

ĢEOLOĢISKO SLĀŅU ŪDENS FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA KARTES LATVIJAS HIDROĢEOLOĢISKAJĀ MODELĪ

Aivars SPALVIŅŠ, Kaspars KRAUKLIS, Inta LĀCE
RTU Vides modelēšanas centrs
emc@cs.rtu.lv

LU 75. zinātniskā konference
Starptautisks un starpdisciplinārs simpozījs
“Smilts un Stikli”

Latvijas hidroģeoloģiskais modelis (HM) LAMO apkopo informāciju par pazemes ūdens aktīvās zonas ģeoloģisko slāņu stratigrāfiju un filtrācijas īpašībām, par pazemes ūdens līmeņiem un plūsmām, par mijiedarbību starp pazemes ūdensobjektiem un virszemes ūdens avotiem (jūra, ezeri, upes, atmosfēras nokrišņi).

Ar Valsts pētījumu programmas EVIDEnT atbalstu ir veikta būtiska LAMO pilnveidošana (2013.g.-2016.g.)

LAMO darbojas licenzētas programmatūras Groundwater Vistas (GV) vidē, kurā dati par ģeoloģisko slāņu filtrācijas koeficientiem k (k -kartes) un biezumu m (m -kartes) ir nepieciešami HM izveidošanai.

Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa (LAMO) novietojums
















LAMO4 vertikālā shematizācija un precizētie parametri


Izmantojot galīgo starpību metodi, ģeoloģiskā telpa tiek aproksimēta ar xyz-režģi. Režģi veido ($h \times h \times m$) izmēru bloki, kur h ir plaknes aproksimācijas solis un m ir mainīgs slāņa biezums.

Vertikālā shematizācija paredz:
27 modeļa plakņu izmantošanu.

LAMO4 režģis ietver:
 $1901 \times 1201 \times 27 = 61.56 \times 10^6$
mezglus.

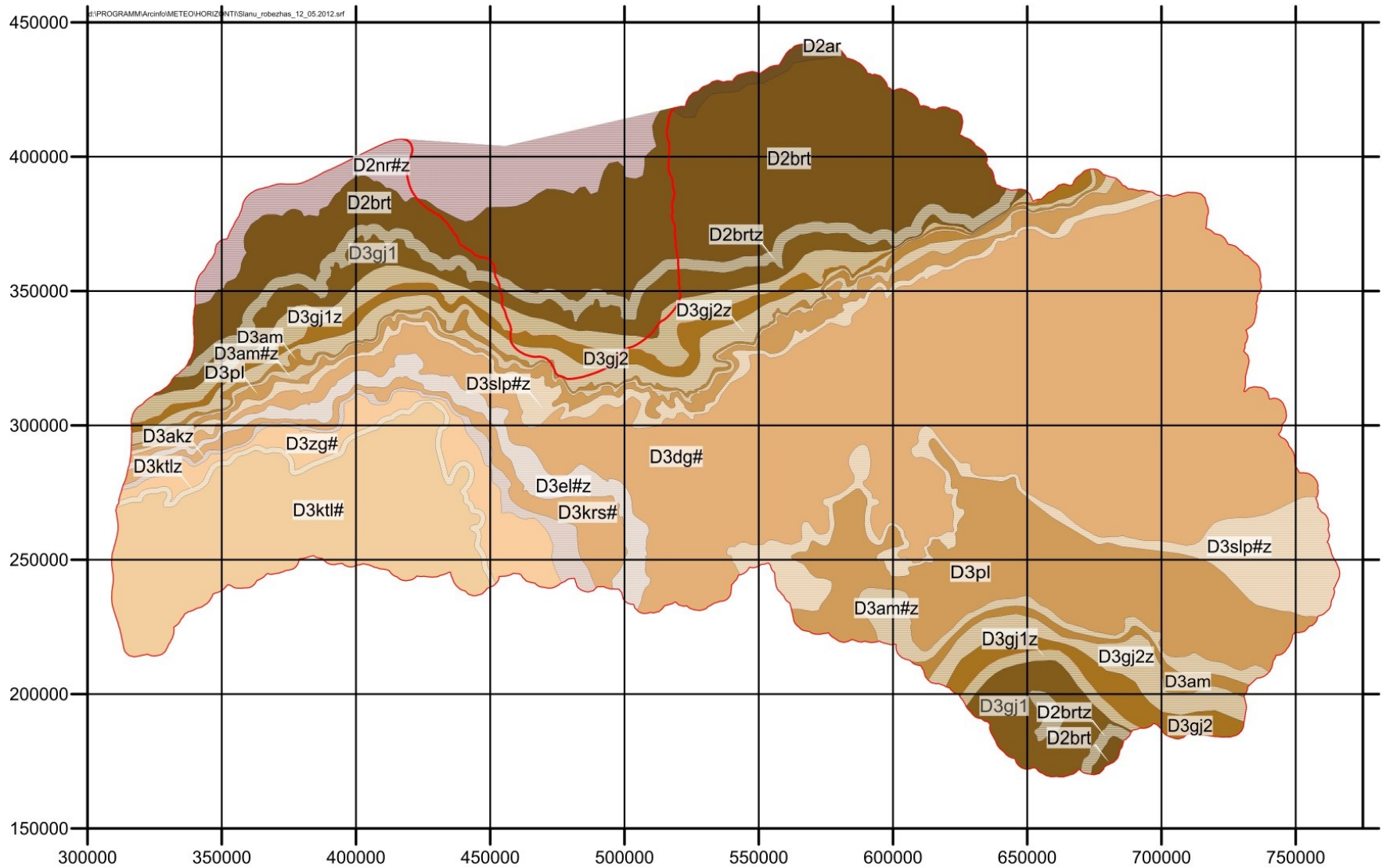
LAMO3 režģa plaknes
aproksimācijas solis:
250 metri.

