

Pārskats

Par aprēķiniem maksimāli pieļaujamās sprāgstvielu lādiņiem seismiski drošam attālumam projektējamiem spridzināšanas darbiem dolomīta atradnes „Dzeņi” iecirkņos *Kalna Kades* un *Bemberu Pļavas* (Smiltenes novads, Grundzāles pagasts)

Pasūtītājs: SIA „Mark Invest Latvia”

Izpildītājs: Valērijs Ņikuļins

2013.g.decembrī.

2013



Saturs

1.	Ievads	3
2.	Vibrācijas analīze pēc Latvijas normatīvajiem dokumentiem un starptautiskajiem standartiem	5
3.	Vibrācijas ietekme uz ēkām un gruntīm. Vibrācijas raksturojums	9
4.	Pieļaujamo lādiņu aprēķins	10
5.	Secinājumi un nobeigums	20
6.	Rekomendācijas	22

	Literatūra	24
--	------------	----

Pielikumi

1.pielikums. Nosacījumi Nr. 0941658-3 Grundzāles pagasta teritorijas plānojuma grozījumu izstrādei. Valmieras reģionālā Vides pārvalde.

2.pielikums. Pieļaujamā summāra lādiņa masa dažādos punktos „Dzeņi” atradnē. Vibrācijas ātrums 0.5 cm/s.

3.pielikums. Atļautais, kritiskais attālums.



Ievads

Eksperta slēdziena pamatojums par sprāgstvielu pieļaujamiem lielumiem un drošu attālumu līdz dzīvojamām un sabiedriskām ēkām, kuras atrodas dolomīta atradnes „Dzeņi” tuvumā, balstās uz Valmieras reģionālās vides pārvaldes prasībām (1.pielikums). Tajos norādīts, ja atradnes „Dzeņi” dolomīta ieguvei izmanto spridzināšanas metodi, tādā gadījumā ir vajadzīgs eksperta seismologa slēdziens par spridzināšanas darbu iespējamo ietekmju izvērtējumu (*“jāsniedz spridzināšanas darbu iespējamo ietekmju izvērtējums”*).

Sprāgstvielu pieļaujamā lieluma un droša attāluma līdz dzīvojamām ēkām un sabiedriskām būvēm, kas atrodas dolomīta atradnes „Dzeņi” tuvumā Smiltenes novada, Grundzāles pagastā, analīze veikta atbilstoši līgumam un tehniskajam uzdevumam, kurus pasūtītājs SIA „Mark Invest Latvia” izsniedza izpildītājam.

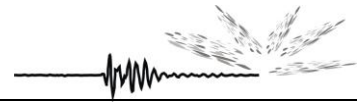
Izvēloties sprādziena izraisītās vibrācijas ātruma pieļaujamo robežlielumu, plānotajiem dolomīta ieguves iecirkņiem *Kalna Kades* un *Bemberu Pļavas*, radīja noteiktas grūtības. Licencē norādīto iecirkņu tuvumā izvietotas dažas viensētas. Tehniskajos noteikumos Nr. 0941658-3 VRVP (1.pielikums) nav konkrēti norādīts uz ko jānovērtē sprādziena ietekme? Vai ietekme uz cilvēkiem, kas dzīvo šajās mājās, vai uz ēkām un būvēm? Sprādziena izraisītās vibrācijas ietekme uz cilvēku veselību un uz ēkām ir būtiski atšķirīga. Tehnisko noteikumu 2.punktā ir tikai teikts, ka nepieciešams novērtēt ietekmi uz apkārtējo vidi un nepieļaut būtisku tehnogēno pārslodzi apkārtējai videi (*“jāveic ietekmes uz vidi stratēģiskais novērtējums. Turklāt mainīt teritorijas plānoto (atļauto) izmantošanas veidu (zonējumu) pieļaujams tikai tad, ja teritorijas antropogēnās slodze nepalielinās tik būtiski, ka radītu nozīmīgas, kompleksas un neatgriezeniskas ietekmes uz apkārtējo vidi”*).

Tādēļ izvēloties vibrācijas līmeņa (ātruma) pieļaujamās robežvērtības, ņemta vērā vibrācijas ietekme gan uz cilvēka veselību, gan ēku un būvju izturību. Prasības, kas nosaka vibrācijas līmeņa pieļaujamās robežvērtības, uz cilvēku veselību daudz stingrākas, salīdzinājumā ar atļautajām robežvērtībām uz ēkām un būvēm.

Ir zināms, ka vibrācija izraisa uzbudinājumu, ietekmē cilvēka nervu šūnas un orgānus, kā arī izsauc audu deformāciju. Vibrācija var pazemināt darbības spējas un radīt centrālās nervu sistēmas funkcionālus, balsta kustības un dzimumorgānu traucējumus. Cilvēka organismam piemīt pašrezonances spēja un atsevišķu orgānu rezonanse. Sēdus stāvoklī ķermeņa rezonances frekvence 4 – 6 Hz, bet stāvot – 5 – 12 Hz frekvence. Vairums iekšējo orgānu pašrezonances svārstību frekvences diapazons 6 – 9 Hz.

Bez tam vibrācija varbūt par iemeslu ēku bojājumiem, samazinot to ekspluatācijas drošību, it īpaši nesošo konstrukciju. Pirmā pazīmē, kas uz to norāda ir plaisu parādīšanās, atlūzuši elementi no nesošā karkasa u.c.

Par pamatu vibrācijas ātruma pieļaujamām robežvērtībām ēkām un sabiedriskām būvēm tika ņemtas normas, kas nosaka vibrācijas līmeņa robežvērtības uz cilvēku veselību. Šīs normas noteiktas atbilstoši Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem Nr.341



[Noteikumi ..., 2003]. Noteikumos norādīts, ka tie neattiecas uz vibrāciju, kuru izraisa mašīnas un iekārtas, jo vibrācija to darbības raksturīga pazīme.

Spridzināšanas darbus var uzskatīt kā pasākumu, kas tehnoloģiski realizējams izurbjot urbumus (sprāgstvielas lādiņam) un sprādzieni urbumos. Šādai spridzināšanas tehnoloģijai vibrācija ir raksturīga pazīme. Jautājums ir sekojošs, vai esošie normatīvie dokumenti [Noteikumi ..., 2003] ir attiecināmi uz sprādziena izraisīto vibrāciju? Savukārt ievērojami pazeminot pieļaujamo vibrācijas līmeni, būtiski palielināsies minerālizejvielu ieguves vērtība [Olofsson, 2012]. Jo lādiņš jāsadala lielā skaitā urbumu, lai mazinātu seismisko efektu.

Tādēļ aprēķinot sprāgstvielas lādiņa pieļaujamās robežvērtības ir izvēlēti divi varianti. Viens no tiem, cilvēku veselības drošībai - pieļaujamais vibrācijas paātrinājums pieņemts 7 mm/s^2 (vai vibrācijas ātrums 0.056 cm/s) pie frekvences 2.0 Hz , atbilstoši MK noteikumiem Nr.341 [Noteikumi ..., 2003]. Turpretim attiecībā uz ēku un būvju drošību pieņemtais pieļaujamais vibrācijas ātrums 0.5 cm/s , kas atbilst Starptautiskajiem normatīvajiem dokumentiem. Priekšroku dodot Vācijas standartam DIN 4150 „*Vibration in Buildings*” [DIN 4150, 1999, 2001]. Arī Lietuvā pielieto šo standartu.



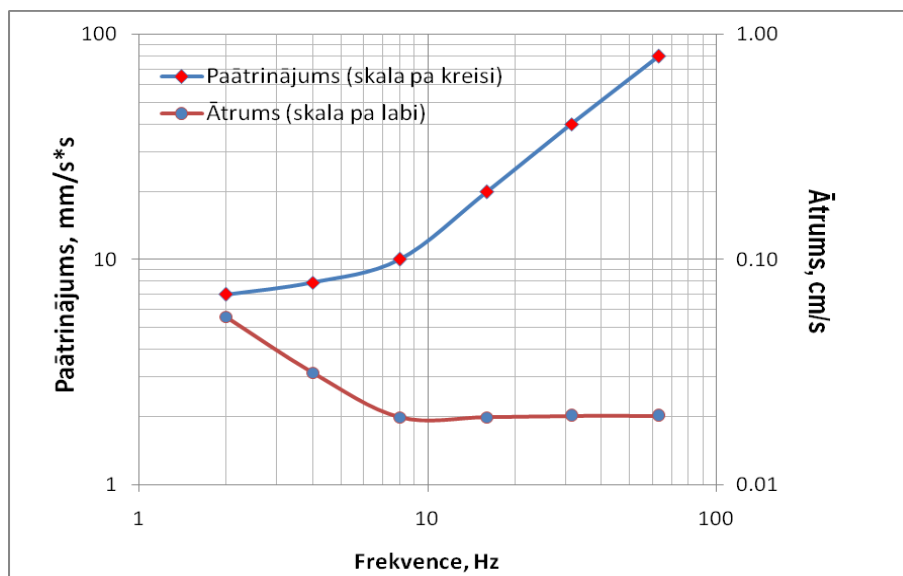
2. Vibrācijas analīze pēc Latvijas normatīvajiem dokumentiem un starptautiskajiem standartiem

Rokasgrāmatas un standarti ir bijuši, tie satur ticamus vibrācijas līmeņus, pie kura iespējama ēku bojāšanās. Tie pamatoti ar dažādiem pētījumiem dažāda tipa ēkām. Līdz ar to izskaidrojama rezultātu daudzveidība.

