

LATVIJAS UNIVERSITĀTE  
ĢEOGRĀFIJAS UN ZEMES ZINĀTŅU FAKULTĀTE  
ĢEOLOĢIJAS NODAĻA

**EŽURGU KLINTĪS ATSEGTO DEVONA BURTNIEKU  
SVĪTAS NOGULUMIEŽU SEDIMENTĀCIJAS VIDES  
INTERPRETĀCIJA**

**BAKALaura DARBS**

Autore: Sigita Žagata

Stud. apl.: sz15018

Darba vadītājs: Dr. geol. Ģirts Stinkulis

RĪGA 2018

## ANOTĀCIJA

Bakalaura darbā veikts pētījums par Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā atsegto devona Burtnieku svītas nogulumiežu sedimentācijas apstākļiem, balstoties uz lauka un laboratorijas darbos iegūtajiem novērojumiem un datiem. Darbs pamatojas uz lauka darbiem, kuru ietvaros tika ievākti pētījumam nepieciešamie dati, 4 atsegumu ģeoloģisko griezumu izveidi, slīpslāņojuma mērījumiem, granulometrisko analīzi, kā arī fāciju un fāciju secību analīzi. Iegūtie dati un to interpretācija ļauj secināt, ka Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā atsegtie devona Burtnieku svītas smilšainie nogulumi veidojušies migrējošās zemūdens grēdās, kas pārvietojušās plašā kanālā ar lēzenu gultni. Pēc tam, domājams, attīstījies jauns kanāls, kurā uzkrājušās mālaini aleirītiskas nogulas.

**Atslēgas vārdi:** sedimentoloģija, Živetas stāvs, smilšakmens, granulometriskā analīze, deltas kanāli.

## ANNOTATION

Bachelor's thesis study summarizes a research about interpretation of sedimentary environment of deposits of the Devonian Burtņieki Formation in Ežurgas cliffs and Zivtņi cliffs southern part, Latvia. Study is based on data and observations from field and laboratory works. Following studies were done – logging of geological sections of 4 outcrops, paleocurrent direction measurements, grain-size analysis, as well as facies and facies succession analysis. Collected data and their interpretation allows to conclude that sandy deposits of the Devonian Burtņieki Formation exposed in the Ežurgas cliffs and southern part of the Zivtņi cliffs formed in subaqueous dunes migrating in a wide, flat-bottomed channel. A new channel filled with clayey and silty deposits likely developed afterwards.

**Key words:** sedimentology, Givetian, sandstone, grain-size analysis, delta channels.

## SATURS

ANOTĀCIJA .....	2
IEVADS .....	5
1. TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS .....	7
1.1. Vidējā devona nogulumiežu veidošanās apstākļi Baltijas devona baseinā .....	7
1.2. Burtnieku svīta Latvijā .....	12
1.3. Nogulumiežu veidošanās apstākļi deltās, estuāros un seklu jūru piekrastēs .....	16
1.3.1. Deltu apstākļi .....	16
1.3.2. Estuāru apstākļi .....	20
1.3.3. Seklu jūru piekrastes apstākļi .....	21
1.4. Plūdmaiņu ietekme uz nogulumu veidošanās apstākļiem .....	23
1.5. Augu un to sakņu sistēmu attīstība devonā .....	25
2. PĒTĀMĀS TERITORIJAS RAKSTUROJUMS .....	28
3. MATERIĀLI UN METODEDES .....	30
3.1. Literatūras apskate, apkopošana un analīze .....	30
3.2. Lauka darbi .....	30
3.3. Laboratorijas darbi .....	31
3.4. Datu apstrāde, analīze un interpretācija .....	32
4. REZULTĀTI .....	36
4.1. Fācijas .....	36
4.2. Granulometriskās analīzes rezultāti .....	40
4.3. Paleostraumju virzieni .....	43
4.4. Fāciju secība un sedimentācijas vides interpretācija .....	44
5. DISKUSIJA .....	52
6. SECINĀJUMI .....	55
PATEICĪBAS .....	56
LITERATŪRAS SARAKSTS .....	57
PIELIKUMI .....	62