No of HM layer	*	Name of layer	HM layer code	Area, [thous. km ²]	m_{mean} , [meter]	k_{mean} [meter /day]
1		Relief	relh	71.29	0.02	10.0
2		Aeration zone	aer	71.29	0.02	3.1×10^{-6}
3		Unconfined Quaternary	Q2	71.29	5.77	11.2
4		Upper moraine	gQ2z	71.29	22.20	1.4×10^{-3}
5		Confined Quaternary	Q1#	7.4	6.13	7.0
6		Lower moraine	gQ1#z	9.7	9.3	2.8×10^{-4}
7		Ketleru	D3ctl#	5.32	61.46	4.2
8		Ketleru	D3ctlz	5.79	10.52	2.8×10^{-4}
9		Zagares	D3zg#	7.43	42.65	7.0
10		Akmenes	D3akz	7.95	11.05	2.8×10^{-5}
11		Kursas	D3krs#	9.34	22.34	6.3
12		Elejas	D3el#z	9.24	27.58	2.8×10^{-5}
13		Daugavas	D3dg#	32.14	30.37	9.4
14		Salaspils	D3slp#z	35.78	12.67	8.4×10^{-4}
15		Plavinu	D3pl	43.80	22.76	8.6
16		Amatas	D3am#z	45.14	8.97	1.4×10^{-4}
17		Amatas	D3am	46.21	21.91	6.4
18		Upper Gauja	D3gj2z	48.80	11.62	2.8×10^{-4}
19		Upper Gauja	D3gj2	50.92	26.34	6.2
20		Lower Gauja	D3gj1z	53.11	13.17	2.8×10^{-4}
21		Lower Gauja	D3gj1	56.13	31.55	5.4
22		Burtnieku	D2brtz	58.09	15.41	5.6×10^{-4}
23		Burtnieku	D2brt	68.74	45.02	4.2
24		Arikula	D2arz	68.74	15.02	4.2×10^{-4}
25		Arikula	D2ar	68.74	40.03	3.2
26		Narva	D2nr#z	71.29	116.67	2.8×10^{-5}
27		Pernava	D2pr	71.29	25.00	10.0

