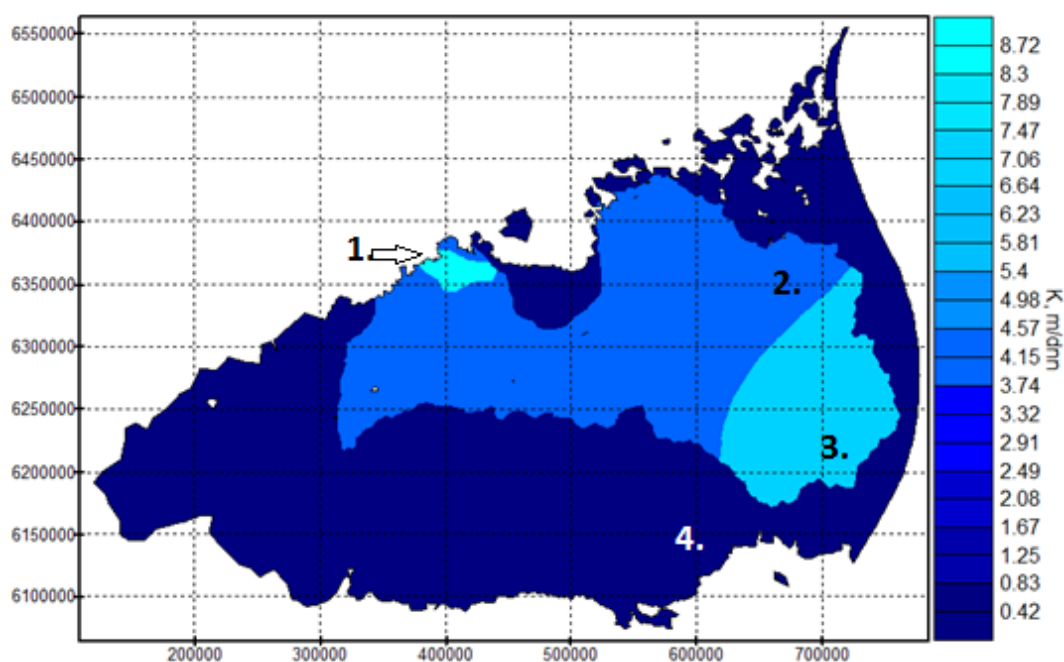
kas ir aptuveni 1/3 no horizonta kopējā biezuma šajā teritorijā (LVĢMC, bez dat.). Līdzīga situācija ir arī Latgales DA daļā, kur fiksētas augstākas K vērtības.

Salīdzinot vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības areālus ar granulometriskā sastāva sadalījumu urbemos, vērojama cita situācija. Proti, urbumi, kur smalko daļiņu, mazāku par 0,05 mm, procentuālais sastāvs ir salīdzinoši mazāks, kas pastarpināti ļauj spriest par rupjāku nogulumiežu izplatību, ir vairāk izplatīti valsts austrumu daļā (5.21. attēls). Litoloģijas un granulometrijas datu atšķirība skaidrojama ar atšķirīgiem datu ieguves mērķiem un tehnisko izpildījumu (LVĢMC, bez dat.).



**5.21. attēls. Smalkās frakcijas (<0,05 mm) procentuālais īpatsvars urbemos (104 urbumi) Burtnieku horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)**

Balstoties uz šādu K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Burtnieku horizonts valsts robežās tika sadalīts trīs nosacītos raksturīgo filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos (5.22. attēls). Viens apgabals – Burtnieku-Kurzemes, tika izdalīts horizonta izplatības ziemeļu daļā, precīzāk Kurzemes Z daļā, kur fiksētas augstākas vidējās K vērtības nekā pārējā Latvijas teritorija, kas tika pieņemta kā otrs jeb Burtnieku-Latvijas poligons. Trešais poligons – Burtnieku-Latgales poligons, vadoties pēc urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktām salīdzinoši augstām K vērtībām, urbumu litoloģiskajiem un granulometriskajiem datiem, tika izdalīts Latvijas A – DA daļā.



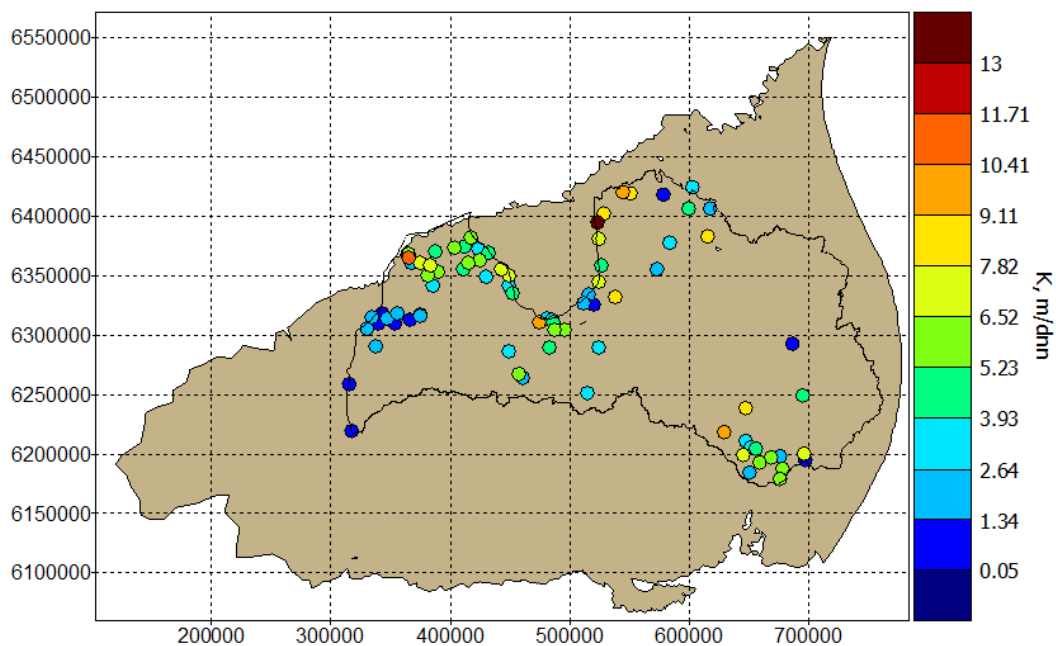
5.22. attēls. Izdalītie raksturīgāko K vērtību apgabali Burtnieku horizontā (sastādījusi autore, izmantojot LVGMC, bez dat.)

**Apzīmējumi:** 1. – Burtnieku-Kurzemes poligons; 2. – Burtnieku-Latvijas poligons; 3. – Burtnieku-Latgales poligons; 4. – Burtnieku horizonta izplatība BAB teritorijā

Burtnieku-Kurzemes poligonā vidējā K vērtība tika noteikta 8,7 m/dnn, kuru raksturo 7, salīdzinoši ļoti tuvu izvietoti urbumi. Burtnieku-Latvijas poligonā vidējā K vērtība tika noteikta 4,0 m/dnn un to kopumā raksturo 57 urbumi. Burtnieku-Latgales poligona vidējā raksturojošā vērtība noteikta 6,7 m/dnn un to kopumā raksturo 20 urbumi.

#### 5.3.4. Arukilas horizonts

Analizējot kopējo Arukilas horizontā noteikto K datu blīvuma sadalījumu Latvijas teritorijā (5.23. attēls), redzams, ka urbumu, kuros, atsūknēšanas darbu rezultātā, ticis noteikts filtrācijas koeficients, izkliede, tā par kā iepriekš aprakstītajos horizontos ir salīdzinoši liela. Kopumā horizontu raksturo K no 89 urbumiem. Lielāks datu blīvums, tāpat, kā abos iepriekš aprakstītajos horizontos ir salīdzinoši lielāks Rīgas jūras līča R un D daļā, kā arī Vidzemes piekrastē un Latgales pašos DA. Urbumi ar fiksētām augstākām K vērtībām, likumsakarīgi, vairāk izvietoti tuvāk horizonta Z izplatības robežām, Rīgas jūras līča piekrastē un arī Latgales DA. Pārējā Latvijas teritorijā K datu praktiski nav, tomēr spriežot pēc nelielās urbumu kopas ar fiksētām salīdzinoši zemāk K vērtībām, Kurzemes R daļā, pārējā valsts teritorijā iespējamas zemākas K vērtības kā Rīgas jūras līča piekrastes teritorijā un Latgales DA daļā. Šo faktu iespējams skaidrot gan ar nogulumiežu litoloģisko sastāvu, gan horizonta ieguluma dziļuma atšķirībām dažādās Latvijas vietās (Bičko u.c., 1985).



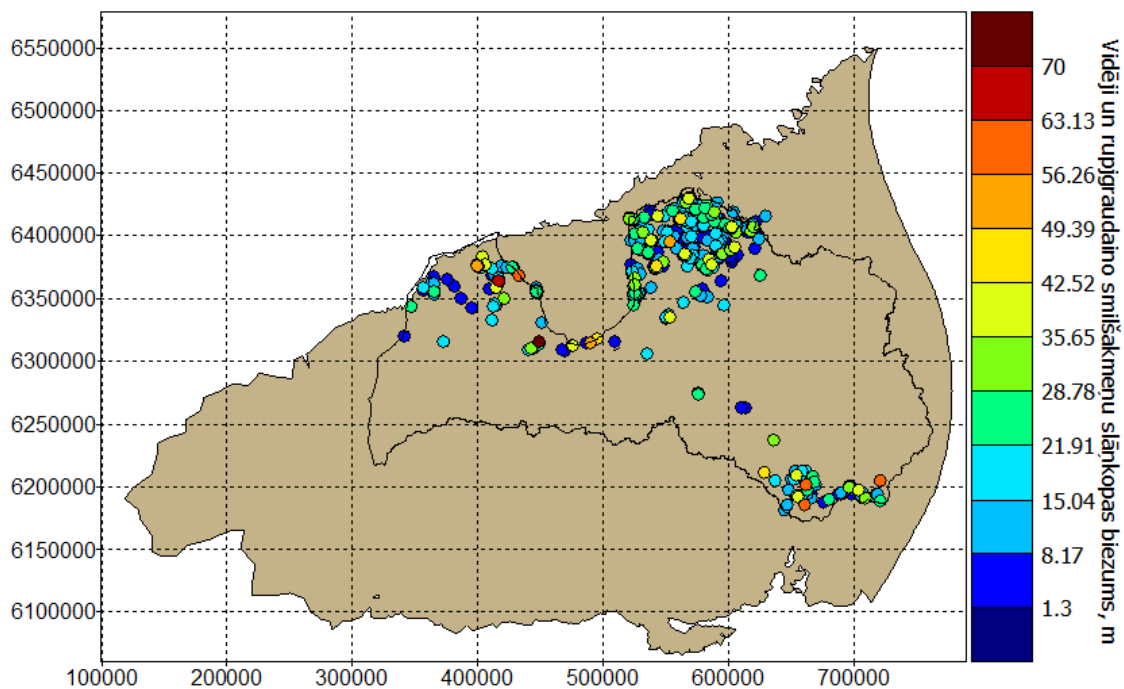
**5.23. attēls. Urbumu (89 urbumi) atsūkņšanas darbos noteiktie filtrācijas koeficienti, m/dnn**

**Arukilas horizontam Latvijas teritorijā** (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Ņemot vērā, faktu, ka teorētiski augstāku K vērtību apgabalu ir iespējams izdalīt Rīgas jūras līča piekrastes teritorijā jeb horizonta izplatības teritorijas Z daļā un Latgales DA apgabalā, šis pieņēmums tika pārbaudīts salīdzinot urbumu atsūkņšanas darbos iegūto K datu izkliedi ar informāciju par nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu horizontā ierīkotajos urbumos.

Analizējot datubāzē pieejamo informāciju par Arukilas horizonta nogulumiežu litoloģisko sastāvu, situācija ir sekojoša – kopumā no visiem Arukilas horizontā ierīkotajiem urbumiem (2505 urbumi), tikai 8 urbumos ir sniegti dati par rupjgraudainiem smilšakmeņiem un 546 urbumu ģeoloģiskajā griezumā sniegtas ziņas par vidējgraudainu smilšakmeņu sastopamību (LVĢMC, bez dat.) (5.24. attēls). Pārējie horizonta urbumi sniedz ziņas par smalkgraudainu, sīkgraudainu, aleirītisku smilšakmeņu un mālainu u.c. nogulumiežu izplatību.