Latvijas Republikas Ministru kabineta [Noteikumi ..., 2012] noteikumi nosaka, ka komersants spridzināšanas darbu projektā norāda drošības zonas un sprādziena seismisko iedarbību uz ēkām (punkts 4.14).

Cits MK normatīvais dokuments [Noteikumi ..., 2003] nosaka vibrācijas pieļaujamās vērtības dzīvojamās un publiskās ēkās. Starp citu, dienas laikā dzīvojamās telpās vibrācijas ātruma robežvērtība v_{kr} nedrīkst pārsniegt 7 – 10 mm/s² (0.056 – 0.2 cm/s) pie frekvences no 2 līdz 8 Hz. Frekvencei no 8 līdz 63 Hz atļautais vibrācijas ātrums v_{kr} praktiski ir nemainīgs un vienāds 0.02 cm/s (1.att.).

Normatīvais dokuments [Noteikumi ..., 2003] paredzēts, lai nodrošinātu cilvēku veselības aizsardzību no vibrācijas nelabvēlīgās iedarbības, bet nav domāts iedarbības ietekmei uz ēkām izvērtējumam.



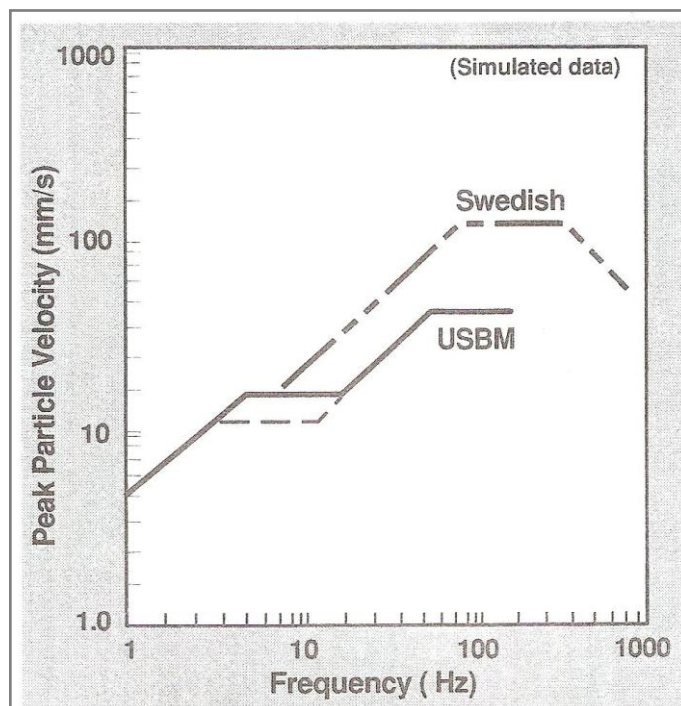
1.att. Pieļaujamie vibrācijas līmeņi dzīvojamām un publiskām ēkām atbilstoši MK noteikumiem Nr.341 [Noteikumi ..., 2003].

Vibrāciju uztveres sliekšnis cilvēkiem ir daudzkārt zemāks par sākotnējiem kosmētiskiem bojājumiem ēkās, plaisu veidošanos apmetumā. Cilvēki iespējams varētu sajūst vibrācijas līmeni no 0.2 – 0.5 mm/s. Tas salīdzināms ar līmeni 12 mm/s pie frekvences 10 Hz, lai rastos



kosmētiski bojājumi un 18 mm/s, lai rastos dzīvojamā tīpašuma struktūras bojājumi ņemot par pamatu PPV (*Peak Particle Velocity*) atkarību no vibrācijas frekvences *USBM* (2.att.). Bojājumu ticamība lielāka, kad būtiski zema ir vibrācijas frekvence.

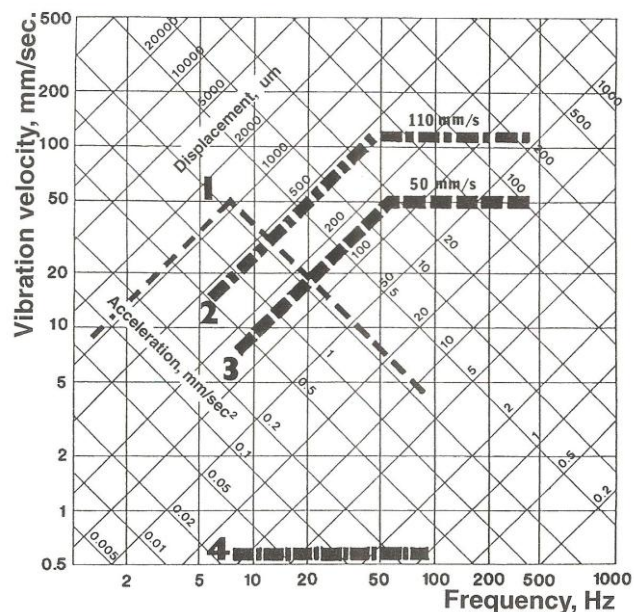
Amerikas kalnrūpniecības birojs *USBM* (*United States Bureau of Mines*) un Zviedrijas standarts piedāvā šāda tipa rekomendācijas (2.att.), lai izvēlētos vibrācijas ātruma pieļaujamās robežvērtības [Orica ..., 1998].



2.att. Vibrācijas ātruma pīķis (PPV) daļiņas atkarībā no vibrācijas frekvences atbilstoši ASV (*USBM*) un Zviedrijas standartiem.

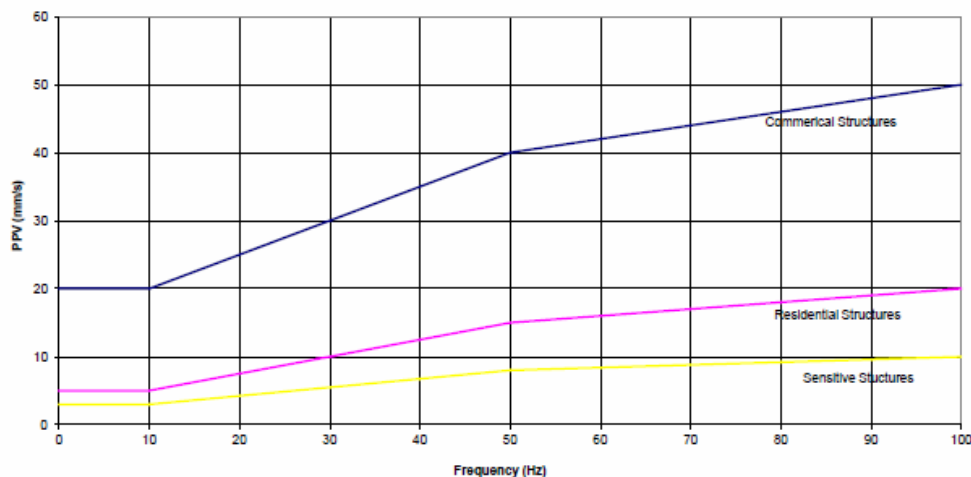
Pēc ģeoloģiskās uzbūves, Latvijas apstākļi ir tuvāki ASV apstākļiem nekā Zviedrijas. Gan Latvijas, gan ASV teritorijas izvietotas uz platformas, attiecīgi Austrumeiropas un Ziemeļamerikas, kur pamatklintāju pārklāj nogulumiežu sega. Skandināvijā praktiski nav nogulumiežu segas un zemes virspusē atsedzas kristāliskais pamatklintājs. Tādēļ lietderīgāk apskatīt tikai grafiku *USBM*.

USBM grafikā, frekvences diapazonā no 4 līdz 15 Hz ar punktētu līniju attēlots līmenis $PPV = 12.7$ mm/s ar apmetumu klātām sienām, bet vienlaidu līnija - līmenis $PPV = 19.05$ mm/s ģipškartona sienām.



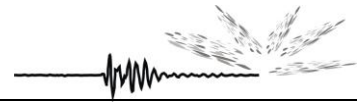
3.att. Vibrācijas ātruma pīķis (PPV) daļiņas atkarībā no vibrācijas frekvences atbilstoši datiem *Langefors & Kihlstrom* [Langefors & Kihlstrom, 1967].

3.grafiks (3.att.) apzīmē pieļaujamo vibrācijas ātrumu PPV, kuras neizraisa redzamu plaisu veidošanos. Pie frekvences līmeņa 10 Hz, PPV = 10 mm/s. Tālāk palielinās līdz 50 Hz frekvencei. Turklāt no 50 līdz 400 Hz PPV līmenis paliek konstants, tas ir vienāds 50 mm/s.



4.att. Vibrācijas ātruma pīķis (PPV) daļiņas atkarībā no vibrācijas frekvences atbilstoši Vācijas DIN 4150-3:1999 standartam.