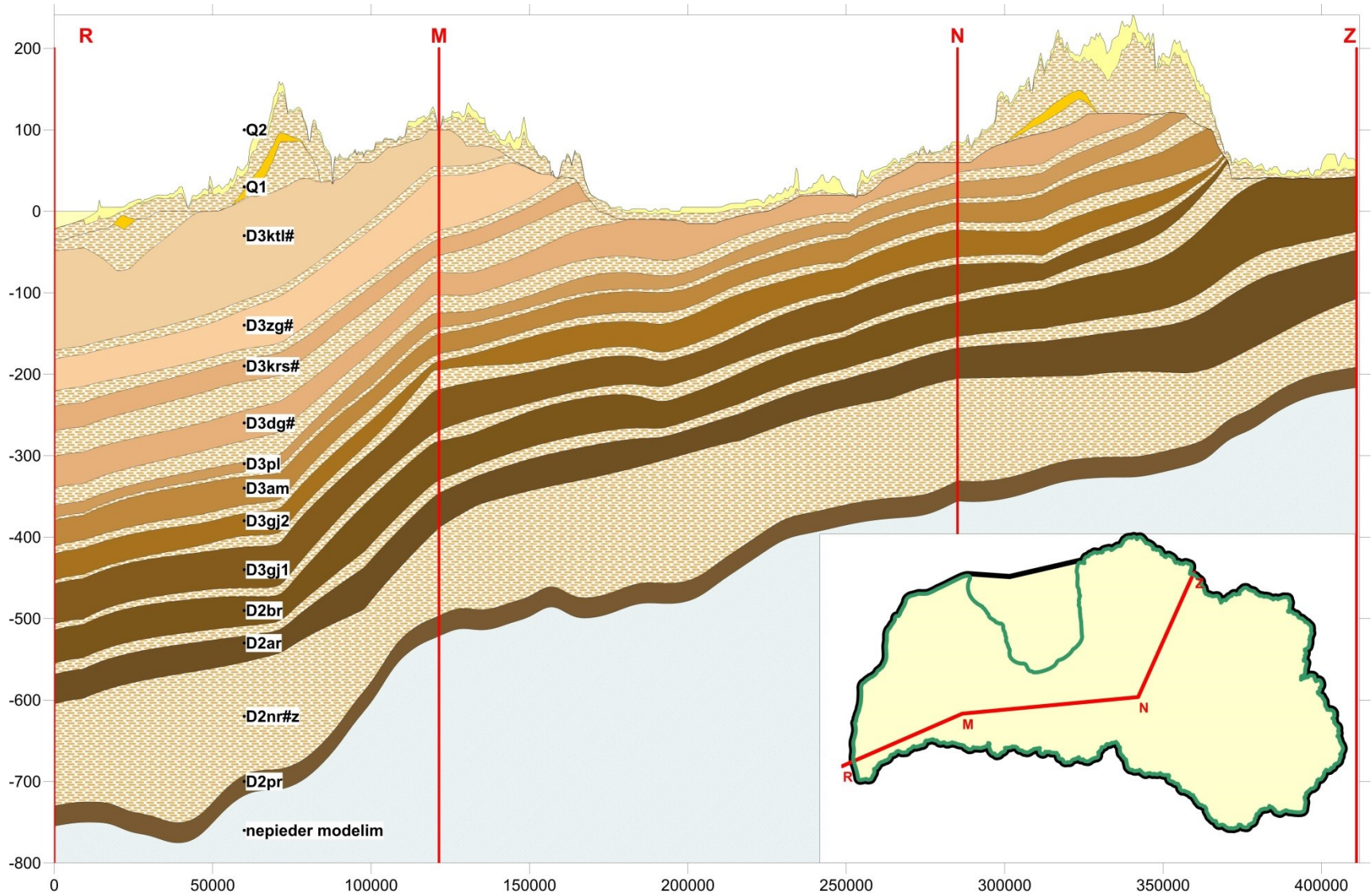
*  - aquitard

m_{mean} and k_{mean} – the mean thickness and permeability

Geoloģisko slāņu robežas



Ģeoloģiskais griezumums R_M_N_Z



Latvijas hidroģeoloģiskā modeļa versijas

Versijas nosaukums	Gads	Aproximācija			Upju skaits modelī			Ezeri skaits
		Plaknes solis [m]	Slāņu skaits	Režģa bloku skaits [$\times 10^6$]	Skaits	Upju iegrauzumi	Upju pieteces ievērošana	
LAMO1	2012	500	25	14.25	199	nē	nē	67
LAMO2	2013	500	27	15.43	199	jā	nē	67
LAMO3	2014	500	27	15.43	469	jā	nē	127
LAMO4	2015	250	27	61.56	469	jā	jā	127

Latvijas teritorijā ģeoloģiskie slāņi ietver nulles biezuma m_0 areālus. Tie sarežģī k -karšu iegūšanu. Kalibrējot HM, korigē k -kartes. Visjaunākajā LAMO4 versijā k -karte ir neatkarīgu faktoru reizinājums. Šie faktori ne tikai ievēro ūdens horizontu un sprosts slāņu īpašības, bet arī samazina m_0 areālu nevēlamo ietekmi.

Raksts informē par metodēm, kuras bija jāizmanto, lai izveidotu k -kartes Latvijas hidroģeoloģiskajam modelim.

Matemātiskais formulējums

Pjezometrisko pazemes ūdens līmeņu sadalījumu $\varphi(x,y,z)$ HM režģī iegūst, atrisinot algebrisku vienādojumu sistēmu:

$$A\varphi = \beta - G\psi, \quad A = A_{xy} + A_z, \quad (1)$$

kur A ir aproksimētās ģeoloģiskās vides vadāmību matrica; kuru veido HM režģa xy -slāņi; A_{xy} un A_z ir slāņu horizontālo un vertikālo vadāmību matricas; β un ψ ir plūsmas un ūdens līmeņu robežnoteikumu vektori; G ir diagonāla matrica (A matricas daļa), kura ietver saites ar ψ tipa robežnoteikumu.

Vērtības elementiem σ_{xy} un σ_z , kuri tiek izmantoti kā sākuma dati matricām A_{xy} un A_z , GV sistēmā HM režģa blokam i -tā slānī aprēķina šādi:

$$\sigma_{xy,i} = k_i m_i = T_i, \quad \sigma_{z,i} = h^2 k_i / m_i, \quad \sigma_{z,i} / \sigma_{xy,i} = h^2 / m_i^2,$$

$$m_i = z_{i-1} - z_i \geq 0, \quad i=1, 2, \dots, u, \quad (2)$$

kur z_{i-1} , z_i ir i -tā slāņa augšas un apakšas virsmu augstumi; z_0 ir zemes virsmas augstums; m_i un k_i ir elementi HM i -tā slāņa biezuma un filtrācijas koeficientu m un k – kartēs; u ir virsmu skaits; LAMO4 $u = 28$; T_i ir slāņa ūdens vadāmība.

Savienojumi a_{jp} starp HM režģa tuvāko kaimiņu j un p bloku centriem ir matricu A_{xy} un A_z elementi. GV sistēmā a_{jp} aprēķina kā vidējo harmonisko sākuma datu kopām σ_j un σ_p

$$a_{jp} = 2 / (1/\sigma_j + 1/\sigma_p) , \quad (3)$$

kuru σ – dati iegūti ar formulām (2).

Horizontālos savienojumus $a_{xy,i}$ i -tajā slānī veido elementi $\sigma_{xy,i}$. Vertikālie savienojumi $a_{z,i,i+1}$ starp i un $i+1$ slāni tiek aprēķināti, izmantojot elementus $\sigma_{z,i}$ un $\sigma_{z,i+1}$.

Ja formulā (2) $m_i = 0$, tad $\sigma_{xy} = 0$ un $\sigma_z = \infty$, t.i., precīzs σ_z aprēķins m_0 areālam nav iespējams problēmas “dalījums ar nulli” dēļ.

Lai m_0 areāliem tuvināti aprēķinātu σ_{xy} un σ_z , LAMO izmantots $m_0 = 0.02$ metri. Šāds tuvinājums praktiski neiespaido z - virsmas $m > 0$ apgabalā un izsauc tikai $0.02 \times 21 = 0.42$ metri ģeometrisku novirzi Latvijas ziemeļu daļā, kurā pārklājas visi m_0 areāli.

k -datu avoti un σ -datu ietekme HM slāņos

Slāņa tips	k -datu avots ($m > 0$)	Galvenie σ -dati ($m > 0.02$)	σ -datu koriģēšana $m = 0.02$
Horizonts	eksperiments	σ_{xy}	samazinot σ_{xy}
Sprostslānis	HM kalibrēšana	σ_z	palielinot σ_z

LAMO4 pamatiežu horizontu k -kartes izveidošanas, izmantojot formulu:

$$k_i = \sigma_{xy,i} / m_i, \quad (4)$$

kur $\sigma_{xy,i}$ - dati iegūti, izmantojot urbumu atsūkņēšanas rezultātus.