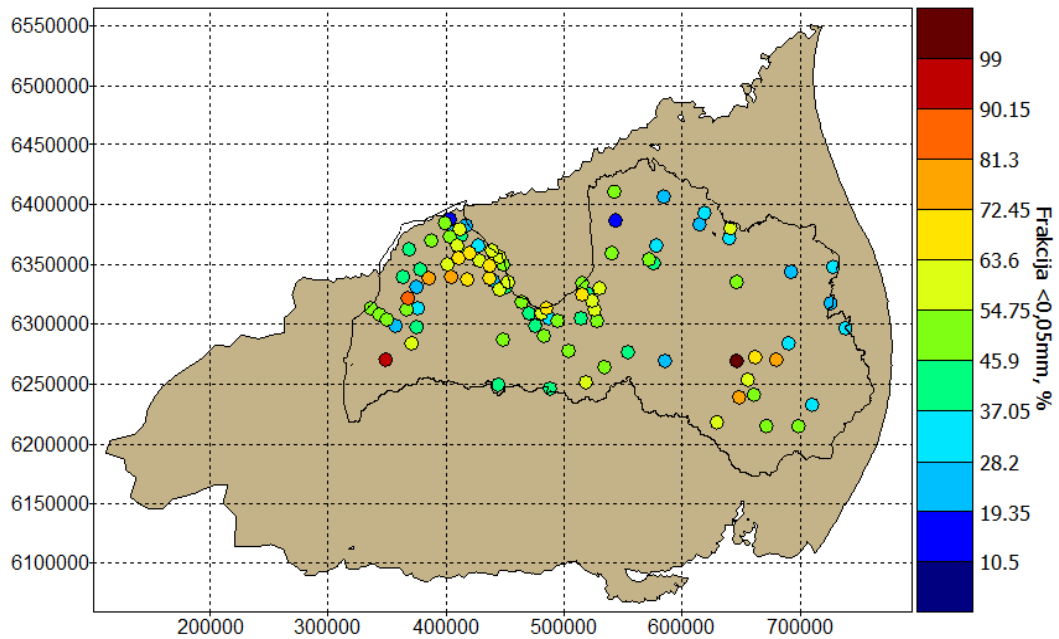
Apskatot vidējgraudaino un rupjgraudaino nogulumiežu izplatību Arukilas horizontā, tāpat, kā Burtnieku horizontā, vērojama likumsakarība, ka tie visi lielākoties izvietoti gar horizonta izplatības Z robežu jeb Rīgas jūras līča piekrasti un Latgales DA daļā (5.24. attēls), kas principā sakrīt ar iepriekš izvirzīto pieņēmumu, par augstāku vērtību apgabaliem horizontā.



5.24. attēls. Vidējgraudaino (546 urbumi) un rupjgraudaino (8 urbumi) smilšakmeņu sastopamības izplatība urbumos un to slāņkopas biezums, Arukilas horizontā Latvijas teritorijā (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

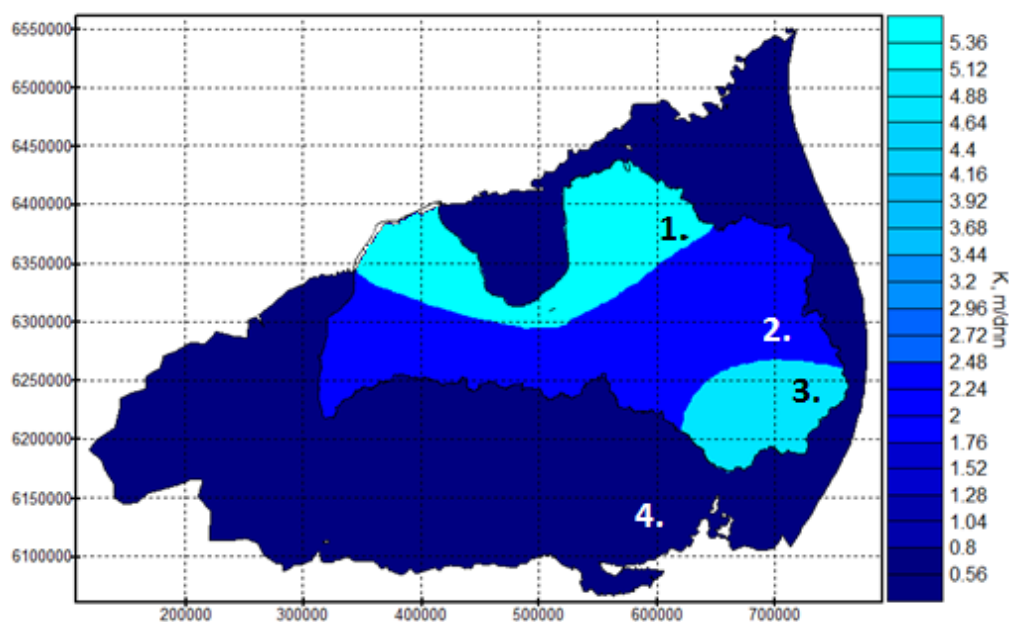
Apskatot kopējo urbumos fiksētos vidēji un rupjgraudaino smilšakmeņu biezumu horizontā, tas pārlicinošas sadalījuma likumsakarības neparāda un vidēji urbumos svārstās 20 – 30 m robežās.

Salīdzinot vidēji un rupjgraudaino nogulumiežu izplatības areālus ar granulometriskā sastāva sadalījumu urbumos, vērojama cita situācija. Proti, urbumi, kur smalko daļiņu, mazāku par 0,05 mm, procentuālais sastāvs ir salīdzinoši mazāks, kas pastarpināti ļauj spriest par rupjāku nogulumiežu izplatību, ir vairāk izplatīti Latvijas ziemeļaustrumu daļā (5.25. attēls), kas īsti nepastiprina iepriekš izteiktos pieņēmumus par raksturīgo K vērtību sadalījumu horizontā, bet noteikti arī nepierāda pretējo. Litoloģiskā raksturojuma un granulometrisko analīžu datu atšķirība skaidrojama ar atšķirīgiem datu ieguves mērķiem un tehnisko izpildījumu, kas saistās ar paraugu noņemšanas intervāliem utt. (LVĢMC, bez dat.).



5.25. attēls. Smalkās frakcijas (<0,05 mm) procentuālais īpatsvars urbemos (95 urbumi)  
**Arukilas horizontā Latvijas teritorijā** (sagatavojusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

Balstoties uz šādu K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Arukilas horizonts valsts robežās tika sadalīts trīs nosacītos raksturīgo filtrācijas koeficientu vērtību apgabalos (5.26. attēls). Viens apgabals – Arukilas-ziemeļu poligons, tika izdalīts horizonta izplatības ziemeļu daļā, ietverot Kurzemes un Vidzemes Z daļas, kur fiksētas salīdzinoši augstākas vidējās K vērtības nekā pārējā Latvijas teritorijā, kas tika pieņemta kā otrs jeb Arukilas-Latvijas poligons. Trešais poligons – Arukilas-Latgales poligons, vadoties pēc urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktām salīdzinoši augstām K vērtībām un vidējgraudaino smilšakmeņu izplatības teritorijas, tika izdalīts Latvijas dienvidaustrumu daļā.



5.26. attēls. Izdalītie raksturīgāko K vērtību apgabali Arukilas horizontā (sastādījusi autore, izmantojot LVĢMC, bez dat.)

**Apzīmējumi:** 1. – Arukilas-ziemeļu poligons; 2. – Arukilas-Latvijas poligons; 3. – Arukilas-Latgales poligons; 4. – Arukilas horizonta izplatība BAB teritorijā

Arukilas-ziemeļu poligonā vidējā K vērtība tika noteikta 5,36 m/dnn, kuru raksturo 52 urbumi. Arukilas-Latvijas poligonā vidējā K vērtība tika noteikta 1,99 m/dnn un to kopumā raksturo 20 urbumi. Arukilas-Latgales poligona vidējā raksturojošā vērtība noteikta 5,02 m/dnn un to kopumā raksturo 16 urbumi.

Kopumā jāsecina, ka urbumu atsūkņēšanas darbos noteiktās K vērtības likumsakarīgāk saistās ar horizontu litoloģisko aprakstu, jo tāpat kā urbuma litoloģiskais apraksts arī filtrācijas koeficients ir vispārraksturojošs lielums.

Pētījumā izdalītie horizontu raksturīgāko filtrācijas koeficientu poligoni, izdalīti pamatojoties gan uz datubāzē (LVĢMC, bez dat.) esošo K vērtību sadalījumu horizontos, gan daļēji balstoties uz urbumos sniegto horizonta litoloģisko aprakstu.

Nākamajā darba posmā, horizontos izdalītie raksturīgo K vērtību poligoni tika novērtēti tos izmantojot Baltijas artēziskā baseina mērķa funkcijas aprēķinos, manuālās kalibrācijas procesā, kas principā ļauj izvērtēt pētījumā iegūto filtrācijas koeficienta vērtību un to teritoriālā sadalījuma atbilstību dabā novērotās situācijas modelēšanai.

#### 5.4. Izdalīto raksturīgo K vērtību apgabalu ticamības novērtējums, izmantojot BAB hidroģeoloģisko modeli

Pētījumā iegūtās, horizontiem izdalītās raksturīgās filtrācijas koeficientu vērtības tika novērtētas, izmantojot BAB matemātiskā modeļa aprēķinu rezultātus, proti, izmantojot jauno

K vērtību sadalījumu, tika veikta tā atkārtota manuālā kalibrācija jeb inversā modelēšana (Carrera 2005), un tika novērtēta šo jauno vērtību ietekme uz aprēķinu rezultātiem. Inversā modelēšana no parastas modelēšanas atšķiras ar to, ka šajā gadījumā, izmantojot iegūto modeļa atrisinājumu, tiek meklēti modeļa parametri, nevis otrādi (Carrera 2005). Veicot kalibrāciju, kā skaitlisks rezultāts tiek iegūta mērķa funkcija (turpmāk tekstā – MF) jeb kvadrātiskā starpība (Timuhins et al 2011), kas ir starpība starp dabā novērotajiem pjezometriskajiem ūdens līmeņiem un modeli, balstoties uz mainītām materiālu īpašībām, šajā gadījumā K vērtībām, aprēķinātajiem ūdens līmeņiem (sīkāk apskatīts 4.4. nodaļā).

Zinot pētījumā apskatīto horizontu ģeoloģisko un hidroģeoloģisko uzbūvi (Куршс, 1992; Brangulis u.c. 1998), kalibrācijas aprēķinos tika izmantotas filtrācijas koeficienta vērtības, kas raksturo slāņa virsmai paralēlu plūsmu jeb horizontālās filtrācijas koeficientu vērtības. Filtrācijas koeficientu vērtības, kas raksturo vertikālo nogulumu ūdenscaurlaidību jeb pret slāņa virsmu perpendikulāras plūsmas, tika pieņemtas desmit reizes mazākas par horizontālajām K vērtībām, jo dabiskā anizotropā ģeoloģiskajā vidē, šķidrums kustoties paralēli slāņa virsmai, filtrācijas koeficienta vērtības var būt 2 līdz pat 20 reizes lielākas par tām vērtībām, ko nosaka ūdens kustība vertikālā virzienā ģeoloģiskajā griezumā (Hua Chen 2000). Vertikālās filtrācijas koeficientu vērtības šajā pētījumā netika atsevišķi novērtētas.

Sākotnēji, pirms K poligonu iekļaušanas BAB struktūrā, tika izdarīts pieņēmums, ka, neraugoties uz to, ka šādā veidā tiek mainītas materiālu filtrācijas īpašības (K) 1 – 4 slāņiem kopējā 42 slāņu sistēmā, jaunajām, dalītajām K vērtībām horizontos vajadzētu parādīt kopējo horizontu mērķa funkcijas (MF) jeb kvadrātiskās starpības starp dabā novērotajiem un modelētajiem ūdens līmeņiem samazinājumu. Jo izmantotajā BAB modeļa V1 versijā katrs modeļa slānis jeb pazemes ūdens horizonts tiek raksturots ar vienu K vērtību visā tā izplatības apgabalā, taču zinot baseinā pastāvošo ģeoloģisko neviendabību (Куршс, 1992; Куршс, 1975; Иодказис, 1989), horizontu sadalīšana tiem rasksturīgos K vērtību apgabalos, iespējams sniegtu korektāku risinājumu. Kā arī tas ļautu urbumu atsūkņēšanas darbos iegūtos datus novērtēt reģionālas hidroģeoloģiskās modelēšanas vajadzībām.

Lai izdalītās horizontu raksturīgās K vērtības un to apgabalus iekļautu BAB aprēķinos (Virbulis et al., bez dat.), tika veiktas sekojošas darbības. Sākotnēji raksturīgo K poligonu izplatības robežās datorprogrammas HifiGeo vidē tika digitizētas iegūstot poligonu robežu koordinātes. Tālāk iegūtās koordinātes tika ievietotas modeļa līniju ģenerācijas modulī, kas izveido visas modelī iekļautās definētās līnijas (slāņu ģeoloģiskās izplatības robežas, tektoniskie lūzumi u.c.) un savienojot šo līniju izveides failu ar kopējo struktūras slāņu režģu un struktūras izveides failiem, tika iegūta jauna BAB modeļa V1 versijas struktūra ar definētiem K poligoniem Amatas, Gaujas, Burtnieku un Arukilas horizontos. Ņemot vērā

darba mērķi un kopējo pieejamo informācijas daudzumu jeb faktu, ka K dati ir pieejami tikai par Latvijas teritoriju, horizontos izdalītie poligoni tika papildus definēti tikai Latvijas teritorijā. Pārējā horizontu izplatības BAB apgabalā ārpus Latvijas robežām K vērtības netika mainītas, tās tika saglabātas identiskas BAB modeļa V1 versijā esošajām. Papildus robežnosacījumi uz K poligonu un Latvijas robežas netika definēti.

Pēc K poligonu veiksmīgas ģenerācijas struktūrā, poligoniem tika piešķirtas tiem iepriekš definētās raksturīgās K vērtības (5.3. nodaļa) un tika veikti vairāki modeļa manuālās kalibrācijas aprēķini.