*Piezīme: dzeltenā krāsā – ēkas, kas ir vērtīgas (vēsturiski nozīmīgas),
violetā – dzīvojamās ēkas, zilā – komercbūves.*



Vācijas standarts DIN 4150 „*Vibration in Buildings*” [DIN 4150, 1999, 2001] dzīvojamām ēkām (4.att.) nosaka pieļaujamo vibrācijas ātrumu PPV (*Peak Particle Velocity*), kas vienāds 5 mm/s frekvencei no 1 līdz 10 Hz. PPV norma pakāpeniski palielinās no 5 mm/s līdz 15 mm/s frekvencei 50 Hz. Diapazonā pie frekvences no 50 līdz 100 Hz PPV līmenis palielinās no 15 mm/s līdz 20 mm/s.

Vibrācijas ātruma 5 mm/s pieļaujamā robežvērtība, kas norādīta DIN 4150 ir ņemta par pamatu vairāku iemeslu dēļ. Pirmkārt, Vācija ir labi attīstīta normatīvā bāze. Otrkārt – ir nosacīti analogiski ģeoloģiskie apstākļi Latvijā un Vācijas ziemeļos. Pārsvārā kvartāra nogulumus pārstāv irdenas gruntis [<http://www.infogeo.de/home/1021815081281102592/bild2>]. Treškārt, DIN4150-3:1999 standarts ir tieši paredzēts īslaicīgai darbībai. Sprādzieni atbilst tieši pārejošiem procesiem un impulsīvām vibrācijām (*Transient or Impulsive Vibration*).



3. Vibrācijas ietekme uz ēkām un gruntīm. Vibrācijas raksturojums

3.1. Vibrācijas ietekmes mehānismi

3.1.1. Tieša iedarbība uz ēkām

Sprādziena izraisītā vibrācija mehāniski iedarbojas uz ēku konstrukciju un izraisa izmaiņas tās sastāvā. Spriedze saistīta ar deformāciju un varbūt izteikta ar vibrācijas parametriem. Vibrācija uz ēku iedarbojas tieši, kā arī izraisa materiāla noguruma plaisas. Noguruma izmaiņas bieži tiek ignorētas. Līdz ar to, lai novērtētu dinamiskās slodzes (vibrācijas) ietekmi iespējams, ka varētu būt nepieciešami mehāniskā sprieguma mērījumi.

3.1.2. Vibrācijas ietekme uz grunts sastāvu zem ēkām

Vibrācija iedarbojas ne tikai uz pašu ēku, bet izraisa grunts īpašības izmaiņas zem ēkas. Viena no tādām izmaiņām ir lokāla grunts sablīvēšanās, kas var izraisīt ēkas bojājumus, jo notiek nevienmērīga ēkas fundamenta nosēšanās. Ja vibrācijai ir ilgstošs raksturs, tad grunts sablīvēšanās var notikt lielā attālumā no vibrācijas avota, kaut gan vibrācijas līmenis neliels un nespēj būtiski iedarboties uz ēkas konstrukciju.

3.2. Vibrācijas raksturojums

3.2.1. Ierosināšanas ilgums

Galvenais vibrācijas raksturlielums ir ierosināšanas ilgums. Īslaicīgi impulsi vai to secība nav spējīgi ievērojami sašūpot ēkas konstrukciju uz tās rezonanses frekvences, ja konstrukcijas atbalss norims līdz nākošam impulsam.

Nelielas būves augstumā līdz 12 m pašas svārstību frekvence aizņem diapazonu no 4 līdz 15 Hz.

Sprādzienu gadījumā vibrācijas ir īslaicīgas, tā kā avota iedarbības laiks, lai uzkrātu būtiskas ēku paguruma bojājumus. Iedarbības laiks ir nepietiekams, lai sašūpotu ēku rezonanses režīmā.

3.2.2. Frekvences diapazons un vibrācijas līmenis

Vibrācijas frekvences diapazons ēkām un tās atsevišķām daļu ir atkarīga no ierosinātāja avota, grunts īpašībām, caur kurām vibrācijas iedarbojas uz ēkām, konstrukcijas (ēkas) transmisija. Parasti sprādziena tehnogēnas vibrācijas diapazons aizņem frekvences joslu no 1 līdz 300 Hz. Kaut gan atsevišķos gadījumos frekvences diapazona augšējā robeža var sasniegt arī 1000 Hz [ГОСТ P52892-2007]. Sprādziena laikā diapazonā izveidojas dislokācija no 100 līdz 2500 μm , vibrācijas ātruma diapazons no 0.2 līdz 500 mm/s, bet vibrācijas paātrinājums - no 0.02 līdz 50 m/s^2 [ISO 4866:1990]. Sprādzieni pieskaitāmi īslaicīgiem procesiem.



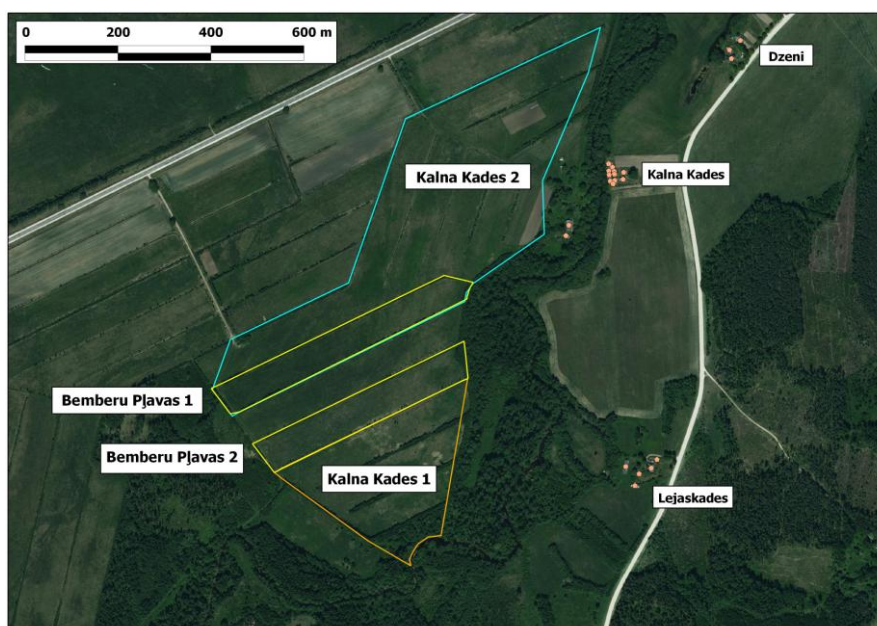
4. Pieļaujamo parametru aprēķins spridzināšanas darbiem

4.1. Metodika

Sprādzienu izraisītās vibrācijas lielumu nosaka sekojoši faktori: kopējais sprāgstvielu daudzums, spridzināšanas shēma, ģeoloģiskās vides apstākļi sprādziena vietā, attālums no spridzināšanas iecirkņa līdz ēkām un būvēm, segkārtas nogulumu sastāvs.

Pieļaujamais sprāgstvielu lādiņu aprēķins Q_{psl} veikts diviem variantiem: 1) atbilstoši standartam DIN 4150 [DIN 4150, 1999; DIN 4150, 2001] pieņemtās kritiskās vibrācijas ātruma robežvērtība ēkām un būvēm $v_{kr} = 0.5$ cm/s; 2) atbilstoši LR MK noteikumiem Nr.341 [Noteikumi ..., 2003], kas paredz pasargāt iedzīvotāju veselību no vibrācijas nelabvēlīgās ietekmes. Šajā gadījumā vibrācijas ātruma pieļaujamā robežvērtība v_{kr} mainās no 0.056 līdz 0.2 cm/s frekvencei no 2 līdz 8 Hz

Viensētas *Kalna Kades, Lejaskades, Dzeņi, Dārznieki, Stirnas un SIA „Mark Invest Latvia”* saimnieciskie objekti izvietoti attiecīgi 121, 369, 283, 601, 904 un 35 m attālumā no dolomītā atradnes „Dzeņi” (5.att.).



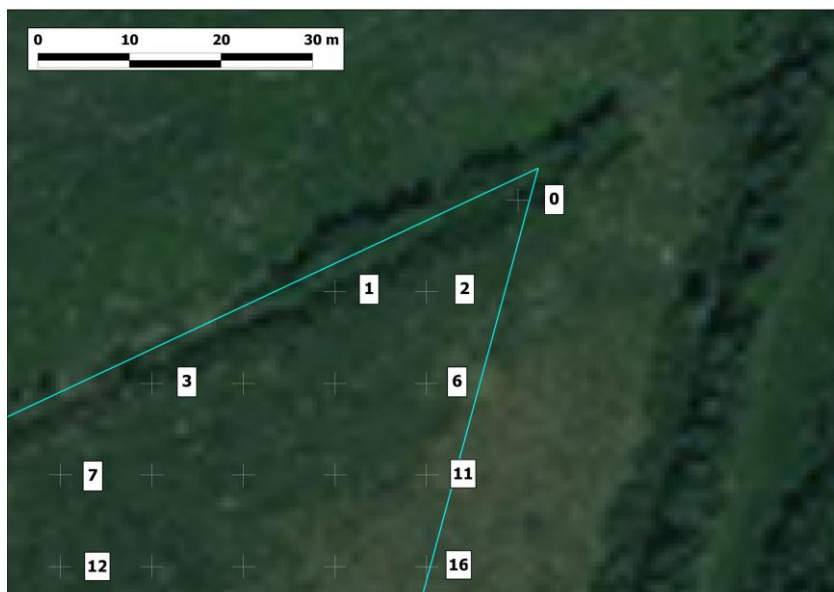
5.att. Projektējamo spridzināšanas darbu Licenču iecirkņu shēma dolomīta atradnē „Dzeņi”

Piezīme: ar kontūrām parādīti projektējamo spridzināšanas darbu iecirkņi.