## IEVADS

Latvijas teritorijā visplašāk zemkvartāra virsmā atsegtie pamatieži ir devona nogulumieži, tādēļ ir nozīmīgi izpētīt šo nogulumiežu veidošanās apstākļus. Devona Burtnieku svītas nogulumieži ir plaši izplatīti atsegumos un labi pieejami pētījumiem, taču par tiem, atšķirībā no pagulošajiem Arukilas un pārsedzošajiem Gaujas un Amatas svītu nogulumiežiem, pēdējos gados nav bijuši plaši pētījumi. Kā izņēmums jāatzīmē D. Kreišmanes maģistra darbs (Krejšmane 2014), kas aptver plašu teritoriju Latvijā, Igaunijā un Krievijā. Augšminētajā darbā ir pētīti Tūjas un Veczemju atsegumi, taču nav raksturoti Ežurgu klinšu atsegumi. E. Krakopas veiktie pētījumi (Krakopa 2008, 2010) aptver Veczemju un Zivtiņu klintis. J. Pugača darbā (Pugačs 2012) pētīti Burtnieku svītas smilšakmeņi Tūjas atsegumos. 8. Baltijas Stratigrāfijas konferences ģeoloģiskās ekskursijas ceļvedī raksturotas Veczemju klintis (Tovmašjana et al. 2011), taču nav pieejami to detalizēti pētījumi. Tādējādi Ežurgu klintis ir kā iztrūkstošais posms līdzšinējos pētījumos. Būtu jāveic arī to salīdzinājums ar vistuvāk (uz ziemeļiem) esošajām Zivtiņu klintīm – to dienvidu daļu. Bakalaura darba **aktualitāte** sevī ietver šajā teritorijā esošo Burtnieku svītas nogulumiežu sedimentācijas apstākļu interpretāciju, balstoties uz lauka darbos iegūtajiem novērojumiem un datiem.

Bakalaura darba **mērķis** ir veikt Ežurgu klintīs atsegto nogulumiežu sedimentācijas apstākļu interpretāciju, balstoties uz apskatīto literatūru, lauka un laboratorijas darbu datiem.

Lai sasniegtu bakalaura darbā izvirzīto mērķi, tika veikti sekojošie **uzdevumi**:

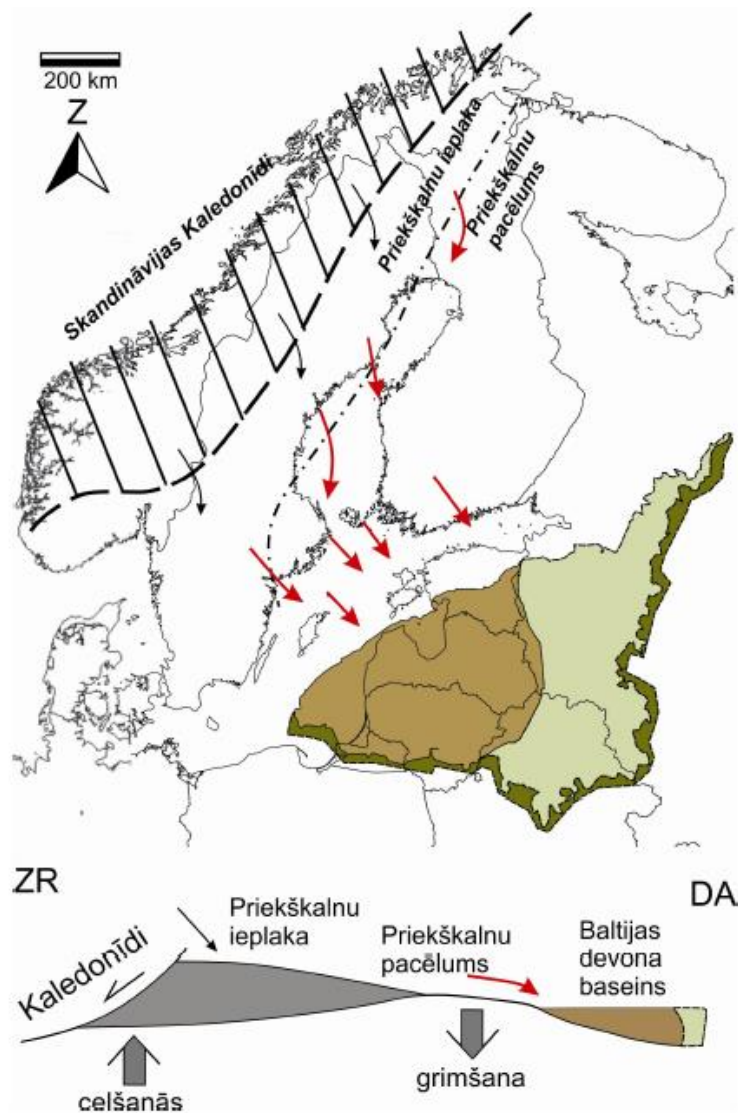
- Zinātniskās literatūras apskats un apkopojums par iepriekš veiktajiem pētījumiem apskatāmajā teritorijā, devona un Burtnieku laikposma sedimentācijas apstākļiem, nogulumiežu veidošanos deltās, estuāros un seklu jūru piekrastē, plūdmaiņu ietekmi uz nogulumu veidošanos, kā arī augu sakņu sistēmu attīstību vidējā devonā;
- Burtnieku svītas nogulumiežu apraksts un ģeoloģisko griezumu izveide lauka apstākļos;
- Atsegumu joslas fotokolāžas izveide, lai palīdzētu vizualizēt nogulumiežu sastāva un uzbūves likumsakarības;

- Straumju virzienu un gultnes reljefa formu morfoloģijas noskaidrošana ar slāņojuma elementu mērījumu palīdzību;
- Pētīto nogulumiežu graudu izmēru un granulometrisko koeficientu noskaidrošana;
- Datu apkopošana un analīze, lauka darbos zīmēto atsegumu apstrāde programmā *MicroStation V8i* un atsegumu līnijas fotokolāžas apstrāde;
- Novērojumu un datu interpretācija, un secinājumu veikšana par pētīto nogulumiežu sedimentācijas vides apstākļiem.