Svarīgi ir atzīmēt, ka par atskaites punktu, aprēķinu rezultātu novērtēšanai pētījumā tiek pieņemta modeļa sākotnējā kopējās struktūras un katra konkrētā horizonta mērķa funkcija (MF), kas iegūta, šobrīd BAB modeļa V1 versijā definētās filtrācijas koeficienta vērtības ievietojot jaunizveidotās BAB struktūras manuālās kalibrācijas aprēķinā. Kopējā aprēķinātā modeļa struktūras sākotnējā MF ir 1170,15, D<sub>3am</sub> horizontā – 52,52, D<sub>3gj</sub> horizontā – 132,27, D<sub>2br</sub> horizontā – 36,25, bet D<sub>2ar</sub> horizontā – 31,36. Šīs vērtības tika pieņemtas kā jaunizveidotās struktūras labākais manuālās kalibrācijas rezultāts un visi aprēķinos iegūtie rezultāti tika analizēti saistībā ar šiem rādītājiem.

#### **5.4.1. Amatas horizonts**

Balstoties K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Amatas horizontā izdalīti divi K poligoni – Amatas-ziemeļu poligons ar vidējo K vērtību 5,3 m/dnn un pārējā Latvijas teritorija definēta kā Amatas-Latvijas poligons ar vidējo K vērtību 2,7 m/dnn. Pārējā horizonta BAB teritorijā, kas atrodas ārpus Latvijas robežām, horizonta mērķa funkcijas aprēķinos tika saglabāta modelī uz doto brīdi definētā K vērtība – 0,32 m/dnn.

Veicot Amatas horizontam iepriekš izdalīto raksturīgo K poligonu novērtējumu, izmantojot BAB modeli, sākotnēji, kā jau iepriekš minēts, tika veikts pirmais aprēķins (1. aprēķins, 5.3. tabula) piešķirot abiem Amatas horizonta poligoniem tādu pašu K vērtību kā visam horizontam pārējā modeļapgabalā. Šajā gadījumā abiem Amatas K poligoniem tika piešķirta K vērtība 0,32 m/dnn. Šajā aprēķinā horizonta kopējā MF tika iegūta 52,52, ko pārveidojot, no vērtības izvelkot kvadrātsakni (Virbulis et al., bez dat.), tika iegūta kopējā dabā novērotā un modelī aprēķinātā ūdens līmeņa starpība metros – 7,24 m (5.3. tabula). Tika iegūta arī kopējā modeļa struktūras mērķa funkcija, ko veido katra kalibrācijas aprēķinā iekļautā modeļa slāņa individuālā MF summa.

Lai pārbaudītu modeļa aprēķinu jūtīgumu pret K vērtību maiņu, tika veikti arī pāris horizonta MF aprēķini, piešķirot poligoniem krietni augstāku K vērtību nekā sākotnēji



noteiktā un horizonta vidējā K vērtība. Modeļa jutīgums pret K vērtību maiņu tika aprēķināts izdalītajiem poligoniem piešķirot K vērtības – 15 un 10 m/dnn (2., 3. aprēķins, 5.3. tabula). Salīdzinot MF un ūdens līmeņu nesaisti, kas iegūta aprēķinos izmantojot K vērtību 0,32 m/dnn un rezultātu, kas iegūts izmantojot vērtības 10 un 15 m/dnn, redzams, ka lielākās K vērtības kopējo horizonta pjezometrisko līmeņu nesaisti palielina par nedaudz vairāk kā 1 m. Tātad var apgalvot, ka modelis uz K vērtību maiņu kopumā reaģē.

5.3. tabula

**D<sub>3am</sub> horizonta poligonos definētās K vērtības un mērķa funkcijas (MF) aprēķinu rezultāti**

(sagatavojusi autore)

Horizonts	N. p. k.	Aprēķinos izmantotās K, m/dnn vērtības izdalītajos poligonos		Kopējā modeļa MF	Horizonta MF	Pjez. līm. Nesaiste horizontā, m
		Amatas-ziemeļu poligons	Amatas-Latvijas poligons			
D <sub>3am</sub>	1.	0,32		1170,15	52.52	7,24
	2.	15		1166.82	73.08	8,54
	3.	10		1163.33	69.53	8,33
	4.	4.1		1157.99	62.62	7,91
	5.	5.39	2.72	1154.02	55.34	7,43
	6.	4,0	2,0	1152.98	52.82	7,27

Kopumā Amatas horizontam tika aprēķināta arī MF abiem K poligoniem – Amatas-ziemeļu un Amatas-Latvijas poligonam, piešķirot horizontam iepriekš noteikto vidējo K vērtību – 4,1 m/dnn (4. aprēķins, 5.3. tabula).

Aprēķinot kopējo modeļa struktūras un Amatas horizonta MF, izdalītajiem poligoniem piešķirot iepriekš definētās raksturīgās K vērtības – 5,39 m/dnn Amatas-ziemeļu un 2,72 m/dnn Amatas-Latvijas poligonā redzama sekojoša situācija (5. aprēķins, 5.3. tabula). Proti, aprēķinot Amatas horizonta MF jeb dabā novēroto un modelēto pazemes ūdens pjezometriskā līmeņa nesaisti, iegūstama ļoti līdzīga situācija tai, kas tika iegūta aprēķinos izmantojot sākotnējo modeļa vērtību – 0,32 m/dnn. Vērojams arī zināms uzlabojums salīdzinājumā ar aprēķinu gadījumu, kad par poligonu kopējo vērtību tika izmantota horizonta vidējā K vērtība – 4,1 m/dnn – raksturīgo K poligonu vērtību aprēķina gadījumā ūdens līmeņu nesaiste samazinās par aptuveni 0,5 m, kas vērtējams pozitīvi. Ņemot vērā, ka tomēr labāks MF rezultāts bija gadījumā, kad poligoniem tika piešķirta zemāka K vērtība (0,32 m/dnn), tika veikts vēl viens MF aprēķins – izmantojot samazinātas Amatas K poligonu raksturīgās vērtības – Amatas-ziemeļu poligonā – 4 un Amatas-Latvijas poligonā 2 m/dnn (6. aprēķins, 5.3. tabula). Rezultātā tika iegūts nedaudz lielāks, bet šķietami nenozīmīgs nesaistes samazinājums par 16 cm.

Kopumā novērtējot modeļa aprēķinu rezultātus, integrējot tajā dalītus Amatas horizonta raksturīgo K vērtību poligonus, kopējā situācija, kopējā modeļa struktūras MF nepasliktinās,

tieši pretēji tā samazinās un samazinās, un tas liecina par šāda K poligonu daļējuma objektivitāti un lietderību.

#### 5.4.2. Gaujas horizonts

Balstoties uz dabisko K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Gaujas horizontā valsts robežās tika izdalīti trīs raksturīgo K vērtību apgabali – Gaujas-ziemeļu poligons ar vidējo K 9,59 m/dnn, Gaujas-Latvijas poligons ar vidējo K vērtību 5,52 m/dnn, un trešais – Gaujas-Latgales poligons ar vidējo K - 8,34 m/dnn. Pārējā horizonta BAB teritorijā, kas atrodas ārpus Latvijas robežām, horizonta mērķa funkcijas aprēķinos tika saglabāta modelī uz doto brīdi definētā K vērtība – 2,82 m/dnn.

Pirms modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinu veikšanas Gaujas horizonta raksturīgo K vērtību poligoniem, tika veikti līdzīgi sākotnējie aprēķini, kā Amatas horizontam. Sākotēji tika aprēķināta kopējā struktūras un horizonta MF, visos poligono definējot tādu pašu K vērtību, kā pārējā horizonta modeļapgabalā ārpus Latvijas robežām (1. aprēķins, 5.4. tabula). Šajā aprēķinā Gaujas horizontā MF jeb novēroto un modelēto pjezometrisko līmeņu nesaiste iegūta 11,50 m.

5.4. tabula

#### D<sub>3</sub>gj horizonta poligonos definētās K vērtības un mērķa funkcijas (MF) aprēķinu rezultāti

(sagatavojusi autore)

Horizonts	N. p. k.	Aprēķinos izmantotās K, m/dnn vērtības izdalītajos poligonos			Kopējā modeļa MF	Horizonta MF	Pjez. līm. Nesaiste horizontā, m
		Gaujas-ziemeļu pol.	Gaujas-Latvijas pol.	Gaujas-Latgales pol.			
D <sub>3</sub> gj	1.	2,82			1170,15	132.27	11,50
	2.	20			1244.44	149.0	12,20
	3.	10			1180.05	129.27	11,36
	4.	7,51			1156.06	123.29	11,10
	5.	9.59	5.52	8.34	1144.89	119.46	10,92
	6.	8,0	5,0	6,0	1139.90	118.69	10,89
	7.	5,8	3,8	4,8	1128.80	117.88	10,85

Lai pārbaudītu aprēķinu jutīgumu pret filtrācijas koeficientu vērtību maiņu, sekojošie aprēķini tika veikti, visos trīs Gaujas K poligonos definējot augstākas vērtības nekā dabā novērotās horizonta vidējās vērtības, proti – 10 un 20 m/dnn (2., 3. aprēķins, 5.4. tabula). Piešķirot visam Gaujas horizontam augstākas K vērtības – 10 un 20 m/dnn, mērķa funkcija horizontam pasliktinās, respektīvi paliek sliktāka salīdzinājumā ar 1. aprēķinu – ūdens līmeņu nesaiste palielinās par vairāk kā 0,5 m, kas liecina par aprēķinu jutību pret K vērtību maiņu. Piešķirot visiem Gaujas poligoniem kopējo horizontā fiksēto vidējo K vērtību – 7,51 (4. aprēķins, 5.4. tabula), vērojams horizonta MF samazinājums, respektīvi pjezometrisko ūdens

līmeņu nesaiste samazinās par 0,4 m. Šajā aprēķinā iegūtais rezultāts ir būtiskāks raugoties nevis no ūdens līmeņu nesaistes samazināšanās viedokļa, bet gan no tā aspekta, ka gan kopējā modeļa, gan horizonta MF samazinās visiem trīs poligoniem, respektīvi BAB Latvijas daļai, piešķirot augstāku kopējo K vērtību (1., 4. aprēķins, 5.4. tabula).

Aprēķinot kopējo modeļa un Gaujas horizonta MF, izdalītajiem poligoniem piešķirot iepriekš definētās raksturīgās K vērtības – 9,59 m/dnn Gaujas-ziemeļu, 5,52 m/dnn Gaujas-Latvijas un 8,34 m/dnn Gujas-Latgales poligonā, redzama sekojoša situācija (5. aprēķins, 5.4. tabula). Proti, aprēķinot Gaujas horizonta MF jeb dabā novēroto un modelēto pazemes ūdens pjezometriskā līmeņa nesaisti, vērojama kopējās modeļa un horizonta MF samazināšanās, gan attiecībā pret sākotnējo kopējo BAB K vērtību – 2,82 m/dnn, gan attiecībā pret horizonta vidējo K vērtību – 7,51 m. Pjezometrisko līmeņu nesaiste šajā gadījumā samazinās par gandrīz 0,2 – 0,5 m.

Ņemot vērā, ka, samazinot visiem Gaujas poligoniem iepriekšējos aprēķinos piešķirtās vienādās K vērtības (2. – 4. aprēķins, 5.4. tabula) bija vērojama MF samazināšanās, tad tik nolemts veikt manuālās kalibrācijas aprēķinus izmantojot samazinātas Gaujas K poligonu raksturīgās vērtības (6., 7. aprēķins, 5.4. tabula). Samazinot raksturīgās K poligonu vērtības apr vidēji 3 m/dnn, kopējā pjezometrisko ūdens līmeņu nesaistes samazināšanās vērojama salīdzinoši nenozīmīga – mazāka par 0,1 m (5., 7. aprēķins, 5.4. tabula).

Kopumā novērtējot modeļa aprēķinu rezultātus, integrējot tajā dalītus Gaujas horizonta raksturīgo K vērtību poligonus, gan kopējā modeļa struktūras, gan horizonta MF iznākumā vērojama samazināšanās, kas liecina par izveidoto K poligonu un vērtību dalījuma objektivitāti un lietderību.

### **5.4.3. Burtnieku horizonts**

Balstoties uz dabisko K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu Latvijas teritorijā, Burtnieku horizontā valsts robežās tika izdalīti trīs raksturīgo K vērtību apgabali – Burtnieku-Kurzemes poligons ar vidējo K vērtību 8,72 m/dnn, Burtnieku-Latvijas poligons ar vidējo K vērtību 4,06 m/dnn, un trešais – Burtnieku-Latgales poligons ar vidējo K – 6,77 m/dnn. Pārējā horizonta BAB teritorijā, kas atrodas ārpus Latvijas robežām, horizonta mērķa funkcijas aprēķinos tika saglabāta modelī uz doto brīdi definētā K vērtība – 0,42 m/dnn.

Pirms modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinu veikšanas Burtnieku horizonta raksturīgo K vērtību poligoniem, tika viekti līdzīgi sākotnējie aprēķini, kā abos iepriekš aprakstītajos horizontos. Sākotēji tika aprēķināta kopējā struktūras un horizonta MF, visos poligonos definējot tādu pašu K vērtību, kā pārējā horizonta teritorijā ārpus Latvijas robežām (1.

aprēķins, 5.5. tabula). Šajā aprēķinā Burtnieku horizontā MF jeb novēroto un modelēto pjezometrisko līmeņu nesaiste iegūta 6.02 m.