Iecirkņa *Kalna Kades 1* tuvumā atrodas divas būves, kas pieder SIA „*Mark Invest Latvia*”. Šīs būves izmanto saimnieciskām vajadzībām. Saskaņojot ar pasūtītāju, šīm būvēm nav nepieciešams novērtēt sprādziena lādiņa ietekme.

Atradnes „*Dzeņi*,” visu licenču iecirkņu teritorija ir noklāta ar punktiem, kas izvietoti tīklveidā – 10 x 10 m. Pavisam kopējā teritorijā izvietoti 3449 punkti. Nulles punkts atrodas iecirkņa *Kalna Kades 1* ziemeļu daļā (6.att.), 3448 punkts - iecirkņa *Kalna Kades 2* dienvidu daļā. Punktu numerācija no ziemeļiem uz dienvidiem un no kreisās uz labo pusi.



6.att. Punktu tīkls iecirkņa *Kalna Kades 1* augšējā stūrī

Cipars apzīmē punkta numuru.

Katram tīkla punktam aprēķināts pieļaujamais sprāgstvielu lādiņa lielums.

Tehniskajā uzdevumā norādīts, ka grupas lādiņa masa urbumā, kura dziļums 4 m var variēt no 25 līdz 30 kg, bet 8 m dziļā urbumā no 50 līdz 60 kg. Sprāgstvielas kopējā masa var mainīties no 250 līdz 3000 kg 4 m dziļā urbumā un no 500 līdz 6000 kg 8 m dziļā urbumā. Urbumu (grupu) skaits mainās no 10 līdz 100.

Tādējādi lādiņa masas pieļaujamā – robežvērtība aprēķināta pēc formulas [Горбонос, 2011], kurā ņemts vērā seismiskā efekta samazināšanās pie īsas palēninātas spridzināšanas:

$$Q_{psl} = \left[\left(\frac{v_{kr} B}{K} \right)^{2/3} \cdot R \right]^3 \quad (1)$$



kur, Q_{psl} - lādiņa masas pieļaujamā – robežvērtība, kg; v_{kr} - atļautais, kritiskais vibrācijas ātrums, cm/s; B - koeficients, ievērojot seismiskā efekta pazemināšanās pakāpi pie īsas palēninātas spridzināšanas; K - seismiskuma koeficients, kura vērtība ir diapazonā no 100 līdz 400; R - attālums no sprādziena līdz objektam.

Koeficients B nosaka seismiskā efekta pazemināšanās pakāpi $\sqrt{\frac{2}{3}}N$ pie īsas palēninātas spridzināšanas [Горбонос, 2011], kur N - urbumu (grupu) skaits ar palēninājumu. Seismiskuma koeficienta K rādītāji mainās diapazonā no 100 līdz 400 [O Olofsson, 2012, Горбонос, 2011, Минмонтажспецстрой СССР, 1988]. Seismiski drošas zonas rādiusa aprēķinam karjeros pie vairākkārtējiem, masveida sprādzieniem, projektēšanas stadijā pieņemta koeficienta augšējā vērtība $K = 400$ [Горбонос, 2011].

Droša attāluma aprēķins veikts pakāpeniskiem spridzināšanas apstākļiem. Aizkavēšanās starp sprādzieniem vienā rindā aptuveni 25 ms. Aizkavēšanās starp sprādzieniem blakus rindā 42 ms. Pakāpeniskas, īsas palēninātas spridzināšanas apstākļiem, seismiski drošu attālumu nosaka pēc formulas [Субботин и др., 2002]:

$$R_{dros} = \frac{K_g K_e \alpha}{N^{1/4}} \sqrt[3]{Q} \quad (2)$$

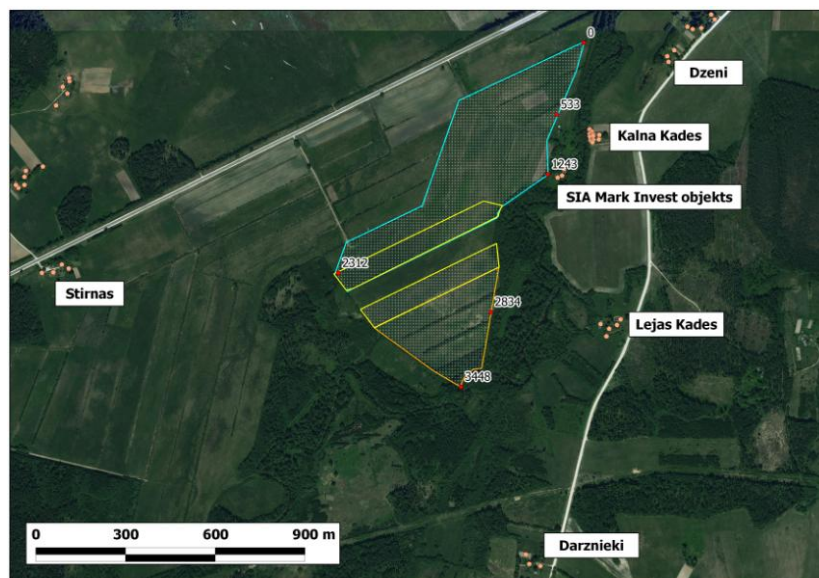
kur, R_{dros} - drošs attālums no sprādziena vietas līdz ēkai, m; K_g - koeficients, kas atkarīgs no grunts sastāva zem ēkām; K_e - koeficients, kas atkarīgs no ēkas tipa; α - koeficients, kas atkarīgs no spridzināšanas apstākļiem (irdināšanas lādiņiem $\alpha = 1$); N - lādiņu grupu skaits ar kopējo masu Q , ar laika aizturi starp sprādzieniem katrā grupā ne mazāk kā 20 ms, Q - lādiņa masa, kg.

Sakarā ar to, kā lauku būves ir vecas, viņu pamatos un sienās var būt plaisas, tādēļ drošības attālumi tika palielināti divas reizēs.



4.2. Rezultāti

Rezultāti iegūti ņemot vērā mainīgus parametrus: vibrācijas ātrumu, grupu skaitu (ekvivalentu urbumu skaitu), attālumus.



7.att. Atradnes „Dzeņi” un tai tuvumā esošo apdzīvoto objektu karte

Piezīme: sarkanā krāsā – sprādziena punkti (SP), kas atrodas minimālā attālumā no apdzīvotām vietām (augšā pulksteņa rādītāja virzienā): SP 0 – Dzeņi tuvumā; SP 533 – Kalna Kades tuvumā; SP 1243 – SIA „Mark Invest Latvia” saimnieciskā objekta tuvumā; SSP 2834 – Lejas Kades tuvumā; SP 3448 – Dārznieki tuvumā; SP 2312 – Stirnas tuvumā.

1.tabula. Sprādziena punktu un tuvējo viensētu koordinātas licences laukumā.

Sprādziena punkts	X	Y	Viensēta	X	Y	Attālums, m
0	634670	369960	Dzeņi	634949.6	369914.8	283
533	634580	369720	Kalna Kades	634689.7	369670.3	120
1243	634550	369520	SIA Mark Invest Latvia	634583.1	369509.0	35
2834	634360	369060	Lejas Kades	634726.4	369019.6	369
3448	633260	368810	Dārznieki	634476.9	368249.2	601
2312	633850	369190	Stirnas	632948.2	369205.3	902

Tabulā 2 apkopoti maksimāli pieļaujamie lādiņi Q_{max} un lādiņi atsevišķos urbumos q_{max} , kurus atļauts izmantot sprādziena punktos, kas atrodas vistuvāk attiecīgajam apdzīvotajam



punktam, t.i. viensētām *Kalna Kades, Lejas Kades, Dārznieki, Dzeņi, Stirnas*. Maksimāli pieļaujamie lādiņi Q_{max} aprēķināti diviem vibrācijas ātruma variantiem v_{kr} : 1) 0.5 cm/s un 2) 0.056 cm/s.

2.tabula. Maksimāli pieļaujamā lādiņa masa Q_{max} sprādziena punktos, kas atrodas minimālā attālumā no viensētām.