# 1. TEORĒTISKAIS PAMATOJUMS

## 1.1. Vidējā devona nogulumiežu veidošanās apstākļi Baltijas devona baseinā

Latvijas teritorija un Austrumeiropas platformas ZR daļa veido Galveno devona lauku, kas ir viens no zināmākajiem devona nogulumiežu izplatības reģioniem (Lukševičs, Stinkulis 2018). Devona periods bija nozīmīgs posms Zemes garozas virsmas attīstībā – sauszemes platības krasi pieauga, jūru un okeānu platības samazinājās. Ar šo laika posmu sākās krasas paleoģeogrāfisko apstākļu un nogulumu sastāva izmaiņas Baltijas valstu teritorijā (Brangulis u.c. 1998). Uz silūra un devona periodu robežas norisinājās nozīmīgs tektoniskais notikums – sadūrās Laurentijas un Baltijas litosfēras plātnes, izveidojot Eiramērikas paleokontinentu un Kaledonīdu kalnu grēdas. Pēc V. Kurša datiem (Курш 1992) šie pacēlumi, kopā ar Baltijas vairogu, turpmāk kalpoja kā viens no galvenajiem sanesu avotiem Baltijas devona baseinam (1.1. attēls), kas eksistēja kā sekls epikontinentāls baseins (Brangulis u.c. 1998). Baltijas devona baseinā ietilpa arī Latvijas teritorija, kas šajā laikposmā atradās zemos dienvidu platuma grādos (1.2. attēls). Baseinā ar upju ūdeņiem ieplūda liels apjoms klastiskā materiāla un dzelzs savienojumi, veidojot devona nogulumiem raksturīgo sarkanīgo krāsu un smilšaini mālaino sastāvu. Iespējams, Baltijas devona baseina ūdens sāļums vairākkārt mainījās, kā arī atšķīrās teritoriāli dažādās baseina daļās. Saldūdens pietece no upēm izsauca sāļuma samazināšanos, taču karstais klimats veicināja intensīvu iztvaikošanu, kas ūdens sāļumu palielināja. Norisinājās daudzi jūras transgresijas un regresijas posmi, un, kopā ar strauju drupu materiāla pieplūdumu, ūdens vide nebija labvēlīga daudzveidīgai faunai – ūdens bija duļķains un ar mainīgu sāļumu (Stinkulis 1998). Šādos apstākļos spēja attīstīties tikai komplicētākie organismi – bruņuzivis, bezžokleņi, daivspurzivis, akantodes - taču atrastas arī retas bezmugurkaulnieku atliekas kā stromatoporāti, koraļļi, brahiopodi, gliemeži, gliemeņvēži, gliemenes, sūneņi un jūraslilijas (Lukševičs, Stinkulis 2018).