5.5. tabula

**D<sub>2</sub>br horizonta poligonos definētās K vērtības un mērķa funkcijas (MF) aprēķinu rezultāti**

(sagatavojuši autore)

Horizonts	N. p. k.	Aprēķinos izmantotās K, m/dnn vērtības izdalītajos poligonos			Kopējā modeļa MF	Horizonta MF	Pjez. līm. Nesaiste horizontā, m
		Burtnieku - Kurzemes pol.	Burtnieku -Latvijas pol.	Burtnieku- Latgales pol.			
D <sub>2</sub> br	1.	0,42			1170,15	36,25	6,02
	2.	20			1341,64	87,93	9,37
	3.	15			1256,96	63,32	7,95
	4.	10			1179,39	40,70	6,37
	5.	5,15			1130,47	26,52	5,14
	6.	8,72	4,06	6,77	1115,60	23,13	4,80
	7.	7,77	3,08	5,77	1113,39	22,74	4,76
	8.	6,72	2,06	4,77	1120,96	24,46	4,95

Novērtējot aprēķinu jūtīgumu pret filtrācijas koeficientu vērtību maiņu, sākotnēji MF aprēķini tika veikti arī visos trīs Burtnieku K poligonos definējot augstākas vērtības nekā dabā novērotās horizonta viedējās vērtības, proti – 10, 15 un 20 m/dnn (2., 3., 4. aprēķins, 5.5. tabula). Piešķirot visam Burtnieku horizontam augstākas K vērtības – 10, 15 un 20 m/dnn, MF gan kopējai modeļa struktūrai, gan horizontam pasliktinās, respektīvi paliēk lielāka salīdzinājumā ar 1. aprēķinā iegūto rezultātu. Pjezometrisko ūdens līmeņu nesaiste palielinās par vairāk kā 3 m, piešķirot visiem Burtnieku poligoniem K vērtību 20 m/dnn un attiecīgi par gandrīz 2 m, poligoniem piešķirot K vērtību 15 m/dnn, kas liecina par aprēķinu jūtību pret augstu K vērtību maiņu. Taču definējot poligonos filtrācijas koeficientu 10 m/dnn, starpība starp sākotnējo MF un šajā gadījumā aprēķināto, ir ievērojami mazāka (4. aprēķins, 5.5. tabula). Piešķirot visiem Burtnieku poligoniem kopējo horizontā fiksēto vidējo K vērtību – 5,15 (5. aprēķins, 5.5. tabula), vērojams gan kopējās modeļa, gan horizonta MF samazinājums, respektīvi pjezometrisko ūdens līmeņu nesaiste samazinās nedaudz vairāk kā par 0,8 m. Šajā aprēķinā iegūtais rezultāts ir būtisks gan raugoties no pjezometrisko līmeņu nesaistes samazināšanās viedokļa, gan arī no tā aspekta, ka gan kopējā modeļa, gan horizonta MF samazinās vairāk, visiem trīs poligoniem, respektīvi BAB Latvijas daļai, piešķirot augstāku kopējo K vērtību nekā ja vērtība ir mazāka un attiecināta uz visu horizonta izplatības apgabalu baseina teritorijā (1., 5. aprēķins, 5.5. tabula).

Aprēķinot kopējo modeļa un Burtnieku horizonta MF un izdalītajiem poligoniem piešķirot iepriekš definētās raksturīgās K vērtības – 8,72 m/dnn Burtnieku-Kurzemes, 4,06

m/dnn Burtnieku-Latvijas un 6,77 m/dnn Burtnieku-Latgales poligonā, redzama sekojoša situācija (6. aprēķins, 5.5. tabula). Proti, aprēķinot Burtnieku horizonta MF jeb dabā novēroto un modelēto pazemes ūdens pjezometriskā līmeņa nesaisti, vērojama kopējās modeļa un horizonta MF samazināšanās, gan attiecībā pret sākotnējo, kopējo BAB K vērtību – 0,42 m/dnn, gan attiecībā pret horizonta vidējo K vērtību – 5,15 m/dnn. Pjezometrisko līmeņu nesaiste šajā gadījumā samazinās par 1,2 un 0,34 m (1., 5., 6. aprēķins).

Ņemot vērā, ka, samazinot visiem Burtnieku poligoniem iepriekšējos aprēķinos piešķirtās K vērtības (2. – 5. aprēķins, 5.5. tabula), bija vērojama MF samazināšanās, tad tika veikti manuālās kalibrācijas aprēķini, izmantojot samazinātas Burtnieku K poligonu raksturīgās vērtības (7., 8. aprēķins, 5.5. tabula). Abos gadījumos vērtības tika samazinātas par 1 m/dnn, katrā poligonā. Samazinot horizontam izdalītās raksturīgās K vērtības par 1 vienību (7. aprēķins, 5.5. tabula), vērojams ļoti niecīgs pjezometrisko līmeņu nesaistes samazinājums. Samazinot sākotnējās Burtnieku K poligonu vērtības vēl par 1 m/dnn, vērojama pretēja situācija – kopējā modeļa un horizonta MF palielinās, par 0,15 m pārsniedzot nesaisti, kas aprēķināta raksturīgajām K poligonu vērtībām (8. aprēķins, 5.5. tabula).

Kopumā, novērtējot modeļa aprēķinu rezultātus, modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinos integrējot dalītus Burtnieku horizonta raksturīgo K vērtību poligonus, jāsecina ka gan kopējās modeļa struktūras, gan horizonta MF iznākamā vērojama lielāka nesaistes samazināšanās, nekā gadījumā, ja horizonts visā BAB teritorijā kopumā vai atsevišķi Latvijas daļā tiek raksturots ar vienu vērtību. Šis fakts kopumā apstiprina horizonta dalījuma tam raksturīgos K poligonos objektivitāti.

#### **5.4.4. Arukilas horizonts**

Balstoties uz urbumu atsūkņēšanas darbos iegūto K vērtību un vidēji – rupjgraudaino nogulumiežu izplatības sadalījumu BAB Latvijas daļā, Arukilas horizontā valsts robežās tika izdalīti trīs raksturīgo K vērtību apgabali – Arukilas-ziemeļu poligons ar vidējo K vērtību 5,36 m/dnn, Arukilas-Latvijas poligons ar vidējo K vērtību 1,99 m/dnn, un trešais – Arukilas-Latgales poligons ar vidējo K – 5,02 m/dnn. Pārējā horizonta BAB teritorijā, kas atrodas ārpus Latvijas robežām, horizonta mērķa funkcijas aprēķinos tika saglabāta modelī uz doto brīdi definētā K vērtība – 0,56 m/dnn.

Pirms modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinu veikšanas Arukilas horizonta raksturīgo K vērtību poligoniem, tika veikti līdzīgi sākotnējie aprēķini, kā visos iepriekš aprakstītajos horizontos. Sākotēji tika aprēķināta kopējā struktūras un horizonta MF, visos poligono definējot tādu pašu K vērtību, kā pārējā horizonta izplatības apgabalā ārpus Latvijas robežām

– 0,56 m/dnn (1. aprēķins, 5.6. tabula). Šajā aprēķinā Arukilas horizontā MF jeb novēroto un modelēto pjezometrisko līmeņu nesaiste iegūta 5,62 m.

5.6. tabula

**D<sub>2</sub>ar horizonta poligonos definētās K vērtības un mērķa funkcijas (MF) aprēķinu rezultāti**

(sagatavojuši autore)

Horizonts	N. p. k.	Aprēķinos izmantotās K, m/dnn vērtības izdalītajos poligonos			Kopējā modeļa MF	Horizonta MF	Pjez. līm. Nesaiste horizontā, m
		Arukilas-ziemeļu pol.	Arukilas-Latvijas pol.	Arukilas-Latgales pol.			
D <sub>2</sub> ar	1.	0,56			1170,15	31,63	5,62
	2.	20			1361,23	91,67	9,57
	3.	10			1200,23	46,65	6,83
	4.	4,37			1125,06	19,24	4,38
	5.	5,36	1,99	5,02	1119,53	17,86	4,22
	6.	4,36	1,99	4,02	1119,91	17,30	4,15
	7.	2,36	1,09	3,02	1124,58	18,10	4,25

Novērtējot aprēķinu jūtīgumu pret filtrācijas koeficientu vērtību maiņu, tika veikti MF aprēķini, visos trīs Arukilas K poligonos definējot augstākas vērtības nekā dabā novērotās horizonta viedējās vērtības, proti – 10 un 20 m/dnn (2., 3. aprēķins, 5.6. tabula). Piešķirot visam Arukilas horizontam augstākas K vērtības, MF gan kopumā BAB modelim, gan horizontam palielinās salīdzinājumā ar 1. aprēķinā iegūto rezultātu. Definējot visos trīs Arukilas – ziemeļu, Latvijas un Latgales poligonos K vērtību 20 m/dnn, kopējā pjezometrisko līmeņu nesaiste palielinās gandrīz par 4 m, sasneidzot 9,57 m, kas ir salīdzinoši ļoti daudz. Definējot Arukilas poligonos K vērtību 10 m/dnn, arī vērojams salīdzinoši liels MF jeb pjezometrisko līmeņu nesaistes pieaugsm, attiecībā pret 1. aprēķinu.

Piešķirot visiem Arukilas K poligoniem kopējo horizontā fiksēto vidējo K vērtību – 4,37 m/dnn (4. aprēķins, 5.6. tabula), vērojams gan kopējās modeļa, gan horizonta MF samazinājums, respektīvi pjezometrisko ūdens līmeņu nesaiste samazinās par 1.24 m. Šajā aprēķinā iegūtais rezultāts tāpat, kā abos iepriekš aprakstītajos Gaujas un Burtnieku horizontos ir ļoti svarīgs dēļ fakta, ka gan kopējā modeļa, gan horizonta MF samazinās vairāk, visiem trīs poligoniem, respektīvi BAB Latvijas daļai, piešķirot augstāku kopējo K vērtību nekā, ja vērtība ir mazāka un attiecināta uz visu horizonta izplatības apgabalu baseina teritorijā (1., 4. aprēķins, 5.6. tabula).

Aprēķinot kopējo Arukilas horizonta MF, piešķirot izdalītajiem poligoniem iepriekš definētās raksturīgās horizonta K vērtības – 5,36 m/dnn Arukilas-ziemeļu, 1,99 m/dnn Arukilas-Latvijas un 5,02 m/dnn Arukilas-Latgales poligonam, redzama sekojoša situācija (5. aprēķins, 5.6. tabula). Proti, aprēķinot Arukilas horizonta MF jeb dabā novēroto un modelēto pazemes ūdens pjezometriskā līmeņa nesaisti, konstatējama kopējās modeļa un horizonta MF

samazināšanās, gan salīdzinājumā ar sākotnējo aprēķinu, kopējai BAB K vērtībai – 0,42 m/dnn, gan salīdzinājumā ar MF rezultātu, kur visos trīs poligonos tika pieņemta viena, horizonta vidējā K vērtība – 5,15 m/dnn. Pjzometrisko līmeņu nesaiste šajā gadījumā samazinās par attiecīgi par 1,4 un 0,16 m (1., 4., 5. aprēķins, 5.6. tabula).

Ņemot vērā kopējās MF tendences samazināties, samazinot poligoniem piešķirtās K vērtības (2. – 4. aprēķins, tabula), tad tika veikti manuālās kalibrācijas aprēķini, piešķirot poligoniem mazākas K vērtības, nekā tiem definētās raksturīgās K vērtības. Kopumā tika veikti divi šādi aprēķini. Vienā gadījumā, par 1 m/dnn samazinot K vērtības tikai Arukilas-ziemeļu un Arukilas-Latgales poligonos (6. aprēķins, 5.6. tabula). Otrā gadījumā samazinot abos – ziemeļu un Latgales poligonos K vērtības par 2 m/dnn, bet Latvijas poligonā par 1 m/dnn (7. aprēķins, 5.6. tabula). Pirmajā gadījumā, tika iegūts niecīgs, bet pozitīvs pjzometrisko līmeņu nesaistes samazinājums, taču otrajā gadījumā tika novērota līdzīga situācija kā Burtnieku horizontā – lielāks horizontam raksturīgo K vērtību samazinājums radīja lielāku aprēķināto MF. Līdz ar to pie šāda K vērtību sadalījuma horizontā, pjzometrisko līmeņu starpība starp dabā novērotajiem un modelētajiem pieaug (7. aprēķins, 5.6. tabula).

Kopumā, novērtējot modeļa aprēķinu rezultātus, modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinos integrējot Arukilas horizontam izdalītos raksturīgo K vērtību apgabalus jeb poligonos, jāsecina ka gan kopējās modeļa struktūras, gan horizonta MF iznākamā vērojama lielāka nesaistes samazināšanās, nekā gadījumā, ja horizonts visā tā izplatības teritorijā BAB vai tikai Latvijas daļā tiek raksturots ar vienu vērtību. Šis fakts kopumā apstiprina horizonta dalījuma tam raksturīgos K poligonos objektivitāti.