Formulas (4) izmantošanu apgrūtina m_0 areālu esamība.

Atsūknējot urbumu ar ražību Q [litri/sec], rodas pazemes ūdens līmeņa pazeminājums S [metri]. Attiecība $\gamma = Q / S$ [litri/(sec metrs)] ir urbuma īpatnējais debīts, kuru var izmantot aptuvenam horizonta minimālās ūdens vadāmības T_{min} [metri²/dnn] aprēķinam:

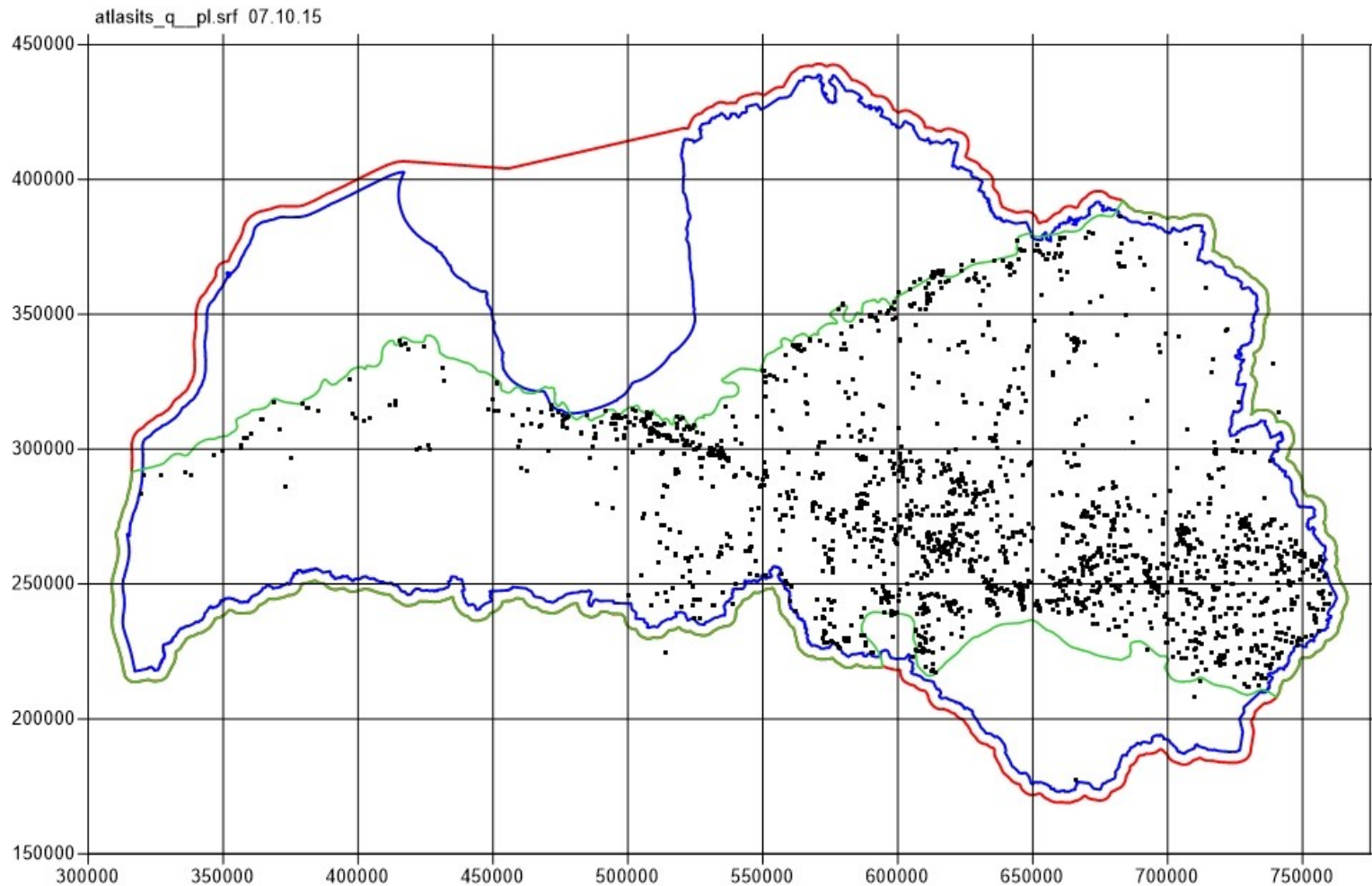
$$T_{min} = 144 \gamma = \sigma_{xy}, \quad (5)$$

kur T_{min} atbilst σ_{xy} – datiem formulā (4).