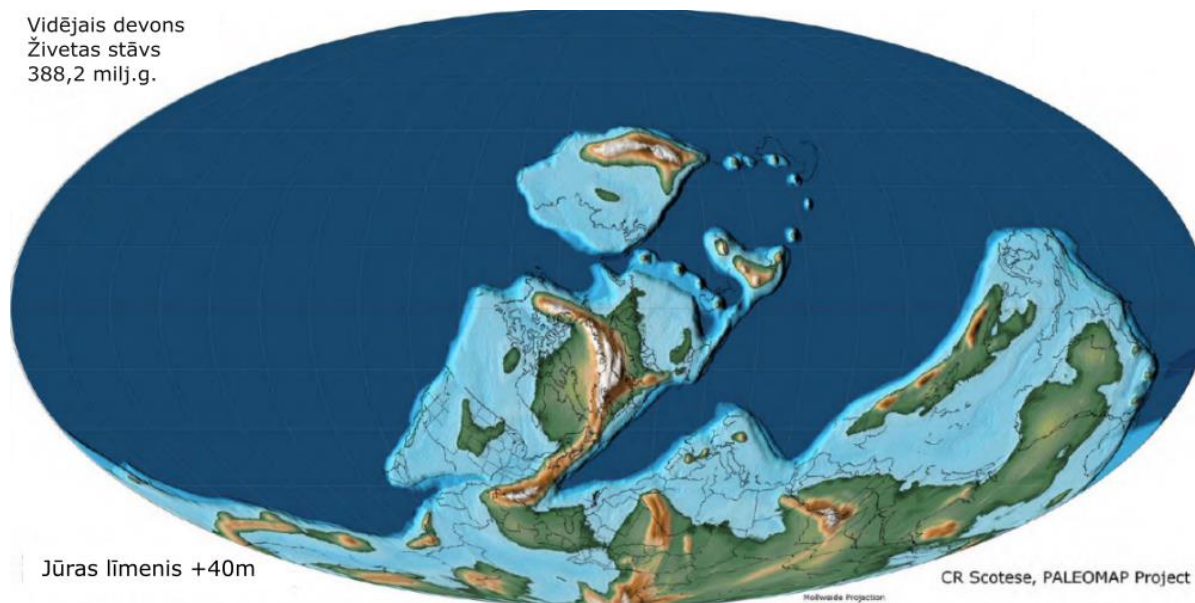


1.1. attēls. Skandināvijas Kaledoniēdu un Baltijas devona baseina shematisks izvietojums (Kreišmane 2014., pēc Plink-Björklund, Björklund 1999). Apzīmējumi: brūnās krāsas laukums – Baltijas devona baseina robežas; gaiši zaļās krāsas laukums – epikontinentālā baseina teritorija; tumši zaļās krāsas iecirknis – iespējama plašāka baseina izplatība.

Latvijas devona griezumā ir visai daudzveidīgs. To veido apakšējā un vidējā devona siliciklastiskie nogulumieži (smilšakmens, aleiolīts un māls), vidējā devona Narvas svītas mālaini dolomītiskie ieži, augšējā devona siliciklastiskie un karbonātiskie ieži, retāk sastopami arī ģipši (Lukševičs, Stinkulis 2018). Šāda nogulumiežu sastāva daudzveidības pamatā ir iepriekš minētās sedimentācijas apstākļu izmaiņas (Stinkulis 1998). Devona slāņkopas biezums Latvijas teritorijā ir atšķirīgs – ziemeļu un austrumu daļā tie ir 100-200 m, taču maksimālais biezums konstatēts Rietumlatvijā – 815 m (Lukševičs, Stinkulis 2018).

Visā devona laikposmā nodalāmas trīs baseina attīstības stadijas:

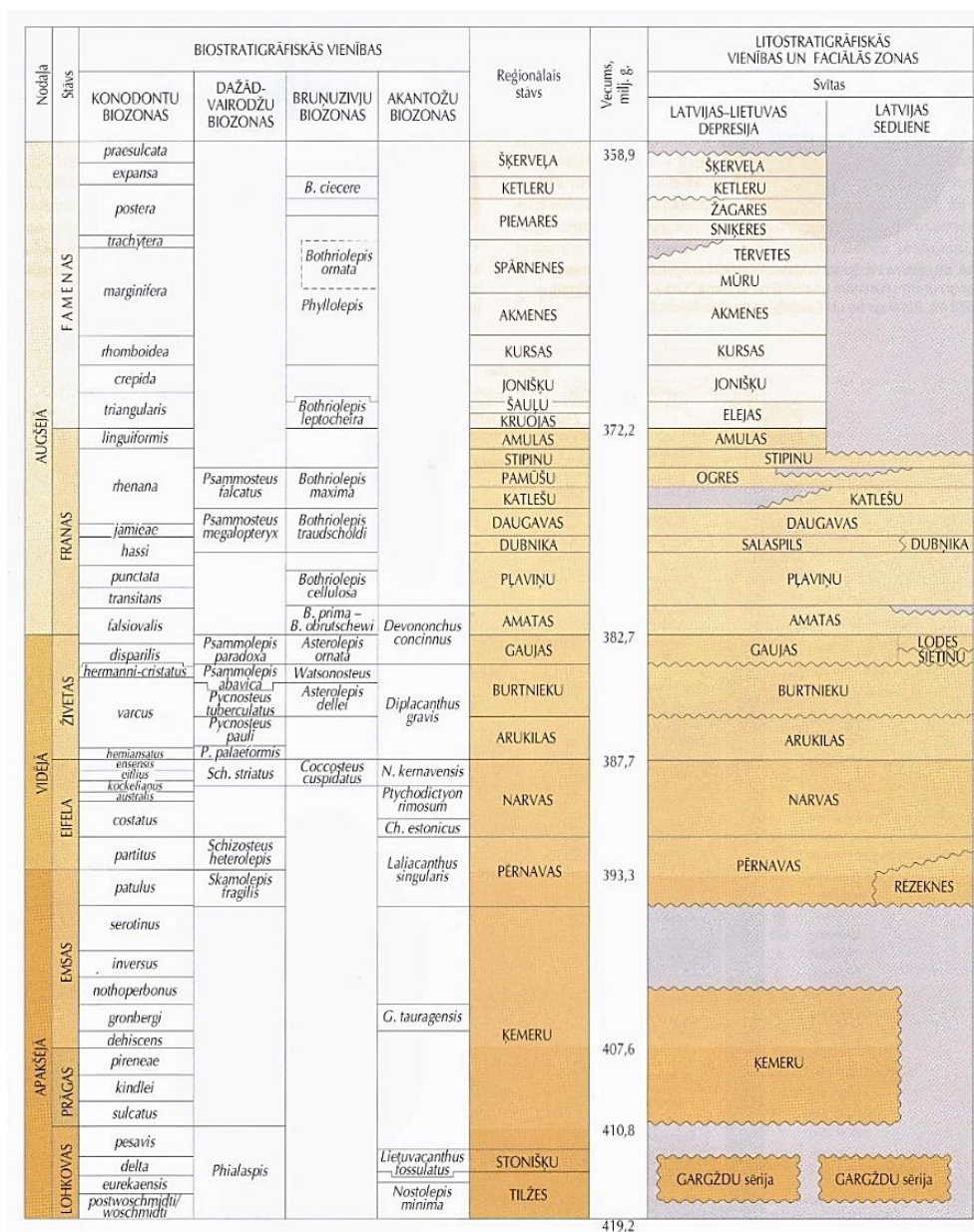
- agrais devons līdz vēlā devona apakšējā daļa, kad dominēja klastiskā sedimentācija;
- vēlā devona Franas laikmeta karbonātisko un klastisko nogulumu veidošanās;
- Famenas laikmeta mainīga sastāva nogulu uzkrāšanās (Stinkulis 1999).