## 6. DISKUSIJA

Pētījums kopumā sastāv no devona klastisko nogulumiežu galveno ūdens horizontu – Amatas, Gaujas, Burtnieku un Arukilas, filtrācijas koeficientu datu novērtēšanas vairākos posmos: 1. – tika veikta urbumu atsūkņēšanas gaitā iegūto K vērtību kvalitātes un ticamības novērtēšana; 2. – tika novērtēta iespēja esošo K datu apjumu papildināt ar vērtībām, kas aprēķinātas izmantojot attiecīgo horizontu nogulumiežu granulometriskā sastāva analīzes; 3. – tika veikta K datu novērtēšana saistībā ar nogulumiežu litoloģisko un granulometrisko sastāvu, kā rezultātā, katrā horizontā tika izdalīti tam raksturīgāko K vērtību apgabali; 5. – tika veikta horizontos izdalīto raksturīgo K vērtību apgabalu novērtēšana izmantojot Baltijas artēziskā datormodeļa V1 versijas manuālo kalibrāciju.

Izvērtējot katrā darba posmā paveikto un iegūtos rezultātus, jāatzīst, ka pētījumā veiktais devona klastisko nogulumiežu ūdens horizontu novērtējums kopumā ir izdevies, taču lai rastu pilnīgu izpratni par pazemes ūdens horizontiem, kā par nozīmīgu elementu kopējā artēziskā baseina hidroģeoloģiskajā sistēmā, pētījums obligāti ir jāturpina un būtiski jāpaplašina.

### 6.1. Filtrācijas koeficientu saistība ar horizontu ieguluma dziļumu

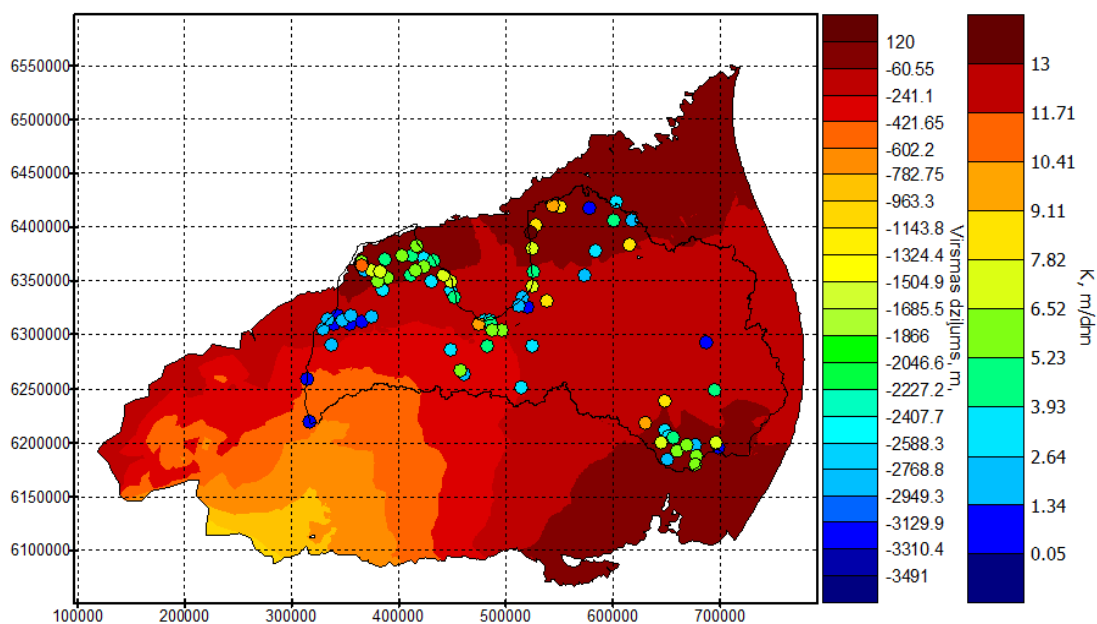
Kopumā, ņemot vērā, ka dabā pastāv ļoti daudz dažādu faktoru, kas ietekmē iežu filtrācijas koeficienta vērtības – nogulumiežu litoloģiskais, granulometriskais sastāvs, iežu blīvums, porainība, filtrējošā šķidrums īpašības, pazemes ūdeņu temperatūra, spiediena izmaiņas mainoties ūdens saturošo slāņu dziļumam (Todd and Mays, 2005; RESRAD, bez dat.; Ritzema, 1994; Hua Chen, 2000).

Ņemot vērā, ka šajā pētījumā tiek apskatīta daļa no Baltijas artēziskā baseina, tad jāmin arī tas, ka runājot par reģionāla mēroga pazemes ūdens horizontu kopējo filtrācijas īpašību un filtrācijas koeficientu novērtējumu, īpaši jāņem vērā horizontu ģeoloģiskā uzbūve un konfigurācija ģeoloģiskajā struktūrā, jo reģionālā mērogā gan ģeoloģiskās, gan hidroģeoloģiskās atšķirības starp dažādām ūdens horizontu vietām var būt ļoti ievērojamas (Иодказис, 1989).

Tā piemēram, aplūkojot filtrācijas koeficientu saistību ar horizonta virsmas ieguluma dziļumu Baltijas artēziskā baseina, nosacīti dziļajos horizontos, šajā gadījumā, aktīvās ūdens apmaiņas zonas apakšējā daļā jeb Arukilas pazemes ūdens horizontā, novērojama sekojoša situācija (6.1. attēls). Proti Ziemeļvidzemē un arī Latgales dienvidaustrumu daļā, kur horizonta virsma, ģeoloģiskajā griezumā ieguļ salīdzinoši augstāk, vērojamas kopumā augstākas filtrācijas koeficientu vērtības, nekā kurzemes dienvidrietumu daļā, kur horizonts



iegul krietni lielākā dziļumā. Kas skaidrojams gan ar pazemes ūdeņu mineralizācijas, respektīvi, blīvuma palielināšanos (Levins u.c., 1998; Bičko u.c., 1985), gan ar spiediena pieaugumu.



**6.1. attēls. Arukilas ūdens horizonta ieguluma dziļums Baltijas artēziskajā baseinā, m vjl un horizontā noteiktās K vērtības (sagatavojusi autore, izmantojot LVGMC, bez dat.)**

Nedaudz līdzīga situācija ir vērojama Burtnieku ūdens horizontā, kas ģeoloģiskajā griezumā uzguļ Arukilas horizontam, taču Gaujas un Amatas horizontos šāda sakarības vairs nav izteikti novērojamas, kas apliecina ūdens horizontu filtrācijas koeficientu saistību ar horizonta ieguluma dziļumu.

Diemžēl datu trūkums un pieejamība liedz sīkāk analizēt šo sakarību un par to var spriest tikai vispārīgi. Detālākam šādu sakarību novērtējumam būtu nepieciešams izmatot arī urbumu datus no Igaunijas un, lielākoties, Lietuvas, kur apskatīto horizontu ieguluma dziļums ir krietni atšķirīgs (Иодказис, 1989).

## **6.2. Atsevišķu pazemes ūdens horizontu filtrācijas koeficientu vērtību maiņas ietekme uz kopējo BAB modeļa**

Aprēķinot katra horizonta manuālās kalibrācijas mērķa funkciju saruktūrai ar tajā izdalītiem filtrācijas koeficientu apgabaliem, mērķa funkcijas aprēķins tika veikts arī iekļaujot modeļa struktūrā visu četru horizontu raksturīgos K apgabalus vienlaicīgi. Veicot šādu aprēķinu tika iegūts sekojošs rezultāts - kopējā šādas struktūras mērķa funkcija praktiski neatšķiras no tās, kas aprēķināta visiem četrām horizontiem tajos, visā horizonta izplatības apgabalā BAB teritorijā, definējot BAB modeļa V1 versijā piņemtās horizontus raksturjošās vērtības (6.1.. tabula). Kā arī katra, Amatas un Gaujas, horizonta atsevišķie mērķa funkcijas

iznākumi parāda labu saistību ar konkrētajos horizontos atsevišķi iegūtajiem aprēķinu rezultātiem. Taču Burtnieku un Arukilas horizontos mērķa funkcija uzrāda sliktākus rezultātus nekā atsevišķajos aprēķinos katra horizonta ietvaros. Šāda kopējā situācija iespējams ir skaidrojama ar literatūrā (Bičko un Tracevskis, 1979; Bičko, u.c. 1985). minēto sprostsplāni starp augšdevona Gaujas horizontu un vidus devona Burtnieku horizontu, kas modelī iespējams datu trūkuma dēļ, ir nepilnīgi definēts.

6.1. tabula

**MF rezultāti kopējai BAB modeļa struktūrai un vidus – augšdevna pazemes ūdens horizontiem**  
(sagatavojusi autore)

Horizonts	Kopējā MF	Horizonta MF	Pjez. lim. Nesaiste metros
D <sub>3</sub> am	1173.73	63,10	7,94
D <sub>3</sub> gj		122,88	11,08
D <sub>2</sub> br		39,69	6,3
D <sub>2</sub> ar		37,77	6,14

Kopumā, veicot modeļa manuālās kalibrācijas aprēķinus, modelī integrējot pētījumā apskatītajiem pazemes ūdens horizontiem izdalītos raksturīgo filtrācijas koeficientu apgabalus, vērojama tendence, ka kopējā modeļslāņu mērķa funkcija Amatas un Gaujas horizontos „tiecas” uz mazākām horizonta filtrācijas koeficienta vērtībām, jo tā, samazinās līdz ar mazākām K horizontā definētām K vērtībām. Šāda mērķa funkcijas mainība varētu būt skaidrojama ar to, ka pārējo ūdens horizontu filtrācijas koeficientu vērtības modelī pagaidām, vairākumā gadījumu, definētas mazākas nekā dabā novērotās un ar vienu vērtību tiek raksturots viss horizonts.

Lai gan šajā pētījumā tika apskatītas un novērtētas Amatas, Gaujas, Burtnieku un Arukilas horizonta filtrācijas īpašības raksturojošais filtrācijas koeficients un iegūtie rezultāti uzskatāmi parāda, ka horizontu sadalīšana tiem raksturīgu filtrācijas koeficientu apgabalos ir objektīva, tomēr, lai šos rezultātus tālāk varētu praktiski izmantot, piemēram, visa BAB matemātiskā modeļa kopējai kalibrācijai, horizonti jāapskata kā visa BAB sastāvdaļa, proti, novērtējot gan filtrācijas īpašības horizontu izplatības apgabalos ārpus Latvijas teritorijas, gan novērtējot horizontu savstarpējo hidraulisko saistību un sprostsplāņu īpašības.

Skatoties no kopējā hidroģeoloģiskā modeļa viedokļa, lai ar modeļa palīdzību pēc iespējas labāk varētu novērtēt pazemes ūdens horizontu raksturīgāko K vērtību sadalījumu un amplitūdas, filtrācijas koeficientu novērtējums un raksturīgo K vērtību apgabalu izdalīšana ir jāveic arī pārējiem ģeoloģiskās struktūras slāņiem.

Turpinot šo pētījumu un apskatot, piemēram, visas aktīvas ūdens apmaiņas zonas ūdens horizontu filtrācijas īpašības, lielāka uzmanība jāpievērš horizontu sprostsplāņiem jeb vertikālās plūsmas raksturojošiem filtrācijas koeficientiem, jo filtrācijas koeficienta vērtības

ģeolģgiskajā griezumā viena ūdens horizonta ietvaros var bŭt ļoti mainģgas gan daļģdās ūdens horizonta vietās horizontālā virzienā, gan pa vertikāli (Ritzema, 1994.).

## SECINĀJUMI

Maģistra darbā veiktais pētījums kopumā uzskatāms par veiksmīgu. Darba izstrādes sākumā izvirzītie uzdevumi darba gaitā ir izpildīti un rezultātā sasniegts darbam izvirzītais mērķis – iespēju robežās ir apzināti visi pieejamie dati par augš un visus devona klasisko ūdens horizontu filtrācijas koeficientiem, un veicot pieejamo datu analīzi, katram no pētītajiem pazemes ūdens horizontiem ir izdalīti tiem raksturīgo filtrācijas koeficientu apgabali, kuru ticamība un kvalitāte novērtēta izmantojot Baltijas artēziskā baseina datormodeli.