Variants	v_{kr} , cm/s	N	Q_{max} , кг					
			Viensēta – poligona punkts	KK 533	LK 2834	DZ 0	DAR 3448	ST 2312
			R_{min} , m	120	369	283	601	902
1a	0.5 (1 – 10 Hz)	100	Q_{max} , kg	182.0	5217.6	2366.7	6000.0	6000.0
			q_{max} , kg	1.82	52.18	23.67	60.0	60.0
1b	0.056 (2 Hz)	100	Q_{max} , kg	2.3	65.4	29.7	174.7	929.9
			q_{max} , kg	0.02	0.65	0.30	1.75	9.30
2a	0.5 (1 – 10 Hz)	70	Q_{max} , kg	127.4	3652.3	1656.7	4200.0	4200.0
			q_{max} , kg	1.82	52.18	23.67	60.0	60.0
2b	0.056 (2 Hz)	70	Q_{max} , kg	1.6	45.8	20.8	122.3	650.9
			q_{max} , kg	0.02	0.65	0.30	1.75	9.30
3a	0.5 (1 – 10 Hz)	50	Q_{max} , kg	91.0	2608.8	1183.4	3000.0	3000.0
			q_{max} , kg	1.82	52.18	23.67	60.0	60.0
3b	0.056 (2 Hz)	50	Q_{max} , kg	1.1	32.7	14.8	87.3	465.0
			q_{max} , kg	0.2	0.65	0.30	1.75	9.30
4a	0.5	30	Q_{max} , кг	54.6	1565.3	710.0	1800.0	1800.0



	(1 – 10 Hz)		q_{\max} , κΓ	1.82	52.18	23.67	60.0	60.0
4b	0.056 (2 Hz)	30	Q_{\max} , κΓ	0.7	19.6	8.9	52.4	279.0
			q_{\max} , κΓ	0.02	0.65	0.30	1.75	9.30
5a	0.5 (1 – 10 Hz)	10	Q_{\max} , κΓ	18.2	521.8	236.7	600.0	600.0
			q_{\max} , κΓ	1.82	52.18	23.67	60.0	60.0
5b	0.056 (2 Hz)	10	Q_{\max} , κΓ	0.2	6.5	3.0	17.5	93.0
			q_{\max} , κΓ	0.02	0.65	0.30	1.75	9.30

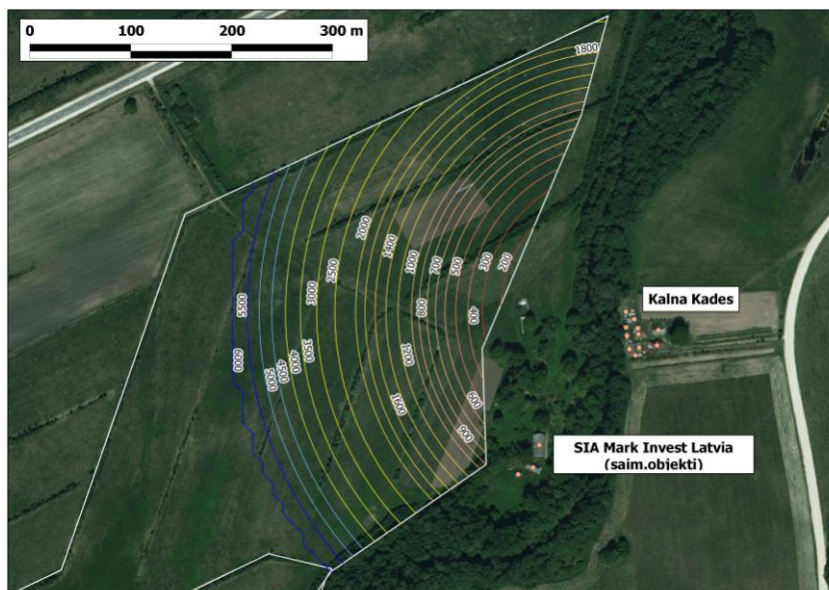
Piezīme: V_{kr} – maksimāli pieļaujamais vibrācijas ātrums ēku izturībai (0.5 cm/s) un cilvēku veselībai (0.056 cm/s) ēkās; N - urbumu (grupu) skaits ar īsu palēninātu spridzināšanu (aizkavēšanas laiks vairāk kā 20 ms); q_{\max} - maksimālā lādiņa daudzums (kg) vienā urbumā (grupa); Q_{\max} - summārā lādiņa masa N urbumos; R_{\min} - minimālais attālums līdz objektam (viensētu ēkas un būves), m; viensētas: KK – *Kalna Kades*, LK – *Lejaskades*, DZ – *Dzeņi*, MI – *SIA „Mark Invest” dienesta*: DAR – *Dārznieki*, ST – *Stirnas*.

Tabulā 2 doti lādiņu kopējās masas Q_{\max} pieļaujamās robežvērtības tikai laukuma galējos punktos (533, 2834, 3448, 0, 2312), Katra punkta (3449) detāli aprēķini sniegti 2.pielikumā. Sniegtie aprēķini tikai aptuvenu novērtējumu pieļaujamās sprāgstvielas daudzumam Q_{\max} .

Precīzāku novērtējumu var iegūt, ja ir zināmas vibrācijas frekvence. Tomēr sprādzienu dominējošā svārstību frekvence viensētās, kur atrodas dzīvojamā ēka nav zināms. Atsevišķi pētījumi [Hosseini and Baghikhani, 2013] parāda, ka sprādzienu frekvence pārsvarā no 4 līdz 10 Hz (56.5%). Retāk sastopama frekvence diapazonā no 10 līdz 40 Hz (41%), bet vēl retāk – frekvence no 1 līdz 4 Hz (2.5%). To var iegūt eksperimentālos mērījumos.

Vibrācijas ātruma pieļaujamās robežvērtības $v_{kr} = 0.5$ un 0.056 cm/s, lielāki kopējā lādiņa Q_{\max} ierobežojumi paredzami viensētas *Kalna Kades* tuvumā. Ja par pamatu ņemtu tikai drošības normas ($v_{kr} = 0.056$ cm/s) cilvēka veselībai no vibrācijas [Noteikumi ..., 2003], tad Q_{\max} jāsamazina aptuveni 80 reizes. Bet tas būs ekonomiski ne lietderīgi dolomīta ieguvei.

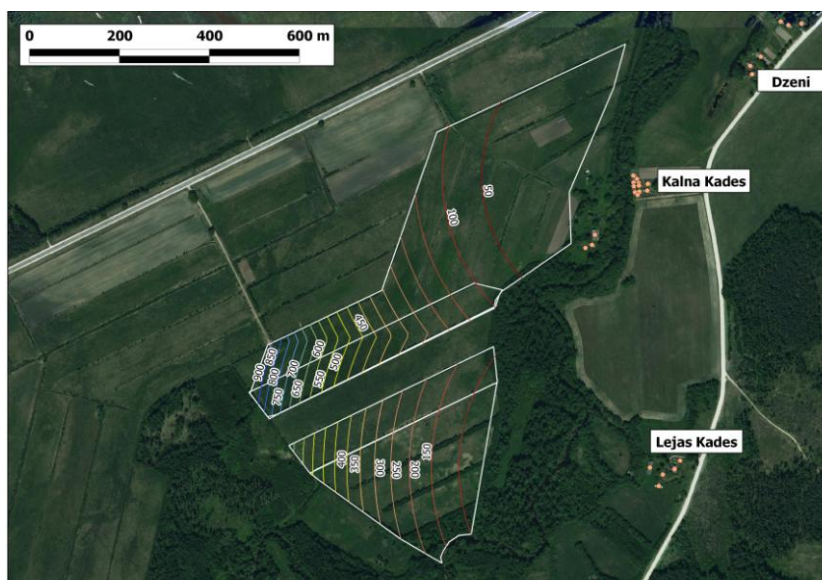
Samazinot urbumu skaitu, samazināsies arī kopējais sprāgstvielu daudzums Q_{\max} .



8.att. Izolīnijas Q_{\max} Kalna Kades 1 tuvumā.

Sprādziena parametri: $v_{kr} = 0.5 \text{ cm/s}$, $N = 100$.

Laukuma visos pārējos punktos (uz dienvidrietumiem) aiz izolīnijas 6000 kg pieļaujams veikt īsus palēninātus sprādzienus (ne momentānus) ar maksimālo sprāgstvielas masu 6000 kg, bet nosakot, ka lādiņa sadalījums pa 100 urbumiem (8.att.).