1.2. attēls. Vidusdevona, Živetas laikmeta paleogeogrāfiskā karte (Scotese 2014, latviskojusi autore)

Visu vidusdevona epochu dominēja klastiskā materiāla sedimentācija transgresīvā līdz regresīvā deltu zonā (Курин 1992). Vidusdevona nodaļa (1.3. attēls) iedalās 2 stāvos – Eifeila un Živetas – kas sevī ietver tādus reģionālos stāvus kā Pērnavas un Rēzeknes, Narvas, Arukilas, Burtnieku (sīkāk aprakstīta 1.2. nodaļā) un Gaujas (Lukševičs et al. 2012). Rēzeknes un Pērnavas svītas, ar ko sākas vidusdevona nodaļa, raksturo vienu no devona transgresijas posmiem, kad uz rietumiem no Baltijas baseina atradās atklāta jūra ar normālu ūdens sāļumu (Stinkulis 1998). Sedimentācijas apstākļus Baltijas devona baseinā šajā laikposmā noteica upes, kuras plūda no Fenoskandijas, kas kalpoja kā smilts materiāla cilmes apgabals, un pastāvošais sauss klimats, taču zināmu ietekmi atstāja arī plūdmaiņas. Kopumā abu svītu nogulumu sedimentācijas vide tiek interpretēta kā estuāri un ar tiem saistītie plūdmaiņu līdzenumi (Tovmasjana 2013).

Nākamās, Narvas svītas, slāņkopas veidošanās laikā bija vidusdevona jūras transgresijas maksimums, kad mālainie un karbonātiskie nogulumi uzkrājās seklā jūrā, kura klāja lielāko Austrumeiropas platformas daļu (Stinkulis 1999). Baseina malas zonās nogulumi uzkrājās sebhās un augšējā līdz vidējā plūdmaiņu līdzenumu vidē, bet baseina centrālajā daļā - apakšējā plūdmaiņu līdzenuma vidē (Tānavsuu-Milkeviciene et al. 2009). Periodiski norisinājās arī nogulumu subareāla atsegšanās jūras malu joslās, savukārt svītai atbilstošā laikposma beigās baseina ziemeļu daļā attīstījās upes delta, kas virzījās D virzienā - uz jūras pusi (Lukševičs, Stinkulis 2018).



1.3. attēls. Devona slāņkopas stratigrāfiskais iedalījums (izstrādāja E. Lukševičs: Lukševičs, Stinkulis 2018). Burtnieku svīta atbilst Živetas stāvam, Burtnieku reģionālajam stāvam.

Ar Narvas svītu beidzas arī Eifela laikmets un sākas jauns – Živetas – laikmets, kam atbilst Arukilas, Burtnieku un Gaujas svīta. Arukilas svīta iezīmē jūras regresiju un smilšaino un mālaino nogulumu sedimentāciju plūdmaiņu kontrolētā deltas līdzenumā un nogāzē (Tānavsu-Milkeviciene et al. 2009). Sanešu materiāls baseinā tika ienests galvenokārt no ziemeļiem un turpinājās Narvas laikposmā uzsākusies upes deltas attīstība. Arukilas svītas nogulumos atrastas arī senās vidējā devona augu sakņu struktūras (Lukševičs, Stinkulis 2018) par ko sīkāk aprakstīts 1.3. nodaļā.