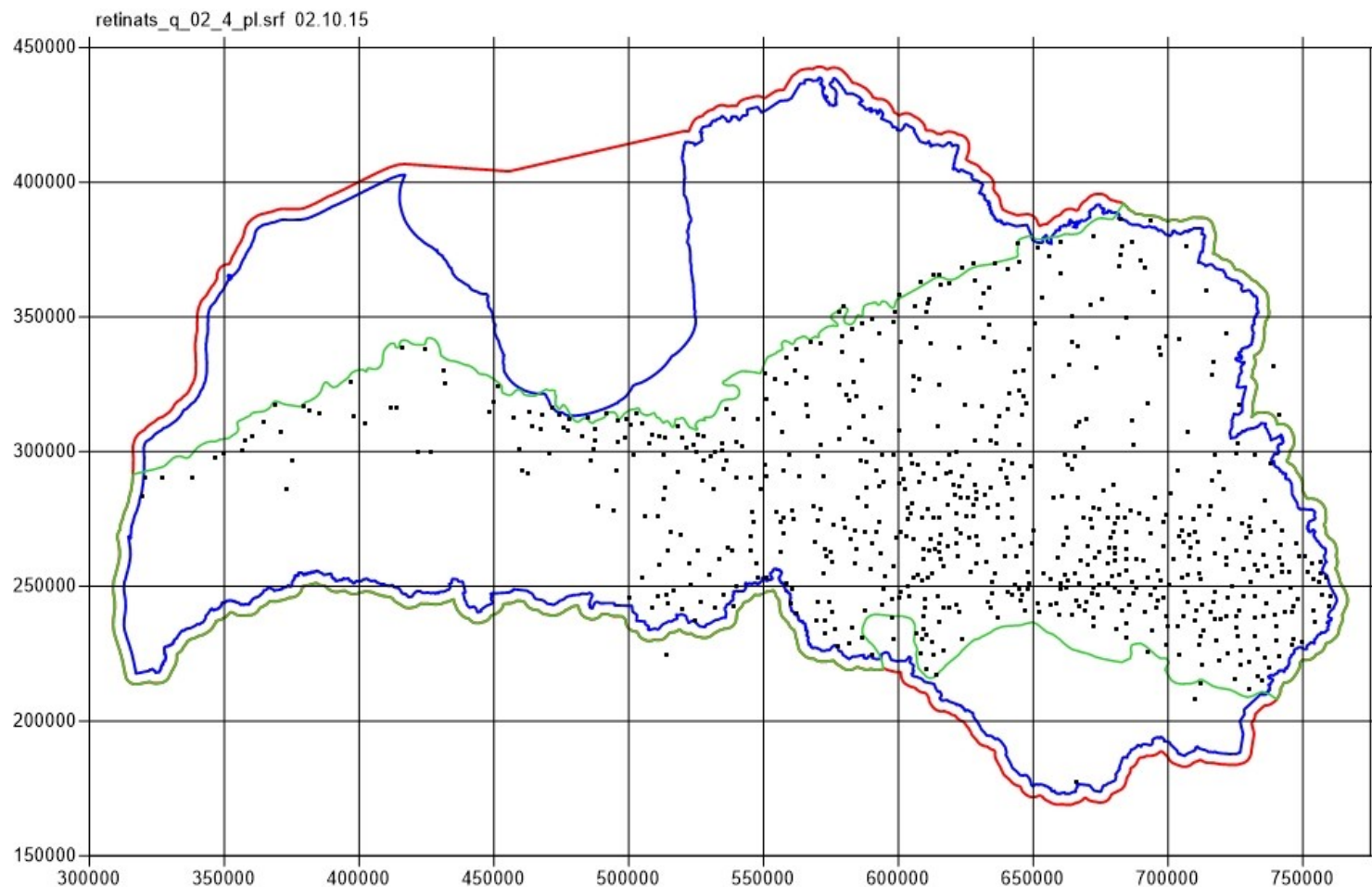
Urbumu datu apstrādes rezultāti

Slāņa kods	Urbumu skaits				γ_{vid}		
	glabāti	izvēlēti	limitēti	atlasīti	izvēlēti	limitēti	atlasīti
D3ktl#	288	156	114	46	0.72	0.79	0.88
D3zg#	872	681	533	143	0.80	0.87	1.08
D3krs#	712	524	426	118	0.84	0.86	1.11
D3dg#	2284	959	819	256	1.17	1.15	1.74
D3pl	2874	1295	1073	374	1.08	1.05	1.46
D3am	778	526	420	190	0.64	0.71	0.80
D3gj2	5241	1229	1096	324	0.77	0.84	1.05
D3gj1	5346	1579	1378	425	0.82	0.88	1.18
D2brt	1867	1332	1020	367	0.71	0.80	0.99
D2ar	1740	1188	974	314	0.64	0.71	0.88

Urbumu dati par īpatnējo debītu D3pl horizontā (atlasīti 3408 urbūmi)



Urbumu dati par īpatnējo debitu D3pl horizontā pēc normēšanas ($4 > q > 0.2$) un retināšanas (atlasīti 384 urbumi)