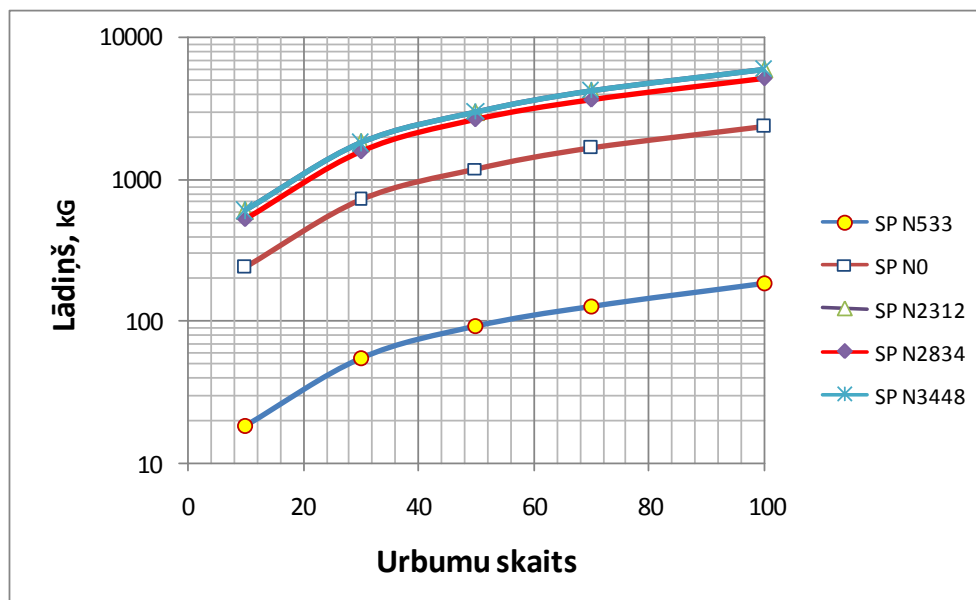


9.att. Izolīnijas Q_{\max} atradnē „Dzeņi”.

Sprādziena parametri: $v_{kr} = 0.056 \text{ cm/s}$, $N = 100$.



Pieļaujamā lādiņa masa Q_{max} aprēķini sniegti 2. pielikumā. Tajos Q_{max} parādīta 5 variantos dažādam urbumu skaitam - 100, 70, 50, 30 un 10. Katrs variants aprēķināts licences laukuma visiem 3449 punktiem.

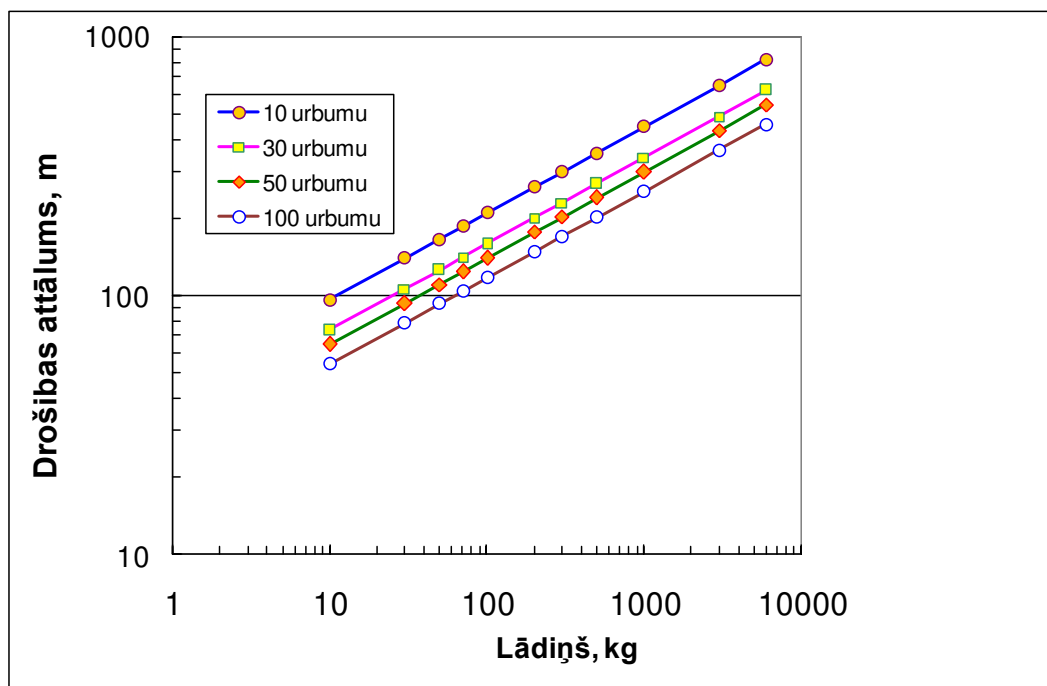


10.att. Maksimāli pieļaujamā lādiņa sprāgstviela Q_{max} ar dažādu urbumu skaitu minimālā attālumā no viensētām ($v_{kr} = 0.5$ cm/s).

Ņemot vērā ekonomiskos apsvērumus pasūtītājs var izvēlēties sev piemērotāko variantu. Izmantojot grafiku 10 ir iespējams izvēlēties nepieciešamo urbumu skaitu ar sprādzienam noteiktu lādiņa sprāgstvielas masu Q_{max} .

Atļautais, kritiskais attālums novērtēts (3.pielikums) izmantojot formulu [2] [Субботин А.И. и др., 2002]. Tika pieņemts: $K_{gi} = 20$ (augšne ūdens piesātināta); $K_e = 2.0$ (nelielas apdzīvotas vietas). Grafiki ar dažādu urbumu skaitu: 10, 30, 50 un 100 ir parādīti 11.attēlā.

Izvēloties maksimālo lādiņu mēs rekomendējam izmantot vispirms 3.pielikumu un 11.attēlu. Otrajā tabulā un otrajā pielikumā spridzināšanas lādiņu masa ir mazliet paaugstināta.



11.att. Maksimāli pieļaujamais attālums R_{kr} līdz viensētām, atkarībā no sprāgstvielas masas, ja vibrācijas ātrums $v_{kr} = 0.5$ cm/s.

Bez tam, tika novērtēts drošības attālums diviem lādiņiem, kuru masa 25 kg un 50 kg. Aprēķini parāda, ka izmantojot šādus parametrus ($K = 400$; $v_{kr} = 0.5$ cm/s) un sprāgstvielas daudzuma urbumā $q = 25$ kg, attālums vienāds $R_{kr} = 288.4$ m, bet pie $q = 50$ kg - $R_{kr} = 363.4$ m.

Pieņemtais seismiskuma koeficients K vienāds 400 [Горбонос, 2011]. Tas raksturo svārstību intensitāti un to nosaka pēc iežu īpašības un seismiskās enerģijas vadītspējas.

Atradnē „Dzeņi” derīgo izrakteņi, dolomītu pārklāj irdeni segkārtas nogulumi, to aptuvenais biezums 1.5 – 2.3 m. Telpisko seismisko viļņu P un S galvenā izplatība notiek pa dolomītiem. Virsējie viļņi *Releja* (*Rayleigh wave*) izplatās virskārtas slānī un ātri norimst palielinoties dziļumam.

Viensētu *Kalna Kades*, *Lejas Kades* un *Dzeņi* rajonā, eksistē dabisks šķērslis virsējo viļņu *Releja* izplatībai – upe *Vecpalsa*. Tādējādi galvenokārt var apskatīt seismiskuma koeficientu K tikai telpiskiem seismiskiem viļņiem, kas izplatās dolomītos. Parametra K novērtējumam izmantota formula [Епимахов и др., 1990]:

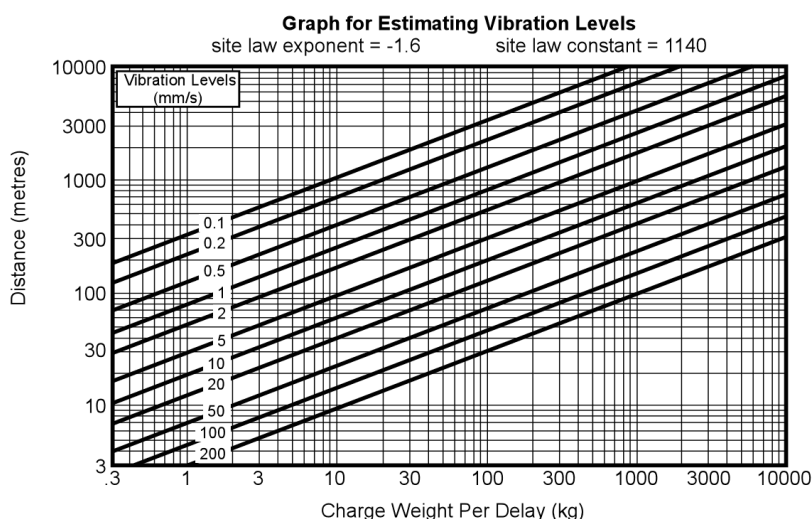
$$K = 1360\sqrt{\nu} \sqrt{\frac{C_P}{\gamma}} \quad (4)$$



kur, ν - Puassona koeficients; C_p - garenviļņu P izplatības ātrums iežu masīvā; γ - iežu tilpumsvars, kg/s.

Pieņemot, ka $C_p = 5900$ m/s [Гурвич & Номоконов, 1966], $\gamma = 2637$ kg/m³ [Bebrišs, 2008], $\nu = 0.28$ [Гурвич & Номоконов, 1966], tad $K = 1076$. Šajā gadījumā pieļautais, kritiskais attālums $R_{kr} = 557.9$ m, ja $q = 25$ kg un $R_{kr} = 702.9$ m - $q = 50$ кг.