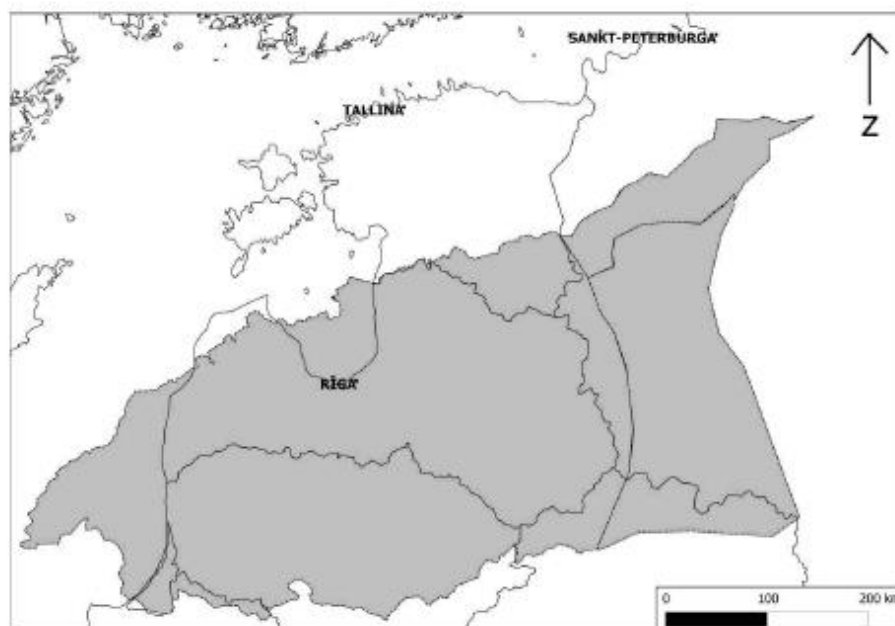
Bez izteikta sedimentācijas pārtraukuma nogulumu turpināja veidoties Burtnieku laikposmā (1.2. nodaļa). Baltijas baseins bija savienots ar dienvidrietumos esošo atklāto jūru, un Galveno devona lauku pārsvarā klāja sekla, iesāļa jūra (Куршс 1992), kur nogulumu sedimentācija norisinājās deltas līdzenuma zemūdens daļā, kas periodiski nonāca subareālos apstākļos uz ko norāda svītas nogulumos sastopamie dolokrēti (Lukševičs, Stinkulis 2018). Baseina ziemeļu daļā eksistēja aluviālie un deltu līdzenumi, tai skaitā arī deltu zemūdens daļas. Liela daļa šo veidojumu līdz mūsdienām nav saglabājušies erozijas dēļ pleistocēna ledāja un senāku ģeoloģisko notikumu ietekmē. Burtnieku svītu noslēdz erozijas virsma, kas norāda uz sedimentācijas pārtraukumu (Куршс 1992).

Ar sekojošo Gaujas svītu sākās jauna jūras transgresija. Nogulumu šajā laikposmā uzkrājās plašā, seklā epikontinentālajā baseinā, kurā no ziemeļiem ievirzījās lielas upes delta vai vairāku upju deltas. Tiek uzskatīts, ka visi svītas nogulumi veidojās plūdmaiņu ietekmētā deltas līdzenumā un tās zemūdens nogāzē, taču laika gaitā pieauga aluviālā un samazinājās plūdmaiņu ietekme. Nogulumu uzkrāšanās laikā ūdens līmenis pazeminājās, deltai ievirzoties dziļāk baseinā – DDR virzienā (Lukševičs, Stinkulis 2018). Gaujas laikposmā uzkrājās nogulumu, kas līdzinās Burtnieku svītas nogulumiežiem: apakšdaļā dominē smilšakmeņi, augšdaļā – māli un aleirolīti. Latvijas ZA Gaujas svīta tiek dalīta divās daļās – apakšējā Sietiņu un augšējā Lodes svīta (Stinkulis 1998). Sietiņu svītā dominē gaišpelēki kvarca smilšakmeņi, kas uzkrājušies ātrās straumēs, savukārt Lodes svītā dominē raibi aleirolīti un māli ar dzeltenīgi pelēku, ļoti treknu mālu lēcām (Lukševičs, Stinkulis 2018), kas uzkrājušies deltas nogāzē, kur uzkrājās mālainas nogulas un notika noslīdeņu procesi (Blāķe 2011).

Amatas svīta, kas seko Gaujas svītai un tiek pieskaitīta pie augšējā devona, atbilst klastiskās sedimentācijas posma noslēguma fāzei un tai raksturīga baseina transgresija. Klastisko nogulu uzkrāšanās turpinājās, taču palielinājās karbonātisko veidojumu saturs (Куршс 1992). Šajā laikposmā nogulumu uzkrājušies plūdmaiņu ietekmētos estuāros – to kanālos un sērēs (Pontén, Plink-Björklund 2009).