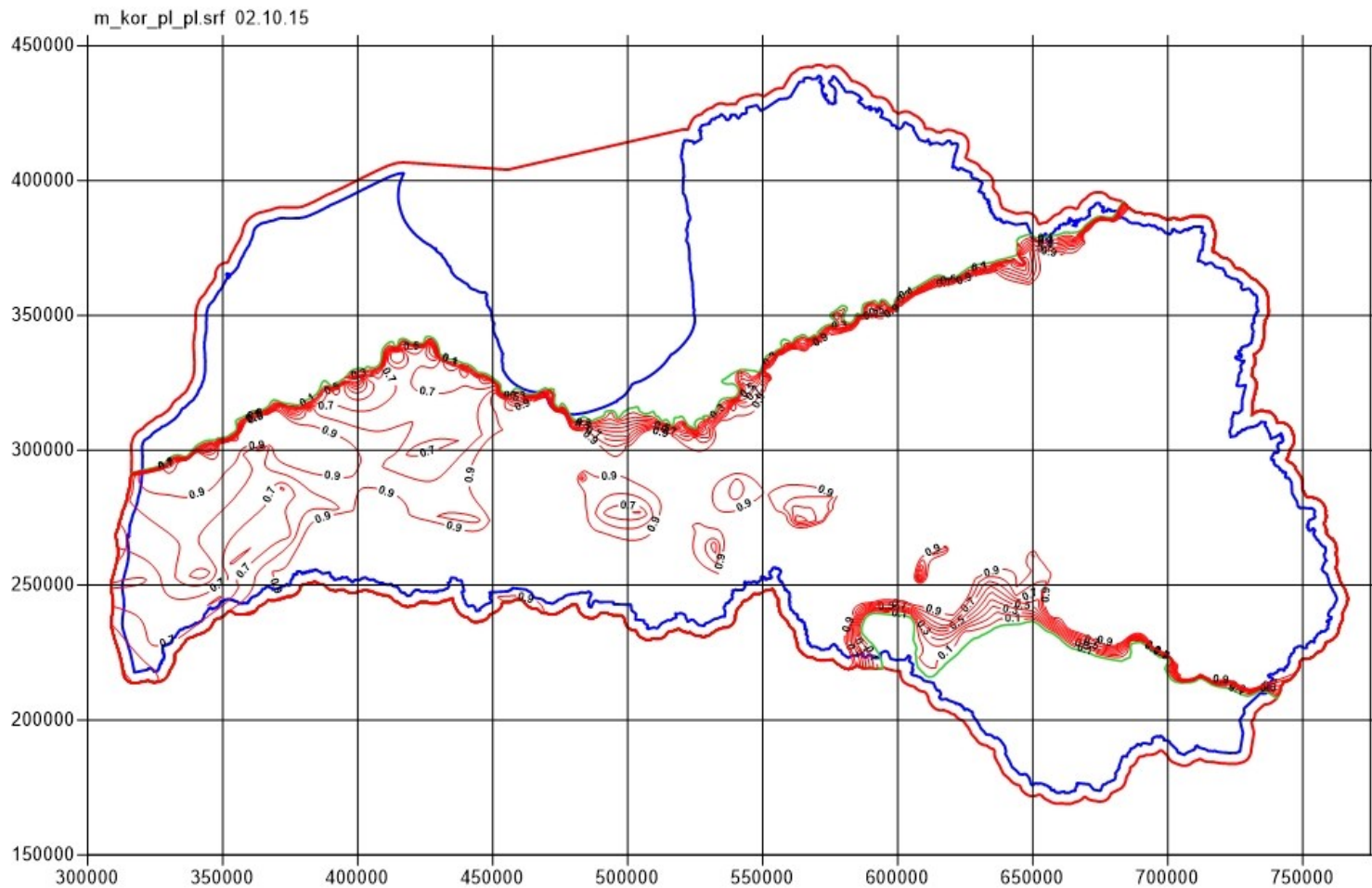
Atlasītie horizonta urbumu γ_n - dati ar inversās distances metodi, ignorējot HM neaktīvās zonas un m_0 areālu esamību, tiek interpolēti visos HM plaknes režģa mezglos.

Ja šos datus izmantosim formulā (4), tad horizonta robežas pārejas zonā, kurā $m \rightarrow 0.02$, radīsies lielas k vērtības. Upju ieleju iegrauzumos notiks k vērtības palielināšanās. Lai novērstu šos nevēlamos efektus, nepieciešama γ – datu korekcija. Korigēšanai tika izmantots faktors C :

$$\gamma_{kor} = C \gamma, \quad 1 > C = m_0 / (0.75 m_{vid}) > 0 \quad (6)$$

kur γ_{kor} ir korigētie γ – dati; $m_{\check{s}ak}$ ir m -kartes bez upju ieleju iegrauzumiem pamatiežos.