Darba noslēgumā, analizējot darba gaitā paveikto un iegūtos rezultātus, tika izdarīti sekojoši secinājumi:

1. Amatas pazemes ūdens horizonta filtrācijas koeficienta vērtības Latvijas teritorijā kopumā mainās robežās no 0,1 – 8,1 m/dnn, horizonta vidējā K vērtība ir 4,1 m/dnn un, balstoties uz K vērtību sadalījumu un vidēji rupjgraudainu smilšakmeņu izplatību, horizontu iespējams sadalīt divos tam raksturīgo K vērtību apgabalos, kur katru no tiem raksturo vidējās K vērtības – 5,39 un 2,72 m/dnn;
2. Gaujas pazemes ūdens horizonta filtrācijas koeficienta vērtības Latvijas teritorijā mainās no 0,3 – 23,1 m/dnn ar vidējo horizonta vērtību 7,51 m/dnn. Pamatojoties uz K vērtību sadalījumu un rupjgraudainu, vidējgraudainu smilšakmeņu izplatību horizontā, Gaujas horizontu iespējams sadalīt trīs, tam raksturīgu K vērtību – 9,59; 5,52 un 8,34 m/dnn apgabalos;
3. Burtnieku pazemes ūdens horizonta filtrācijas koeficienta vērtības Latvijas teritorijā mainās robežās no 0,02 – 15 m/dnn, ar vidējo horizonta K vērtību 5,15 m/dnn. Pamatojoties uz K vērtību sadalījumu un rupjgraudainu, vidējgraudainu smilšakmeņu izplatību, Burtnieku horizontu iespējams sadalīt trīs, tam raksturīgu K vērtību apgabalos, ar raksturojošām vērtībām – 8,72; 4,06 un 6,77 m/dnn;
4. Arukilas pazemes ūdens horizontam Latvijas teritorijā filtrācijas koeficients, kopumā, mainās robežās no 0,05 – 13 m/dnn, veidojot vidējo horizonta vērtību 4,37 m/dnn. Balstoties uz K vērtību sadalījumu un vidējgraudainu - rupjgraudainu smilšakmeņu izplatību, Arukilas horizontu iespējams sadalīt trīs tam raksturīgu K vērtību – 5,36; 1,99 un 5,02 m/dnn apgabalos;
5. Saistība starp nogulumiežu litoloģisko sastāvu un filtrācijas koeficienta vērtībām novērojama netieši – par rupjgraudainu nogulumu ietekmi uz salīdzinoši augstām filtrācijas koeficienta vērtībām liecina šo parametru izplatība vienos un tajos pašos apgabalos;

6. Filtrācijas koeficientu novērtējums, sadalot horizontu atšķirīgu, tam raksturīgu vērtību apgabalos, uzskatāms par objektīvu, jo veicot manuālo Baltijas artēziskā baseina modeļa kalibrāciju ar dažādām, dabā novērotajiem filtrācijas koeficientiem pietuvinātām horizonta K vērtībām, mērķa funkcijas rezultāts ir mazāks, ar mazāku nesaisti starp novērotajiem un modelētajiem pjezometriskajiem ūdens līmeņiem, nekā piešķirot slānim vienu vidējotu vērtību;
7. Pazemes ūdens horizontu raksturīgo filtrācijas koeficientu novērtējums, izmantojot Baltijas artēziskā baseina matemātisko modeli, ļauj spriest ne tikai par atsevišķu horizontu filtrācijas īpašībām, bet arī par pazemes ūdens horizontu kompleksu kā vienotu sistēmu un ļauj novērtēt sadalošo sprostsļāņu nozīmi.

## PATEICĪBAS

Šī pētījuma autore izsaka pateicību maģistra darba zinātniskajai vadītājai Dr. Ģeol. Aijai Dēliņai par ieguldījumu pētījuma attīstībā un sniegtajām konsultācijām, kā arī autore izsaka pateicību pētījuma zinātniskajam konsultantam Dr. ģeol. Tomas Saks par darba idejiskās virzības veicināšanu un sniegtajām konsultācijām. Autore izsaka ļoti lielu pateicību kolēģei Ilzei Klintij par sniegtajām konsultācijām un palīdzību MOSYS modeļsistēmas lietošanā un modelēšanas apgūvē. Autore izsaka īpašu pateicību kolēģim Jānim Jātniekam par palīdzību un konsultācijām darbā ar datu atlasī MySQL datubāzu sistēmā, tāpat autore izsaka pateicību kolēģim Jānim Bikšem par palīdzību granulometrisku datu apkopošanā un apstrādē.

Autore izsaka krietni lielu pateicību kolēģei un kursabiedrenei Baibai Ragai par sniegto morālo atbalstu un cīņas sparu uzmundrināšanu.

Autore izsaka pateicību LVĢMC Valsts Ģeoloģijas fonda darbiniecei Mārītei Aizsalniecei par atsaucību materiālu un literatūras meklēšanā.

Īpašu pateicību autore izsaka savai ģimenei par neatsveramo atbalstu, sapratni un pacietību pētījuma izstrādes laikā.

Šī pētījuma veikšanu atbalstīja Eiropas Sociālā fonda aktivitātes „Cilvēkresursu piesaiste zinātnei” 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.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

### Publicētā literatūra

- Bastani, M., Kholghi, M., Rakhshandehroo, G. R., 2010. Inverse modeling of variable-density groundwater flow in a semi-arid area in Iran using a genetic algorithm. *Hydrogeology Journal*. 18: 1191–1203
- Brangulis, A. J., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ., 1998. *Latvijas Ģeoloģija. 1:500 000 mēroga ģeoloģiskā karte un pirmskvartāra nogulumu apraksts*. Rīga, Valsts Ģeoloģijas dienests. 70. lpp.
- Brassington, R., 2007. *Field hydrogeology. The geological field guide series*. Hoboken, John Wiley & Sons. 264. p.
- Brassington, R., 1988. *Field Hydrogeology. Geological Society of London Handbook Series*. [S.l.], Open University Press.
- Carrera, J., Alcolea, A., Medina, A., Hdiālogo, J., Slooten, L.J. 2005. Inverse problem in hydrogeology. *Hydrogeology journal*, N 1, p. 206. – 222.
- Dēliņa, A., Saks, T., Jātnieks, J., Popovs, K. 2011. Baltijas artēziskā baseina ģeoloģiskā uzbūve hidroģeoloģiskajam modelim – pieejamo datu implementācija un problēmas. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcijas apakšsekcija "Baltijas artēziskā baseinapazemes ūdeņi."* Referātu tēzes. Rīga, Latvijas Universitāte, 30. – 31. lpp
- Fetter, C. W. 2001. *Applied hydrogeology. Fourth Edition*. Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 598. p.
- Foley, M. G. 1994. West Siberian basin hydrogeology – regional framework for contaminant migration from injected wastes. *International Symposium on the Scientific & Engineering Aspects of Deep Injection Disposal of Hazardous & Industrial Wastes*. Berkeley, May 1994.
- Harrar, W. G., Torben Obel Sonnenborg, T. O., Henriksen, H., J., 2003. Capture zone, travel time, and solute-transport predictions using inverse modeling and different geological models. *Hydrogeology Journal*. 11:536–548
- Hua Chen, F. 2000. *Soil Engineering. Testing, desing and remediation*. Florida, CRC Press. 288. p.
- Indāns, A., Ošiņa, J., Zobena, A. 1986. *Inženierģeoloģija*. Rīga, Izdevniecība „Zvaigzne”. 278. lpp.
- Juodkazis, V. I., Paltanavicitjs, J. P. 1976. Filtration properties of slightly permeable layers of the Baltic artesian basin and methods of their investigation. *Proceedings of a*

- symposium Hydrogeology of Great Sedimentary Basins*. Budapest, May–June 1976, IAHS/Hungarian Geological Institute.
- Levins, I., Levina, N., Gavena, I. 1998. *Latvijas pazemes ūdeņu resursi*. I. Dzilnas redakcija. Rīga, Valsts ģeoloģijas dienests, 24. lpp.
- Maldavs, Z. 1964. *Pazemes ūdens*. Rīga, Latvijas Valsts izdevniecība, 236. lpp.
- McDonald, M. G., Harbaugh, A. W. 1989. *A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model*. US Geol Surv, Open File Rep 83-875.
- Michael, H. A., Voss, C. I. 2009. Contros on groundwater flow in the Bengal Basin of India and Bangladesh: regional modeling analysis. *Hydrogeology Journal*. 17: 1561–1577.
- Mokrik, R. 1997. *The paleohydrogeology of the Baltic Basin. Vendian & Cambrian*. Tartu Universtity Press
- Odong, J. 2007. Evolution of empirical formulae for determinaion of hydraulic conductivity based on grain – size analysis. *Journal of American Science*. 3(3), 2007
- Pliakas, F., Petalas, C. 2011. Determination of Hydraulic Conductivity of Unconsolidated River Alluvium from Permeameter Tests, Empirical Formulas and Statistical Parameters Effect Analysis. *Water Resources Management*. Volume 25, Number 11, 2877-2899.
- Perkone, E., Bikse, J., Jatnieks, J., Klints, I., Delina, A., Saks, T., Raga, B., Retike, I. 2012. Hydraulic conductivity of sandstones in the Baltic Basin - a comparative study of pumping tests and grain size distribution. 2012. *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*. 2012, vol 14
- Pērkone, E, Bikše, J., Jātnieks, J., Klints, I., Dēliņa, A., Saks, T., Raga, B., Retiķe, I. 2012. Studies and projections of hydraulic conductivity of Devonian and Cambrian clastic sediments. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference*. Apakšsekcija „Groundwater in Sedimentary Basins”. *Referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 13.-14.
- Pērkone, E., Popovs, K. 2011. Correlation between filtration properties and lithofacial zonality of bedrock aquifer. *Daugavpils Universitātes 53. starptautiskās zinātniskas konferences tēzes*. Daugavpils, Akadēmiskais apgads Saule, 64.
- Pērkone, E., Popovs, K. Pamatiežu ūdens horizontu filtrācijas īpašību un litofaciālās zonalitātes sakarības. *Daugavpils Universitātes 53. starptautiskās zinātniskas konferences rakstu krājums*. Daugavpils, Akadēmiskais apgads Saule, (in print).
- Pērkone, E. 2011. Pamatiežu ūdens horizontu filtrācijas īpašības un mērogošanas problemātika. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference*. *Ģeoloģijas sekcijas*



- apakšsekcija "Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi." Referātu tēzes. Rīga, Latvijas Universitāte, 14.-15.
- Rajanayaka, C., Kulasiri, D., Samarasinghe, S., A. 2003. Comparative Study of Parameter Estimation in Hydrology Modelling: Artificial Neural Networks and Curve Fitting Approaches. *Proceeding of International Conference on Modelling and Simulation, MODSIM 2003 Congress*. vol 2, 843-848 14-17.
- Ritzema, H. P. (Ed.), 1994. *Drainage Principles and Applications*. International Institute for Land Reclamation and Improvement ( ILRI), Publication 16, second revised edition, Wageningen, The Netherlands. ISBN 90 70754 3 39, 1107. P.
- Rushton, K. R. 2005. *Groundwater hydrology: conceptual and computational models*. Chichester: Wiley, 416 lpp.
- Sanders, Laura, L. 1998. *A manual of field hydrogeology*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 108 – 111. p.
- Smith, Keith, A., Mullins, Chris, E. 2000. *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods (2nd Edition)*. New York, Marcel Dekker Incorporated. 650 p.
- Seņņikovs, J. 2011. Baltijas artēziskā baseina matemātiskais modelis. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcijas apakšsekcija "Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi." Referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 7.-9.
- Sennikovs, J., Virbulis, J., Bethers, U. 2011. Mathematical model of the Baltic artesian basin. *EGU General Assembly, Geophysical Research Abstracts*. 2011, vol 13
- Song, J., Chen, X., Cheng, C., Wang, D., Lackey, S., Xu, Z. 2009. Feasibility of grain – size analysis methods for determination of vertical hydraulic conductivity of streambeds. *Journal of Hydrology*. 375 (2009) 428 – 437.
- Spalviņš, A. 2012. Limits and presuppositions on creating and use of regional hydrogeological model of Latvia. *Latvijas Universitātes 70. zinātniskā konference. Apakšsekcija „Groundwater in Sedimentary Basins”*. Referātu tēzes. Rīga, Latvijas Universitāte, 10. - 13.
- Spalviņš, A., Nulle, U. 2011. Latvijas hidroģeoloģiskais modelis pazemes dzeramā ūdens krājumu pārvaldīšanai un atvaseļošanai. *Scientific Journal of Riga Technical University. Computer Science. Boundary Field Problems and Computer Simulation*. 2011, Volume 50.
- Spalvins, A., Slangers, J., Lace, I., Stuopis, A., Domasevicius, A. 2009. Creating of regional hydrogeological model for south-east of Lithuania. *Scientific journal of Riga Technical University. Computer science*. Vol. 41, p. 13-20.

- Spalviņš, A., Janbickis, R., Šlangens, J., Gosk, E., Lāce, I., Atruškievičs, J., Vīksne, Z., Levina, N., Tolstovs, J. 1996. *Hidroģeoloģiskai modelis „Lielā Rīga”*. Karšu atlants. Rīgas Tehniskā Universitāte, Vides modelēšanas centrs. Valsts Ģeoloģijas dienests. Dānijas un Grenlandes Ģeoloģijas dienests. Rīga, Kopenhāgena. 104 lpp
- Timuhins, A., Seņņikovs, J., Virbulis, J. 2011. Autoklaibrācijas metožu pielietojums Baltijas Artēziskā Baseina modelim MOSYS V0. *Latvijas Universitātes 69. zinātniskā konference. Ģeoloģijas sekcijas apakšsekcija "Baltijas artēziskā baseina pazemes ūdeņi." Referātu tēzes*. Rīga, Latvijas Universitāte, 9 lpp.
- Todd, D. K., Mays, L. W., 2005. *Groundwater hydrology, Third edition*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc, 636 p.
- Tucker, M. E. 2001. *Sedimentary Petrology. 3rd ed*. Malden, Oxford, [etc], Blackwell Science;
- Trauth, H. M. 2006. *MATLAB Recipes for Earth Sciences. 1st Edition*. Potsdam, Germany, Springer. 238 p.
- Vallner, L. 2003. Hydrogeological model of Estonia and its applications. *Proc. Estonian Acad. Sci. Geol.*, 52, 3, 179-192.
- Vienken, T., Dietrich, P. 2011. Field evolution of methods for determining hydraulic conductivity from grain size data. *Journal of Hydrology*. 400 (2011) 58-71.
- Virbulis, J., Bethers, U., Saks, T., Sennikovs, J., Timuhins, A. Hydrogeological model of the Baltic Artesian Basin. *Hydrogeology Journal*. (under revision).
- Zhu, C., Byrd, R. H., Lu, P., Nosedal, J. 1994. L-BSGS-B fortran subroutines for large – scale bound constrained optimization. *Research Abstracts*. Northwestern university, Department of electrica Engineering and Computer cience.
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L. 2000. *The Finite Element Method. Fifth edition, Volume 1: The Basis*. Oxford, Butterworth-Heinemann. 689 p.
- Welsh, W. D. Doherty, J. 2005. Great Artesian Basin groundwater modelling. *Engineers Australia, 29th Hydrology and Water Resources Symposium*. February, Canberra
- Дзилна, И. Л. 1970. *Ресурсы, состав и динамика подземных вод Средней Прибалтики*. Министерство геологии СССР, Всесоюзный научно – исследовательский институт морской геологии и геофизики. Рига, «Зинатне». 183 с.
- Иодказис, В. И. 1989. *Региональная гидрогеология Прибалтики*. Литовский научно – исследовательский геологоразведочный институт. Вильнюс, «Мокслас». 220 с.
- Куршс, В. М. 1992. *Девонское терригенное осадконакопление на Главном девонском поле*. Рига, «Зинатне». 208 с.