## 1.2. Burtnieku svīta Latvijā

Devona sistēmas nogulumieži ir izplatīti visā Latvijas teritorijā, Rīgas līcī un Baltijas jūras akvatorijā. Arī bakalaura darbā pētītie vidusdevona Burtnieku svītas nogulumieži ir izplatīti visā Latvijas teritorijā, izņemot Kurzemes ziemeļrietumus (1.4. attēls), kur tie tikuši denudēti (Куршс 1992). Šie klastiskie nogulumi uzkrājušies Žīvetas laikmetā Baltijas devona basinā (Lukševičs et al. 2012) un mūsdienas sastopami atsegumos Vidzemes piekrastē (no Tūjas līdz Vitrupei), kā arī Burtnieka ezera, Salacas (Neļķu klintis, Sarkanās klintis, Bezdelīgu klintis u.c.) un to pieteku, Svētupes, Ventas, Gaujas un Rojas krastos. Ārpus Latvijas Burtnieku svīta atsedzas Igaunijas dienvidos un Pleskavas apgabalā, Krievijā (Куршс 1992). Svītas biezums Latvijas teritorijā svārstās no 23-89 m un pieaug ziemeļu virzienā (Kleesment, Mark-Kurik 1997), un maksimālie biezumi konstatēti apvidos gar nogulumu izplatības ziemeļu robežu (94,5 m urbumā Hino-452), kas atradās vistuvāk drupu materiāla sanesu avotam (Brangulis u.c. 1998). Kā liecina projekta “Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” (Starpnozaru zinātnieku grupas ... 2012) ietvaros izstrādātās urbumu datu bāzes informācija, uz dienvidiem no šī bakalaura darba pētījumu objektiem Burtnieku svītas biezums ir aptuveni 70 m. Šo informāciju apstiprina arī V. Kurša sagatavotās Burtnieku svītas fāciju un biezuma kartes (Куршс, 1975). Pašu objektu teritorijā svītas biezums nav pilnīgs erozijas dēļ.



1.4. attēls. Burtnieku svītas nogulumiežu izplatības karte (Kreišmane 2014)

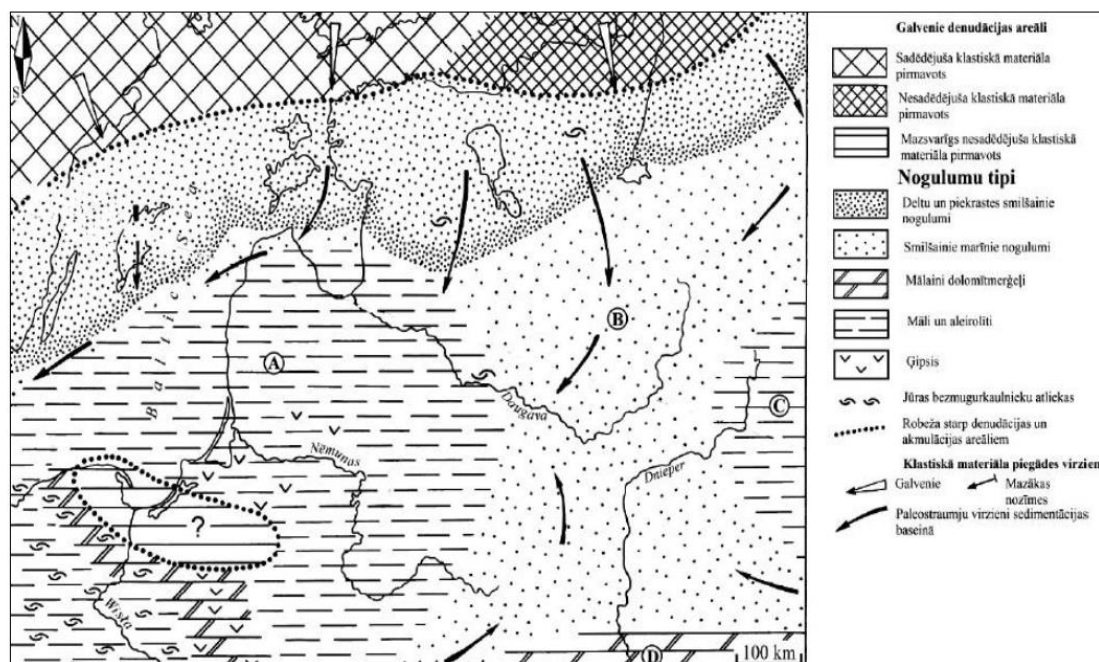
Burtnieku svītai raksturīga cikliska uzbūve. Griezuma pamatnē atrodami sarkani, smalkgraudaini līdz vidējgraudaini smilšakmeņi, bet augšējā daļā – mālaini un aleirītiski ieži. Svītas smilšakmeņiem piemīt muldveida un paralēlais slīpslāņojums un vietām tajos sastopami aleirītu saveltņi, zivju skeletu atlūzas, kā arī mazas fosfātu konkrēcijas (Stinkulis 1998). Augšējās daļas mālainie aleiolīti ir raibi un aleirīta frakcijas daudzums tajos ir 30-40%. Raibie māli satur samērā daudz (līdz 20%) rupjgraudaino karbonātu ieslēgumu, kas sastāv no mālaina vai merģeļaina dolomīta (Kuršs, Stinkule 1997). Pēdējos gados šos karbonātu veidojumus uzskata par dolokrētiem, kas ir dolomīta dzīslas, konkrēcijas un slāņveida ķermeņi. Tie veidojušies augsnē vai sekli zem zemes, tuvu gruntsūdens līmenim, attīstoties sauszemes apstākļiem jūras atkāpšanās laikā (Lukševičs, Stinkulis 2018). Karbonātu cementa un konkrēciju saturs iežos pieaug virzienā no austrumiem uz rietumiem. Svītas izplatības laukuma austrumos ieži ir bezkarbonātiski un satur māla cementu. Dolomīta veidojumi ir sastopami uz slāņu un slīpo slānīšu virsmām, šķērsojot slāņus, kā arī dzīslīņu veidā (Stinkulis 1998). Vietām tiem raksturīga subvertikāla un V-veida forma, kā arī griezumā, virzienā uz augšu, konkrēciju daudzums pieaug un tie savstarpēji saskaras gan vertikālā, gan horizontālā virzienā. Šāda izplatība atgādina rizokrētus - vaskulāro augu sakņu sistēmas - kas liecina par pedogēnas izcelsmes dolokrētiem (Pipira, Stinkulis 2014).