Īpatnējā debīta korekcijas matrica D2pl horizontam



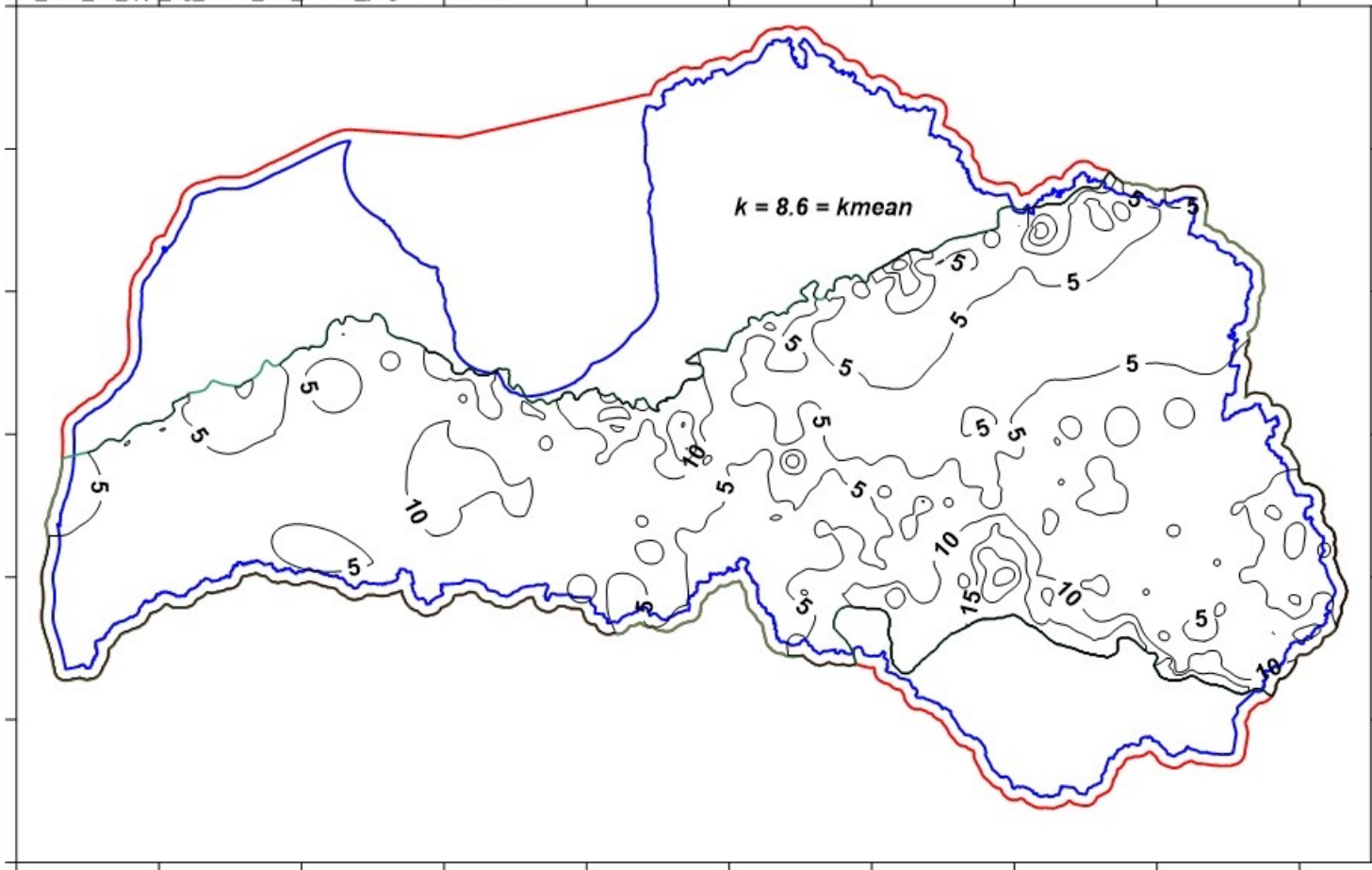
Izmantojot $m_{sāk}$ –kartes un γ_{kor} - datus, iegūst horizontu k_{kor} –kartes un HM slāņu ūdens vadāmību $T = \sigma_{xy}$:

$$k_{kor} = 144 \gamma_{kor} / m_{sāk} ; \quad T = k_{kor} m = \sigma_{xy} \quad (7)$$

kur HM m –kartes piedalās $T = \sigma_{xy}$ izveidošanā. Upju ieleju iegrauzumu vietās nenotiek k_{kor} vērtību izmaiņa, bet iegrauzumos, proporcionāli to dziļumam, samazinās σ_{xy} vērtība.

Filtrācijas koeficientu karte D3pl horizontam

kf_GDI_no_q/pl_dg_slanu_atd_filtri/kf_pl.grd 28.10.15



Pārskats par k – kartēm versijām LAMO2, LAMO3, LAMO4

Horizonta kods	LAMO2		LAMO3		LAMO4	
	k_{vid} [metri/dienn]	k_{max} / k_{min}	k_{vid} [metri/dienn]	k_{max} / k_{min}	k_{vid} [metri/dienn]	k_{max} / k_{min}
D3ktl#	3.0	1.0	2.12	9.0	1.77	12.10
D3zg#	3.0	1.0	3.64	5.33	3.38	15.75
D3krs#	2.0	1.0	5.95	4.35	6.33	9.89
D3dg#	10.0	1.0	5.58	14.38	9.40	16.06
D3pl	10.0	1.0	6.11	8.51	8.60	19.65
D3am	10.0	1.0	4.69	5.67	4.64	11.25
D3gj2	10.0	1.0	5.58	4.55	5.11	20.05
D3gj1	14.0	1.0	5.24	6.25	4.84	16.00
D2brt	5.0	1.0	1.91	5.83	3.19	13.75
D2ar	5.0	1.0	2.13	6.15	2.91	17.69

LAMO k - kartes faktori

Rezultējošā LAMO4 k - karte ir diagonāla matrica K , kuru veido seši reizinātāji K_i , $i=1, 2, \dots, 6$.