- Куршс, В. М. 1975. *Литология и полезные ископаемые терригенного девона Главного поля*. Рига, «Зинатне». 221 с.
- Пыхачев, Г. Б. 1961. *Подземная гидравлика*. Москва, Государственное научно – техническое издательство нефтяной и горно – топливной литературы, 387 с.
- Сорокин, В. С., Лярская, Л. А., Савваитова, Л. С., и др. 1981. *Девон и карбон Прибалтики*. Всесоюзный научно-исследовательский институт морской геологии и геофизики, Прибалтийская межведомственная стратиграфическая комиссия, Секция девона и карбона. Рига, «Зинатне». 503 с.
- Шварцев, С. Л., 1996. *Общая гидрогеология*. Москва, Издательство «Недра». 422 с.
- Маслов, Н. Н., Комов, М. Ф.. 1971. *Инженерная геология*. Москва, Издательство литературы по строительству. 85. – 86., 89. с.

### **Nepublicētā literatūra**

- Bičko, G., Tracevskis, G. 1979. *Pārskats par tēmu: Latvijas hidroģeoloģisko kopkaršu sastādīšana M 1:500 000, 1974.-1979.g.* Ģeoloģijas pārvalde, Rīga. VĢF inventāra nr. 9643. 561 lpp.
- Bičko, G., Tracevska, L., Tukāne, V. 1985. *Karšu sastādīšana: 1:1 500 000 mēroga inženierģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās kartes un hidroģeoloģiskās rajonēšanas kartes pēc lauksaimniecības ūdensapgādes un apūdeņošanas apstākļiem*. Latvijas ģeoloģija, Rīga. VĢF inventāra nr. 10243. 483 lpp.
- LVĢMC [Bez dat.] DB “Urbumi” (Latvijas urbumu datu bāze) Sk. 08.01.2011. Pieejams <http://mapx.map.vgd.gov.lv/geo3/vgf/vgf.html>. Atsauce tekstā (LVĢMC, bez dat.).
- Popovs, K. 2011. *Ģeoloģiskās struktūras trīsdimensiju modeļa algoritmizēta izveide Latvijas teritorijai*. Maģistra darbs. Latvijas Universitāte, Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte. Rīga. 99 lpp.
- Spalviņš, A., Janbickis, R. 1994. *Lielās Rīgas hidroģeoloģiskā modeļa REMO-1 elementu izstrāde un lāgošana*. Rīgas Tehniskā universitāte, Vides modelēšanas centrs. Rīga. VĢF inventāra nr. 11160. 152 lpp.
- Stankevica, I. 2011. *Baltijas Artēziskā Baseina hidroģeoloģiskā baseina kalibrācija*. Bakalaura darbs. Latvijas Universitāte, Fizikas un Matemātikas fakultāte. Rīga. 51 lpp.
- Tolstovs J., Dekerts A., Sīle S. 1982. *Pārskats: Eksperimentāli metodiskie darbi aprēķināto hidroģeoloģisko parametru ticamības noteikšanai, izmantojot Lielās Rīgas ūdengūtņu daudzkārtaino slāņkopu piemēru 1978.-1982.g.* Ģeoloģijas pārvalde, Rīga. VĢF inventāra nr. 9924, 636 lpp.

## Elektroniskie resursi

CyberWit Software Solutions [Bez dat.]. *DataScene*. Sk. 15.03.2012.

Pieejams <http://www.cyber-wit.com/>. Atsauce tekstā (CyberWit Software Solutions, bez dat.)

Google maps, karšu pārlūks [S.a.]. Pieejams

<https://maps.google.com/maps/ms?hl=en&ie=UTF8&t=h&msa=0&msid=107590547775551652338.00048195e59d253deced2&ll=57.06463,22.104492&spn=11.494685,28.081055&z=5&iwloc=00048195e96f02e313efb&source=embed>. Sk. 6.05.2012.

Procesu Analīzes un Izpētes centrs (PAIC) [Bez dat.]. *HiFiGeo*. Sk. 7.02.2011.

Pieejams <http://www.paic.lv/en/produkti.php#hifigeo>. Atsauce tekstā (PAIC, bez dat.)

RESRAD [Bez dat.]. *Hydraulic conductivity*. Sk. 02.03.2012. Pieejams

<http://web.ead.anl.gov/resrad/datacoll/conuct.htm>

## 1. pielikums

Urbumi ar Amatas horizontam noteiktajiem filtrācija koeficientiem (K), (LVĢMC, bez dat.)

Urbums	x	y	z	K
17	527244	6311445	9.64	5.1
44	535530	6318096	17.49	11.27
253	526616.3	6312161.5	13.94	50
254	526616.3	6312161.5	13.12	7.5
1511	524555	6289385	30.58	2.59
1523	525496.4	6306460.7	7.33	39
1553	517296.2	6310061.4	5.15	6.44
1577	496188	6303528	10.43	6.80
1597	487874	6304162	6.6	11.6
2670	316932	6270070	4.3	3.09
5654	522857.1	6295942.2	25.91	2.15
5661	524282.3	6291953.7	37.37	0.35
5678	524707.4	6289101.6	29.02	8.15
5685	527097.3	6289346.6	36.85	3.18
5692	531998	6288221	39.6	1.76
5700	521513.5	6291682.2	33.59	0.34
5705	521448.8	6286998.3	25.15	1.54
5713	527567.7	6296869.2	34.68	6.67
5720	526732.5	6293561.6	31.72	2.22
5725	525451	6291534.9	39.68	0.92
5758	525244.2	6290545.6	35.87	2.13
8422	544078	6288992	34.4	3.95
8423	544025	6289063	36.34	1.14
9653	609542	6226370	111.38	1.54
10889	457469.9	6266394.5	45.6	8.10
12037	570030	6339895	114.74	1.3
15105	703980	6341900	104.92	0.11
15106	687420	6318900	96.71	1.95
15334	687515.8	6292355.6	95.15	2.49
15430	742898	6273198	111.1	29
15459	728244	6291608	107.69	2.2
15513	693560	6231860	151.9	5.80
15603	717054	6216514	173	6.19
20053	592853.2	6287138	94.76	5.90
20056	620881.1	6283881.7	92.54	17.29
20058	667119.5	6310969.5	95.5	0.9
20061	675195.7	6285077.1	97.56	3.40
20070	739132.9	6295544.2	102.1	13.5
20074	582661	6234871	88.37	0.7

443	444996.2	6328534.1	61.79	3.59
447	444076.8	6248863.5	82.92	3.2
607	514745	6250405	31.78	2.46
650	453026.6	6318007	47.1	3.59
866	366548.8	6312091.2	75.35	3.54
867	366548.8	6312091.2	75.25	5.19
868	366548.8	6312091.2	75.25	4.21
870	371992.4	6301364.5	78.55	3
871	374978.4	6296660.4	48.49	3
878	360301.9	6305430.1	59.5	0.2
1556	506940.1	6287582.2	9.82	1.6
2050	338031.8	6290323.3	22.49	12.2
2052	338031.8	6290323.3	23.64	1.4
2168	424291.1	6338179.6	128.2	3.18
2182	421198.5	6342017.7	120.1	3.44
2501	333918	6279665	34.35	3.90
4893	467333.4	6314867.2	3.62	7
5135	474328.8	6313579.3	3.5	4
5136	467563.2	6308255.1	10.5	6
5137	470253	6309827.5	4.81	3
5827	588590.6	6252321.6	85	3.90
6817	495879.9	6293352.7	8.48	6.90
6839	476463.3	6294954.3	3	3.90
9531	475504.7	6299267.2	5	3.90
15126	661360	6382600	91.78	10.06
15406	731965	6298891	100.3	0.9
50296	586378	6268613.6	71.79	20.79

## 2. pielikums

Urbumi ar Gaujas horizontam noteiktajiem filtrācija koeficientiem (K), (LVĢMC, bez dat.)

Urbums	x	y	z	K
20073	622831.6	6239811.9	115.17	0.00
867	366548.8	6312091.2	75.25	0.30
23914	724370	6201365	184	0.40
1510	524565	6289370	30.56	0.50
20096	712182	6196537	135	0.53
866	366548.8	6312091.2	75.35	0.62
868	366548.8	6312091.2	75.25	0.62
20061	675195.7	6285077.1	97.56	0.70
8423	544025	6289063	36.34	1.14
2064	340024.8	6309752.8	27.42	1.20
13624	661098.5	6380485.5	81.2	1.27
13625	661558.7	6381058.9	78	1.27
2066	347447.6	6313550.4	17.82	1.40
2052	338031.8	6290323.3	23.64	1.60
499	484388.7	6311696.6	2.3	1.87
530	514691	6250389	31.72	2.04
15459	728244	6291608	107.69	2.20
1604	474917	6310082	3.15	2.40
607	514745	6250405	31.78	2.46
15334	687515.8	6292355.6	95.15	2.49
6668	425695	6322407	72.5	2.62
23919	702897	6200389	156	2.80
447	444076.8	6248863.5	82.92	3.20
2062	331645.1	6310841.4	9.72	3.40
2323	416418.1	6361128.5	38.55	3.40
2050	338031.8	6290323.3	22.49	3.50
9459	494385	6311488	4.5	3.50
2831	375043.6	6316161.2	34.75	3.70
2182	421198.5	6342017.7	120.1	3.80
8422	544078	6288992	34.4	3.95
1611	502490.5	6300328.9	11.96	4.00
2176	401885.4	6349912.8	34.2	4.10
2680	320417.8	6288542.6	6.05	4.20
8045	576155.1	6273876.1	89.12	4.20
8052	576130.5	6273920.8	90.1	4.20
8056	576246.1	6273877.4	89	4.20
8175	576140.9	6273890.9	90	4.20
8177	576146.7	6273833	89	4.20
458	484892	6312800	5.62	4.37

2670	316932	6270070	4.3	4.50
601	514699	6250390	31.67	4.50
1536	512195	6328940	0.65	4.50
2051	338031.8	6290323.3	22.67	4.50
50288	716989	6248258	165.6	4.60
8120	566533.3	6274610.7	52.5	4.63
1493	539029.5	6331283.3	36.64	4.80
718	513190	6250722	18.23	4.80
1537	529702	6349471	24.72	4.89
897	329943.8	6304690.3	3.69	4.93
1583	476287.8	6313789.4	1.71	5.00
1590	480797	6313045	2.75	5.00
2172	389659.2	6352443.1	28.01	5.00
895	329943.8	6304690.3	2.43	5.10
7281	646969.7	6269261.7	105	5.17
877	354186.5	6309751.7	31.35	5.20
589	491653.4	6277319.3	3.14	5.40
593	492785	6276758	5.49	5.40
3349	492162.5	6277012	3.91	5.40
3351	489742.7	6277971.4	4.06	5.40
3352	488884.9	6278528.9	4.32	5.40
21054	521511	6325186	5.5	5.45
44	535530	6318096	17.49	5.50
2370	509537.1	6304309.2	12.13	5.56
20088	719887	6223196	162.7	5.60
10892	461145	6263467	33.5	5.65
15513	693560	6231860	151.9	5.80
50297	627113.9	6277059.8	100.6	5.90
549	410959	6354865.7	40.36	5.90
8024	617395	6261720	81	5.93
8025	617165	6261910	81	5.93
8224	617612	6261465	82	5.93
42	530071	6329368.3	14.45	6.00
1622	514997.2	6312530.8	7.02	6.00
1637	512645.6	6327570.5	1.85	6.00
547	439909.4	6335931	18.34	6.00
6817	495879.9	6293352.7	8.48	6.00
50280	691314.9	6283322.9	105.4	6.10
15603	717054	6216514	173	6.20
448	488739.8	6245893	38.35	6.20
20090	695797.9	6248548.6	145.1	6.30
15425	739939	6246647	189.5	6.40
2829	375050	6316450	33.44	6.40
3363	486430	6282876	3	6.40