Lielums K ir atšķirīgs dažādos rajonos, atkarībā no ģeoloģiskajiem apstākļiem. Karjerā *Lengfurt*, kas atrodas Vācijas centrālajā daļā (*Triefenstein*), nogulumiežu $K = 969$ [Schillinger, 2012]. Pēc citiem datiem [Richard, Moore, 2009], balstoties uz daudziem pētījumiem, vidējais $K = 1140$. Savukārt liela nozīme sprādziena veidam, kas tiek izmantots spridzināšanas darbos, vai uzliekamie lādiņi, vai lādiņi urbumos. Šie rādītāji parāda [Richard, Moore, 2009], ja vibrācijas ātrums $v_{kr} = 0.5$ cm/s, tad $q = 25$ kg $R_{kr} = \sim 170$ m, bet ja $q = 50$ kg - $R_{kr} = \sim 215$ m (12.att.).



12.att. Atkarība starp sprāgstvielas svaru (vienai aizturei) un attālumu dažādiem vibrācijas ātrumiem [Richard, Moore, 2009].

Mūsu pētījumiem R_{kr} attiecīgi vienāds 288.4 m un 363.4 m. Tas nozīmē, ka kritiskais attālums lielāks par 119 – 148 m.

Tomēr jāatgādina, ka mums nav zināms seismiskā viļņa frekvences sastāvs sprādziena laika konkrētos ģeoloģiskos apstākļos atradnes „Dzeni” iecirkņos. Tādēļ „izturīguma rezerve” attiecībā pieļaujamo attālumu R_{kr} uzskatām par attaisnojamu.

Jebkurā gadījumā, galīgo atbildi var sniegt tikai pēc eksperimentāliem pētījumiem. Šādi pētījumi Latvijas teritorijā nav veikti. Tādēļ, lai novērtētu kritiskos parametrus, pieļaujamo attālumu R_{kr} un atļauto lādiņa masas lielumu Q_{alm} , izmantota vērtība $K = 400$.



5. Secinājumi un slēdziens

Izejas pamatdati, kas tika izmantoti aprēķinos ir vibrācijas ātruma kritiskā, pieļaujamā robežvērtība v_{kr} un seismiskuma koeficients K .

Aprēķinos izmantoti divi vibrācijas ātruma parametri v_{kr} . Pirmajā aprēķina variantā v_{kr} , ņemta vērā cilvēku drošība ēkās, ko nosaka MK noteikumi Nr. 341 [Noteikumi ..., 2003] un vienāda 0.056 cm/s pie frekvences 2.0 Hz. Otrajā variantā novērtēta vibrācijas ietekme uz ēku izturību. Tika analizēts ārvalstu standarts, jo Latvijā nav savi normatīvi, kas nosaka vibrācijas ietekmi uz ēkām un būvēm. Par pašu optimālāko atzīts Vācijas normatīvs DIN 4150 [DIN 4150, 1999; DIN 4150, 2001], kas nosaka pieļaujamo vibrācijas ātrumu dzīvojamām ēkām ir $v_{kr} = 0.5$ cm/s (frekvencei no 1 līdz 10 Hz). Normatīvs DIN 4150 ir piemērojams īslaicīgiem procesiem, tas nozīmē, ka šie procesi neizraisa materiālu nogurumu un nepaspēj radīt rezonansi ēkā.

Seismiskuma koeficients K paņemts pamatojoties uz vairākām rekomendācijām [Горбонос, 2011; O Olofsson, 2012]. Kaut gan, K ir specifisks dažādiem ģeoloģiskiem apstākļiem, tādēļ būtu lietderīgāk novērtējumus veikt eksperimenta ceļā.

Aprēķinu rezultātā novērtēti pieļaujamās robežvērtības kopējā lādiņa masai starp sprādziena avotu un viensētām *Kalna Kades*, *Lejaskades*, *Dzeņi*, *Dārznieki*, *Stirnas*, kas atrodas dolomīta atradnes „Dzeņi” tiešā tuvumā.

Laukumā „Dzeņi” izveidots 3449 punktu tīkls. Šajos punktos noteikta summārā, pieļaujamā lādiņu masa Q_{max} un lādiņš q katrā punkta urbumā.

Paredzams, ka lādiņi urbumos q sadalījums vienmērīgs. Maksimālie lādiņi Q_{max} (2.pielikums) izmantojami laukumā lielākā daļā. Būtisks ierobežojums tikai laukuma ziemeļaustrumu daļā, iecirknī *Kalna Kades*. Šeit Q_{max} mazs, tādēļ pasūtītajam jāizvēlas cits variants dolomīta ieguvei - spridzināšanas darbiem būtiski jāsamazina sprāgstvielas daudzums urbumos vai arī bez spridzināšanas ar ekskavācijas metodi.

Izvēloties maksimālo lādiņu mēs rekomendējam izmantot vispirms 3.pielikumu un 11.attēlu. Otrajā tabulā un otrajā pielikumā spridzināšanas lādiņu masa ir mazliet paaugstināta.

Lai pasūtītājs varētu izmantot lādiņus (25 un 50 kg), iepriekš minētajos tehniskajos noteikumos, ir izvērtēts atļautais attālums R_{kr} no sprādziena vietas līdz tuvējām mājām *Kalna Kades*. Rezultāti parādīja, ja sprāgstvielas daudzums urbumā $q = 25$ kg, tad atļautais attālums R_{kr} vienāds 288.4 m, bet, ja $q = 50$ kg - R_{kr} vienāds 363.4 m. Ņemot vērā iegūtos datus pasūtītājs izvērtēs spridzināšanas lietderību šajā gadījumā vai arī ekskavācijas metodi.



Tādējādi, R_{kr} līdz *Kalna Kadēm* attiecīgi ar „*izturības rezervi*” pēc lieluma R_{kr} . Bez tam, upe *Vecpalsa* atdala licences laukumu no viensētām *Kades*, *Lejaskades*, *Dzeņi* un var būt kā savdabīgs dabisks šķēslis virsējo seismisko viļņu *Releja* izplatīvai šo māju virzienā.

Sprādzienu izraisīto vibrācijas līmeni nosaka pēc šādiem faktoriem: kopējais sprāgstvielas daudzums, spridzināšanas shēma, ģeoloģiskie apstākļi sprādziena punktā, attālums no spridzināšanas darbu iecirkņa līdz ēkām vai būvēm, segkārtas nogulumu raksturs. Ņemot vērā visus faktorus teorētiski novērtēt praktiski gandrīz nav iespējams. Tādēļ būtu lietderīgi izmantot instrumentālas novērošanas metodes, kas veiktu sprādzienu ierakstus laukumā „*Dzeņi*”. Tie dotu iespēju ne tikai kontrolēt parametru pieļaujamās robežvērtības, bet arī iegūt seismiskās enerģijas norimšanu atkarībā no attāluma, novērtēt seismiskuma koeficientu K . Šādi rezultāti ir nozīmīgi projektējot spridzināšanas darbu parametrus arī citās derīgo izrakteņu atradnēs Latvijā.

Spridzināšanas darbu galvenais uzdevums ir pacelt un uzirdināt dolomīta iežus ar minimālu seismisko efektu. Seismiskā efekta samazināšanu var panākt ar tehnoloģiskiem un aizsardzības pasākumiem. Tehnoloģiski, tie būtu īsi palēnināti sprādzieni, lādiņu masas samazināšana, izmaiņas lādiņa konstrukcijā un urbuma diametrā, kā arī lādiņu grupas optimāla orientācija attiecībā pret ēkām, kas pakļautas vibrācijai. Aizsardzības pasākumi – seismiskā ekrāna izmantošana, grāvīša aprakšana apkārt pamatiem.

Atskaitot sprādziena izraisīto seismisko efektu, būtu lietderīgi pievērst uzmanību uz gaisa triecienvilnim, lai maksimāli minimizētu tā iedarbību, būtu jāpieturas pie noteiktas grupēšanas shēmas [Richard & Moore, 2009]. Piemēram, efektīga šādu parametru pielietošana: urbumu skaits rindā – 4, attālums starp urbumiem – 9 m, telpiskā laika aizture 42 ms, lādiņa dziļums – 8 m, laika aizture starp urbumiem dažādās rindās – 100 ms. Šāda sprādzienu shēma neveidos novirzītu gaisa triecienvilni.

Analoģiski izmantojot attiecīgo lādiņu grupēšanas shēmu, ir sasniedzama virskārtas viļņa *Releja* intensitātes samazināšanu visos virzienos. Piemēram, efektīga šādu parametru pielietošana: urbumu skaits rindā – 10, attālums starp tiem – 2.2 m, telpiskā laika aizture – 25, 25, 34, 25 ... ms, rindu skaits – 3, lādiņa dziļums – 2.2 m, laika aizture starp urbumiem dažādās rindās – 42 ms.

Konkrēto spridzināšanas shēmu izvēlas pasūtītājs, izejot no nepieciešamības samazināt triecienvilni vai *Releja* vilni, kas izplatās pa Zemes virsmu.