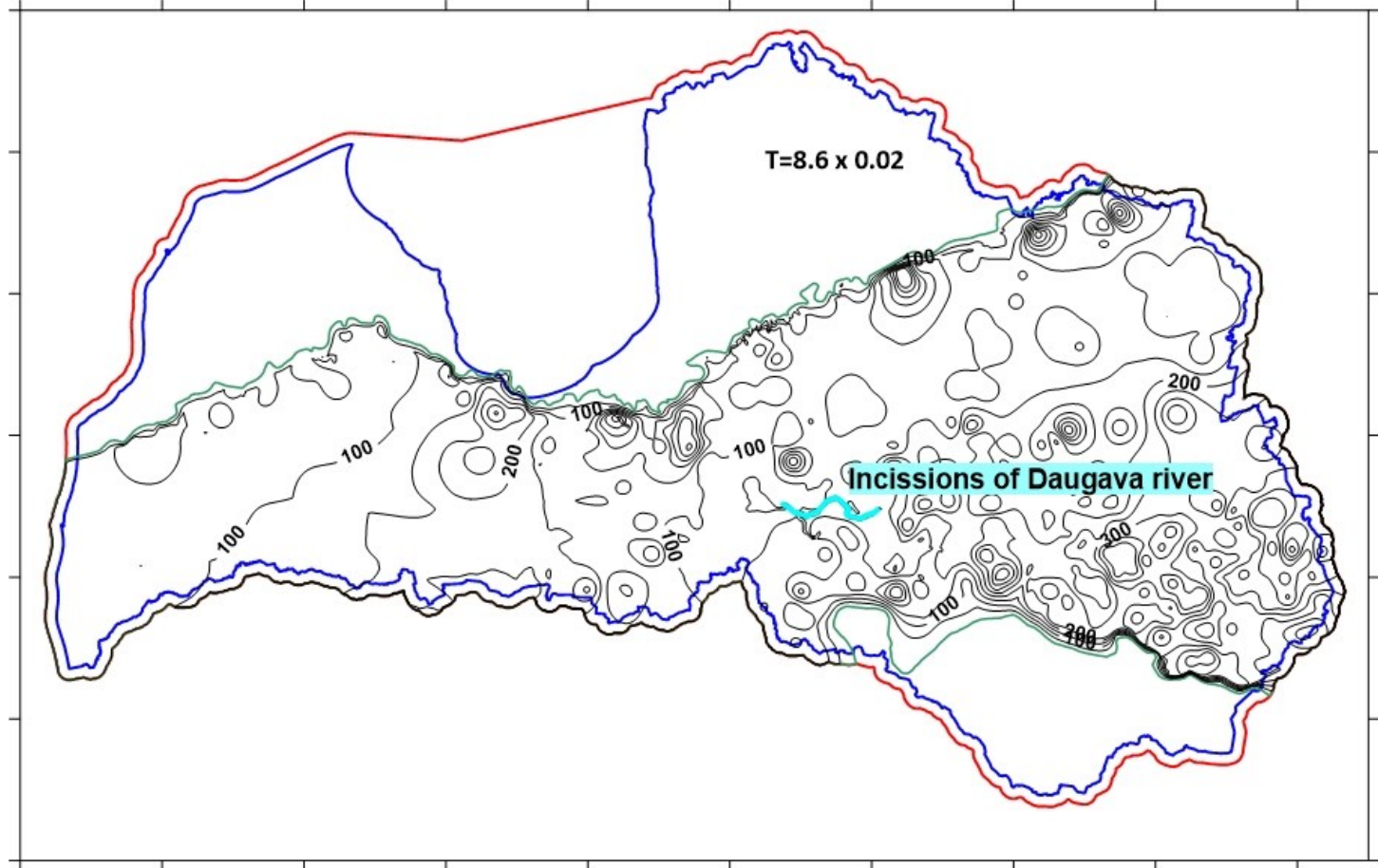
Kalibrējot HM, k – kartes var korigēt, ievērojot šos relatīvi neatkarīgos faktoros

Faktors $K_2 = k_{vid}$ un identitātes matrica I ir skalāri lielumi; I darbojas kā “ $\times 1$ ”; simbols “+” apliecina attiecīgā faktora izmantošanu.

Faktors		Sprostslāņi		Horizonti	
Kods	Ietekme	Citi	aer	Citi	Q2
K_1	kodols	I	1 un 0.05	k_{norm}	k_{norm}
K_2	k_{vid}	+	+	+	+
K_3	lokāla k maiņa	+	+	+	+
K_4	$m=0$ areāla k	1; 10; 100	I	1 un 0.1	I
K_5	robežu k maiņa	1 un 10^3	1 un 10^3	I	I
K_6	m maiņa	I	+	I	+

Ūdens vadāmību (km) karte D3pl horizontam

kf_GDI_no_q/pl_dg_slanu_atd_filtri/km_pl.SURF.



Faktori ir diagonālas matricas, kas īsteno šādas ietekmes:

- K_1 ir kodola matrica; $K_1 = I$ un $K_1 = k_{norm}$ sprostslāņiem un horizontiem; aerācijas zonā aer skaitlis 0.05 tiek izmantots purvu, ezeru un upju areālos;
- $K_2 = k_{vid}$ aktīvi izmanto kalibrēšanai; k_{vid} ir filtrācijas koeficienta vidējā aritmētiskā vērtība $m > 0$ apgabalā;
- K_3 īsteno k izmaiņu lokālā $m > 0$ areālā un šo faktoru aktīvi lieto kalibrēšanā;
- K_4 izmaina k m_0 areālos: “×10” vai “×100” un “×0.1” sprostslāņiem un horizontiem; šis faktors samazina m_0 areālu nevēlamo ietekmi; vērtību 1 lieto $m > 0.02$ apgabalā;
- K_5 lieto sprostslāņu robežzonā, lai izveidotu interpolācijas rīku HM sānu virsmas ūdens līmeņu robežnoteikumu ψ fiksēšanai; vērtību 1 lieto HM aktīvajā laukumā.

Faktors K_6 tiek izmantots, ja no HM kalibrācijas procesā fiksēta aerācijas zonas aer biezuma $m=0.02$ metri ir jāpāriet uz reālu zonas biezumu m_{aer} . Tad jāmaina arī Q2 slāņa biezums un aerācijas zonas filtrācijas koeficients. Pāreja uz reālo m_{aer} ir obligāta, ja ir jāveic vielas masas pārneses modelēšana vai ūdens daļiņu trasēšana

Secinājumi

Latvijas hidroģeoloģiskajam modelim LAMO4 ir būtiski uzlabota pamatiežu ūdens horizontu filtrācijas koeficientu k -karšu ticamība, jo to izveidošanā izmantoti urbumu atsūkņēšanas dati. Ģeoloģisko slāņu nulles biezuma m_0 areāli apgrūtina k -kartes iegūšanu ne tikai horizontiem, bet arī sprosslāņiem. Parādīts, kā samazināta m_0 areālu nevēlamā ietekme un kā korigētas k -kartes, modeli kalibrējot.

LAMO4 izveidots ar VPP EVIDEnT atbalstu.