7485	486175	6283005	2	6.40
7240	514639	6250430	31.95	6.63
603	514735	6250434	31.81	6.70
13590	506890	6303520	15	6.70
1527	516936.5	6331890.6	1.84	7.00
1619	507181.3	6319228.4	1.88	7.00
894	329943.8	6304690.3	2.55	7.10
20089	710490.9	6232296.4	200.6	7.20
1482	510536	6326882	2.36	7.30
252	526616.3	6312161.5	13.41	7.60
11602	663929.2	6209671	115	7.60
15394	631819	6226819	98	7.69
2065	347447.6	6313550.4	17.01	7.80
3337	481208	6275915	5	7.80
1514	515901.4	6334045.5	1.06	8.00
2369	509776.3	6304329.6	10.25	8.00
7011	668954.2	6242980	130.63	8.61
7010	668946.6	6242910.5	130.42	8.76
3096	525443.3	6320035.2	12.74	9.00
548	418374.4	6336959.5	98	9.00
2090	370733.9	6296856.4	71.18	9.00
6818	495826.4	6293239.2	7.99	9.00
2166	384358.6	6346152.5	25	9.30
611	495293.3	6292834.2	7.24	9.50
18994	517672.7	6311145.6	9.5	9.60
435	456154.7	6311107.1	27.95	9.70
1509	524560	6289380	30.52	9.80
1533	527798	6305638	11.76	9.87
731	420022.4	6256566.6	93.79	10.00
50300	680652.9	6269633.4	116	10.00
4892	467333.4	6314867.2	3.6	10.00
7795	660764	6206954	105.4	10.10
1516	528627.3	6302357.1	19.01	10.50
2371	510055.3	6304351.9	8.43	11.20
40	523648.3	6319383	7.41	11.40
2081	330458.5	6306620.8	9.5	12.50
6839	476463.3	6294954.3	3	12.50
9531	475504.7	6299267.2	5	12.50
1576	496185	6303529	10.42	12.70
2201	424446.1	6362574.9	37.3	13.10
2522	321963	6272837	2	13.45
1595	487875	6304155	6.57	13.50
20070	739132.9	6295544.2	102.1	13.50
251	526616.3	6312161.5	13.05	13.97

1620	507181.3	6319228.4	1.98	14.00
18156	531248.7	6318967.1	25	14.00
2195	418558	6336908	96	14.30
2501	333918	6279665	34.35	14.76
443	444996.2	6328534.1	61.79	15.10
17550	578413	6354063.1	111.32	15.10
1585	476294.8	6313779.5	1.56	15.20
1603	474913	6310078	3.16	15.30
10889	457469.9	6266394.5	45.6	16.30
12150	646441	6196862	140	17.00
4891	467333.4	6314867.2	3.65	18.00
2206	430675.1	6348873.6	30.72	18.51
1584	476290.8	6313784.5	1.64	19.00
256	530071	6329368.3	14.45	20.00
50278	699820	6214690	161.7	20.00
50296	586378	6268613.6	71.79	20.80
640	448842.2	6341590.1	1.32	21.20
1494	539029.5	6331283.3	36.46	22.00
2181	406505.5	6363917.4	60.6	23.00
503	490069.5	6314647.5	4.54	23.10
20104	666620.6	6206004.6	113.82	23.80
12169	674891	6206624	145	28.30
14523	612630	6218923	121.5	46.00
20085	672420.2	6214654.1	143	64.00
2083	356290.3	6317775.8	44.12	66.60

### 3. pielikums

Urbumi ar Burtnieku horizontam noteiktajiem filtrācija koeficientiem (K) (LVĢMC, bez dat.)

Urbums	x	y	z	K
38	520264.8	6325355.6	4.54	1.50
251	526616.3	6312161.5	13.05	8.90
629	449064.5	6349813.3	3.31	4.00
1480	510540	6326881	2.32	8.70
1481	510538	6326879	2.36	4.00
1492	539029.5	6331283.3	36.58	3.60
1508	524560	6289375	30.62	1.00
1513	515901.4	6334045.5	1.01	1.90
1516	528627.3	6302357.1	19.01	11.30
1575	496182	6303529	10.43	2.60
1582	476283.8	6313794.5	1.69	3.30
1594	487875	6304159	6.56	2.04
1617	505593	6322664	1.34	4.00
2670	316932	6270070	4.3	14.80
6485	698988	6200152	146	0.12
8250	634107	6248716	90.71	9.20
9600	560973.1	6407431.5	63.17	0.26
9602	560544	6407111	68.61	0.04
11601	660534.3	6205109.8	114.47	6.50
14575	393570	6360625	38.5	8.40
14577	380545	6355605	45.5	4.00
15334	687515.8	6292355.6	95.15	0.72
20003	540945.4	6358857.2	50	13.40
20005	523473.1	6394373.4	8.93	13.00
20089	710490.9	6232296.4	200.6	7.20
20090	695797.9	6248548.6	145.1	4.50
20091	691966	6199744	152	0.03
20092	688624	6205598	149.5	1.30
20096	712182	6196537	135	0.53
20098	651601	6180332	147.57	14.00
20099	662710	6206395	101.92	15.00
20101	666486	6206108	113.34	17.00
20109	660905.2	6176591.9	151.34	32.00
50278	699820	6214690	161.7	4.60
50300	680652.9	6269633.4	116	8.10
50304	661803.9	6240104.7	108	40.00
410	448964.7	6286303.7	62.28	3.00
419	486401.2	6310378	1.72	4.23

421	487522.8	6304257.4	8.06	3.56
423	483040.5	6289401.1	5.92	4.39
424	484964.7	6312741.7	4.8	3.85
443	444996.2	6328534.1	61.79	2.30
530	514691	6250389	31.72	1.91
547	439909.4	6335931	18.34	3.10
549	410959	6354865.7	40.36	8.80
641	441808.5	6345431.5	2.47	2.80
642	446003.9	6334612.2	14	3.40
652	452538	6334874.6	5.08	4.20
867	366548.8	6312091.2	75.25	1.60
871	374978.4	6296660.4	48.49	0.80
873	343230.5	6317568.8	17.07	0.90
877	354186.5	6309751.7	31.35	1.00
895	329943.8	6304690.3	2.43	0.17
897	329943.8	6304690.3	3.69	1.90
2050	338031.8	6290323.3	22.49	0.50
2062	331645.1	6310841.4	9.72	2.10
2065	347447.6	6313550.4	17.01	1.00
2172	389659.2	6352443.1	28.01	2.95
2176	401885.4	6349912.8	34.2	13.64
2180	403930.7	6372906.3	65.41	6.20
2181	406505.5	6363917.4	60.6	9.20
2187	385558.9	6341596.5	25.09	3.52
2197	412591	6373704.3	39.2	44.70
2201	424446.1	6362574.9	37.3	5.53
2202	424077.9	6371455.7	12.1	3.00
2205	435250.8	6357575.8	18.7	9.30
2206	430675.1	6348873.6	30.72	2.86
2224	405492.9	6384023.8	84	0.20
2482	320755.2	6277601.6	4.42	5.70
2522	321963	6272837	2	13.45
3181	491374.3	6310199.3	2.03	3.43
3483	573593.4	6355315.3	26.98	1.56
5140	467333.4	6314867.2	3.62	5.00
5360	451064.1	6330708	11.9	5.30
6482	696666	6199954	145	6.80
8046	576157	6273884.2	89.3	4.20
8052	576130.5	6273920.8	90.1	4.20
8053	576246.1	6273877.4	88	4.20
11365	659381	6208342	100.19	3.80
12150	646441	6196862	140	7.10
12153	660975	6203267	116.18	19.10
12163	676606	6199392	98.9	8.80

12172	646910	6203332	101.91	7.70
13107	562660	6345201	60.5	1.61
18106	525233	6352868	7.4	5.00
20106	666610.7	6206004.2	113.87	14.40
23922	689749	6207179	150	14.61
50314	643363	6202062	96.38	8.10
50430	540671.3	6358866.9	50.32	13.40

#### 4. pielikums

Urbumi ar Arukilas horizontam noteiktajiem filtrācija koeficientiem (K), (LVĢMC, bez dat.)

Urbums	x	y	z	K
38	520264.8	6325355.6	4.54	1.30
629	449064.5	6349813.3	3.31	7.20
1491	539029.5	6331283.3	39.09	8.00
1507	524570	6289355	30.7	3.40
1513	515901.4	6334045.5	1.01	1.90
1580	496196	6303527	10.42	5.40
1588	480814	6313045	2.82	2.00
1589	480806	6313045	2.86	3.00
1593	487875	6304163	6.42	5.70
1601	474901.4	6310066	3.18	9.30
1602	474905.4	6310070	3.16	1.50
1614	512226.1	6326421.9	1.86	2.00
2670	316932	6270070	4.3	18.90
6235	374614.6	6360061.5	27.09	7.40
10889	457469.9	6266394.5	45.6	6.30
10892	461145	6263467	33.5	2.40
11597	578517.6	6417115.5	47	1.00
12166	676820	6197349	134.83	1.48
14576	382990	6358495	18.5	7.60
15334	687515.8	6292355.6	95.15	0.72
20001	528873.6	6402091.9	24.15	8.30
20004	526440.3	6358272.4	21.75	5.20
20005	523473.1	6394373.4	8.93	13.00
20006	544435.4	6419397.3	46.88	10.40
20007	524673.9	6380417.5	15.32	7.30
20008	551105.2	6418399.2	47.97	8.30
20009	603309.3	6423649.9	79.85	3.76
20011	615664	6383090.2	49	9.00
20012	584206.1	6377359.2	41.94	3.70
20090	695797.9	6248548.6	145.1	4.50
20095	698304.6	6194427.7	133	0.05
20103	656989	6204245	108.31	4.90
50053	315028	6258353	4.12	1.10
50099	317173	6219345	2.44	0.30
50303	648521.8	6238064.6	94.4	8.60
50305	630079.6	6217566.9	111.7	9.50
50306	648319.3	6210524	94.6	3.50
50324	600630	6405625	93	4.58
410	448964.7	6286303.7	62.28	3.00

419	486401.2	6310378	1.72	4.23
421	487522.8	6304257.4	8.06	3.56
423	483040.5	6289401.1	5.92	4.39
424	484964.7	6312741.7	4.8	3.85
530	514691	6250389	31.72	2.74
546	442594.5	6354482.8	4.52	7.50
549	410959	6354865.7	40.36	4.60
580	432811.7	6368728.6	8.3	4.03
640	448842.2	6341590.1	1.32	3.10
652	452538	6334874.6	5.08	4.10
866	366548.8	6312091.2	75.35	0.30
873	343230.5	6317568.8	17.07	0.90
877	354186.5	6309751.7	31.35	0.70
894	329943.8	6304690.3	2.55	0.62
897	329943.8	6304690.3	3.69	1.40
2050	338031.8	6290323.3	22.49	1.40
2064	340024.8	6309752.8	27.42	1.20
2065	347447.6	6313550.4	17.01	1.50
2083	356290.3	6317775.8	44.12	1.90
2093	334610.5	6314094.1	14.14	1.70
2172	389659.2	6352443.1	28.01	5.40
2174	387291.6	6369538.9	22.8	4.36
2176	401885.4	6349912.8	34.2	13.64
2180	403930.7	6372906.3	65.41	6.20
2187	385558.9	6341596.5	25.09	3.52
2197	412591	6373704.3	39.2	4.70
2201	424446.1	6362574.9	37.3	5.53
2202	424077.9	6371455.7	12.1	3.00
2206	430675.1	6348873.6	30.72	3.20
2222	398855.2	6384167.4	71.5	21.56
2226	416995.8	6381904.2	8.7	6.28
2228	415729.5	6359808.1	42	6.40
2387	365152.4	6365613	18.68	2.90
2389	365740.2	6365326.8	21.79	5.70
2392	365604	6367871	20.59	6.30
2393	364691	6367668	16.42	5.10
2394	365757.5	6364585.5	22.38	10.60
2823	416959.7	6359343.6	45.9	16.50
2830	375017	6316456	33.48	2.20
2831	375043.6	6316161.2	34.75	2.30
3483	573593.4	6355315.3	26.98	1.56
4554	381125	6349849	37	6.06
5051	367997.4	6359783	17.3	2.00
6482	696666	6199954	145	6.80

6583	524530	6344320	12	7.80
11463	618284.4	6405746.3	63.84	2.50
11467	618112.4	6405889.8	68	2.50
12160	650743	6183508	103.21	2.10
12170	645412	6199239	107.46	7.20
12178	678753	6186823	154.76	5.80
12183	659810	6192057	110.99	6.50
15518	645060	6181260	133.79	17.30
20100	677230.4	6178953.2	147.88	5.47
20102	652251	6204790	90.74	3.10
50315	669270	6196852	131.66	5.80
50392	515826	6251666	32	17.00



**Maģistra darbs** „Filtrācijas koeficienta novērtējums devona klastiskajos nogulumiežos”  
izstrādāts LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē.

*Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.*

Autors: Eleonora Pērkone

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Docents, Dr. Ģeol. Aija Dēliņa

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Recenzents: amats, zinātn. grāds Vārds Uzvārds

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā datums

Nodaļas lietvede .....

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Maģistra darbs aizstāvēts ģeoloģijas maģistra gala pārbaudījumu komisijas sēdē

.....  
gads, datums, mēnesis

protokola nr. ....

vērtējums .....

Sekretārs Vārds Uzvārds

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

paraksts

datums