Nobeigumā gribas atgādināt, ka aprēķinos izmantoti divi vibrācijas ātruma pieļaujamie lielumi: cilvēku veselības drošībai ēkās ($V_{kr_cil} = 0.056$ cm/s) un – pašu ēku drošībai ($V_{kr_buv} = 0.5$ cm/s). Ja pasūtītājam būs jāizmanto tikai V_{kr_cil} , tad praktiski viņam nebūs iespēju iegūt dolomītu ar spridzināšanas metodi. Pasūtītājs var vadīties pēc MK noteikumiem Nr. 25 [Noteikumi ... Nr. 25, 2012], kuri nosaka, ka komersants sagatavojot spridzināšanas darbu projektu, tajā norāda informāciju par drošības zonu lielumu un par sprādzienu seismisko iedarbību uz ēkām. Vienlaikus arī informēt karjeram tuvējo viensētu iedzīvotājus par spridzināšanas darbu grafiku un to īslaicīgo raksturu.



6. Rekomendācijas

Katrs karjers, kurā notiek spridzināšanas darbi, atrodas specifiskos ģeoloģiskos apstākļos. Tādēļ teorētiski precīzi izvērtēt sprādzienu ietekmi uz cilvēkiem un ēkām ir sarežģīti. Ir vajadzīgi instrumentālie monitoringa novērojumi, lai apstiprinātu teorētisko aprēķinu precizitāti.

Šādi novērojumi var būt divējādi: maksimālās vibrācijas lieluma ilgstoša kontrole (1.režīms) un īslaicīgs sprādziena ieraksts (2.režīms). Pirmā veidā var izmantot divus reģistrācijas režīmus – vienā punktā un ar daudzkanālu reģistratora palīdzību.

Reģistrācija vienā punktā.

Seismiskās kontroles pirmais režīms ļauj ierakstīt grunts daļiņu pīķa ātrumu (*Peak Particle Velocity - PPV*) vienā punktā, izmantojot vibrācijas ātruma adapteru (geofon). Ātruma signāls var tikt pārveidots sajaucoties vai paātrinoties. Ieraksts saglabājas elektronā atmiņā, piemēram, reģistrators *UVS 1201* ļauj uzkrāt signālus divus mēnešus. Ieraksta fragmentus no jebkuras atmiņas daļas iespējams vizualizēt uz LCD (*Liquid Crystal Display*) ekrāna, kā arī var iegūt izdrukā. Pirms reģistrācijas uzstāda ieraksta sākuma un beigu laiku, sagaidāmo maksimālo ātruma (paātrinājuma) lielumu. Izdrukā var rediģēt. Elektronās atmiņas saturu iekopējot diskā var apstrādāt vēlāk.

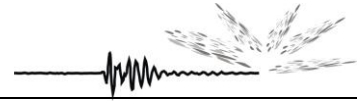
Otrais režīms paredzēts, lai izmantotu četru kanālu reģistrators PPV mērījumiem, paātrinājuma, ūdens un gaisa triecienvilnim, atkarībā no sensora tipa katram izmantojamam kanālam. Reģistrētos datus var vizualizēt ar LCD divu logu palīdzību. LCD pirmajā logā vizualizējas ieraksta grafiskā diagramma gar laika horizontālo asi. Otrajā logā – parādās ciparu informācija. Tā ietver ieraksta parametrus, datumu un laiku. Viens no šāda tipa reģistratoriem ir *UVS 1404*. Dati uzglabājas mēnesi. Izdrūka un kopēšana notiek līdzīgi kā reģistrators *UVS 1201*.

Daudzkanāla reģistrators ieraksts.

Īsa sektora ieraksta reģistrators (*Time History*) *UVS 1608* nodrošina vibrācijas un īso triecienviļņu secīgu (pakāpenisku) ierakstu. Ienākošie signāli saglabājas elektroniski un iespējams vizualizēt LCD logā. Iebūvētais printeris nodrošina precīzu ekrāna kopiju jebkurā ieraksta laikā. Turpmāk kopijas var tikt saglabātas, apstrādātas un izdrukātas. *UVS 1608* ražo 4 un 8 kanālu modifikācijas. Katru kanālu var pieslēgt geofonam, akselerometram vai mikrofonam *UVS 1608* iespējams savietot ar *UVS 1404*, ja vajadzīga paralēla kontrole vibrācijas pīķa lielumiem.

Iepriekš minētie reģistratori izmantojami ekstremālos apstākļos. Elektronika ievietota korpusos, kas paredzēti ekstremālām temperatūrām. Bez tam vibrācijas kontrolei var izmantot arī citu tipu portatīvos seismiskos reģistrators: *Blastmate*, *Vibracord*, *ETNA*, *TDL* utt.

Jebkurā gadījumā lietderīgi izmantot aparatūras šādus parametrus:



- ✓ Aparatūras komplekts – portatīvs, daudzkanālu ar X, Y, Z – komponentiem un kanāliem, lai ierakstītu gaisa triecienviļņus.
- ✓ Sensora tips: geofon (velosimets) vai akselerometrs.
- ✓ Reģistrācijas režīms: trigeris no vibrācijas, trigeris no gaisa triecienviļņa, no impulsa un nepārtraukts.
- ✓ Frekvences diapazons: 1 – 300 Hz.
- ✓ Dinamiskais diapazons: 120 dB.

Sprādziena ietekmes novērtējums uz ēkas izturību.

Eksistē papildus iespējamība, lai novērtētu ēku bojājumu pakāpi pēc sprādziena vibrācijas. Tā ir metode *Nakamura* [Nakamura, 1989]. Metodes pamatā seismisko viļņu spektrālā attiecība no horizontālo un vertikālo komponentu ieraksta. Mikroseismisko mērījumu rezultātā, pirms un pēc sprādziena, var novērtēt seismisko „ievainojamību”. Metode papildina tiešos vibrācijas ātruma mērījumus ēkās, uz kurām iedarbojas sprādzienu izraisītā vibrācija, kā arī iespējams kontrolēt ēku atliku deformāciju, ilgstoši izstrādājot karjeru ar spridzināšanas metodi.



Literatūra

Noteikumi par pieļaujamiem vibrācijas lielumiem dzīvojamo un publisko ēku telpās. Ministru kabineta noteikumi Nr. 341. Latvijas Vēstnesis, 96 (2861), 27.06.2003.

O Olofsson S., 2012. *Applied explosives technology for construction and mining.* Arla, Sweden, 342 p.

DIN 4150. 2001. *Vibration in Buildings. Prediction of vibration parameters.* Part 1.

DIN 4150. 1999. *Vibration in Buildings. Effects on persons in buildings.* Part 2.

DIN 4150. 1999. *Vibration in Buildings. Effects on structures.* Part 3.

Noteikumi par spridzināšanas darbu saskaņošanas un veikšanas kārtību. Ministru kabineta noteikumi Nr. 25. Latvijas Vēstnesis, 3 (4606), 5.01.2012.

Orica quarry services, 1998. *Safe and Efficient Blasting in Quarries.*

Langefors U. & Kihlstrom B., 1967. *The Modern Technique of Rock Blasting.* Wiley, 405 p.

ГОСТ Р52892-2007, 2008. *Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибраций и оценка ее воздействия на конструкцию.* Национальный стандарт России. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.

ISO 4866:1990. *Evaluation and measurement for vibration in buildings. Guide for measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings.*

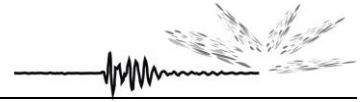
Горбонос М.Г., 2011. *Методические указания по практическим занятиям и выполнения работ по дисциплине «Технология и безопасность взрывных работ».* Часть 2. 70 стр.

Субботин А.И. и др., 2002. *Единые правила безопасности при взрывных работах ПБ 13-407-01.* Ростехнадзор России.

Hosseini M. and Baghikhani M., 2013. *Analysing the Ground Vibration Due to Blasting at AlvandQoly Limestone Mine.* International Journal of Mining Engineering and Mineral. Processing 2(2), pp. 17 – 23.

Епимахов Ю.А., Гуцин В.В., Сиротюк Г.Н., Фокин В.А., Торочков Г.С., Тюркин Г.И., Соколов В.П., Лебедев В.П., Абрамов Н.Н., Вассерман А.Д., Романов В.С., Чашников Н.Н., Пронин Н.Д., Педчик А.Ю., Додонов Г.В., Малезик В.В., Ильин В.Г., 1990. *Методические указания по проектированию и производству массовых взрывов при возведении подземных сооружений.* АН СССР, Кольский научный центр, Горный институт. 51 стр.

Гурвич И.И., Номоконов В.П., 1966. *Сейсморазведка. Справочник геофизика.* 4 том. «Недра», 749 стр.



Bebrišs E., 2008. *Pārskats par dolomīta atradnes "Dzeņi" iecirkņa "Jaunpurgaiļi" ģeoloģisko izpēti (Valkas rajons, Grundzāles pagasts)*. SIA "Geo Consultants", 46 lpp.

Schillinger R., 2012. *On-site findings from vibration and noise measurements initiated by blasting at the quarry Lengfurt Basis-Objectives-Methods*. ICEM. 30 lpp.

Richard A.B., Moore A.J., 2009. *Blast vibration course. Measurement – assessment – control*. Terrock Consulting Engineers

Nakamura Y., 1989. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quaterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), vol. 30, N 1.