Burtnieku svīta Latvijas teritorijā tiek uzskatīta par plašu klastisko-karbonātu pārejas zonu. Uz to norāda nogulumu paveidu izplatība - Latvijas rietumos un centrālajā daļā svītas nogulumus veido smilšakmeņi ar karbonātu cementu, taču galējos austrumos tie ir bezkarbonātiski (Stinkulis 1998) - sarkani, vāji cementēti smilšakmeņi ar mālu un dzelzs oksīdu cementu. Pēc minerālā sastāva Burtnieku svītas nogulumiežos dominē kvarca un laukšpata smilšakmeņi ar kvarca saturu 70-90%. Vizlainie smilšakmeņi, ar vizlas saturu līdz 50%, izplatīti kā reti un plāni slānīši. No smagajiem minerāliem nogulumos visizplatītākais ir ilmenīts (45-60%) un caurspīdīgie allotigēnie minerāli (15-30%) – cirkons, turmalīns, staurolīts u.c. (Kleesment, Mark-Kurik 1997).

Burtnieku svītas nogulumu veidošanās laikposmā Baltijas paleobaseins dienvidrietumos bija savienots ar atklātu jūru. Valdīja karsts klimats un nogulas uzkrājās seklas jūras piekrastē, kur ūdeņiem bija pazemināts sāļums, no ziemeļiem plūstošo upju dēļ, kuras no sanesu apgabaliem ienesa daudz smilšainā un mālainā materiāla. Paleobaseina rietumos un centrālajā daļā uzkrājās mālainas, aleirītiskas un smilšainas nogulas, bet austrumos – pārsvarā smilšainas nogulas (Lukševičs, Stinkulis 2018). Galvenais sanesu avots bija Baltijas vairogs un Skandināvijas Kaledonīdu kalnu grēda, kas atradās ziemeļos, kā arī problemātiskas noneses

apgabals DR no baseina. Noneses apgabalu atrašanos ziemeļos (1.5. attēls) pierāda smilšainības palielināšanās un izskalojuma virsmu skaita pieaugums šajā virzienā (Куршс 1992), kā arī slīpslāņojuma mērījumu dati, kas liecina, ka ūdens straumes plūdušas virzienā no ziemeļiem uz dienvidiem (Куршс, Лярская 1979).

Uzskata, ka baseina ziemeļu malā, gar galveno sanesu avotu – Baltijas vairogu – eksistēja deltu zemūdens nogāzes zona. Tā izsekojama Burtnieku svītas izplatības laukuma ZA daļā, kur dominē smilšainais materiāls, taču šeit uzkrājās arī mālainas nogulas. Deltu eksistenci pierāda svītas augšdaļas sīkdisperso pelēko mālu lēcu nesaskaņotais kontakts ar pagulošajiem smilšakmeņiem, slāņkopas kritums 2-3° leņķī uz DA (sanesu plūsmas virzienā) un izķīlēšanās, kas norāda uz to, ka šīs lēcas aizpilda noslīdeņu depresijas. Par kontinentālās un marīnās vides mijiedarbību liecina arī kamarotehīdu, paleokopīdu kārtas gliemeņvēžu un retu fosforītu konkrēciju atradumi (Куршс 1992). Pēdējās desmitgades laikā veikto pētījumu rezultāti norāda, ka Burtnieku svītas nogulumu uzkrājušies plūdmaiņu ietekmētā deltā. Šīs senās deltas kanāls, kas aizpildīts ar smilšainajiem un mālainajiem nogulumiem, atsedzas mūsdienu jūras Vidzemes stāvkrastos pie Veczemjiem un Ežurgām. Veczemju klintīs novērojami mālaini nogulumi, kas veidojušies deltas kanāla aizpildīšanās beigu stadijā, kas noslēgusies ar subareālo atsegšanos, par ko liecina mālos sastopamie dolokrēti (Lukševičs, Stinkulis 2018).



1.5. attēls. Burtnieku un Gaujas laikposmu sedimentācijas baseinu paleogeogrāfiskā karte (Куршс 1992)

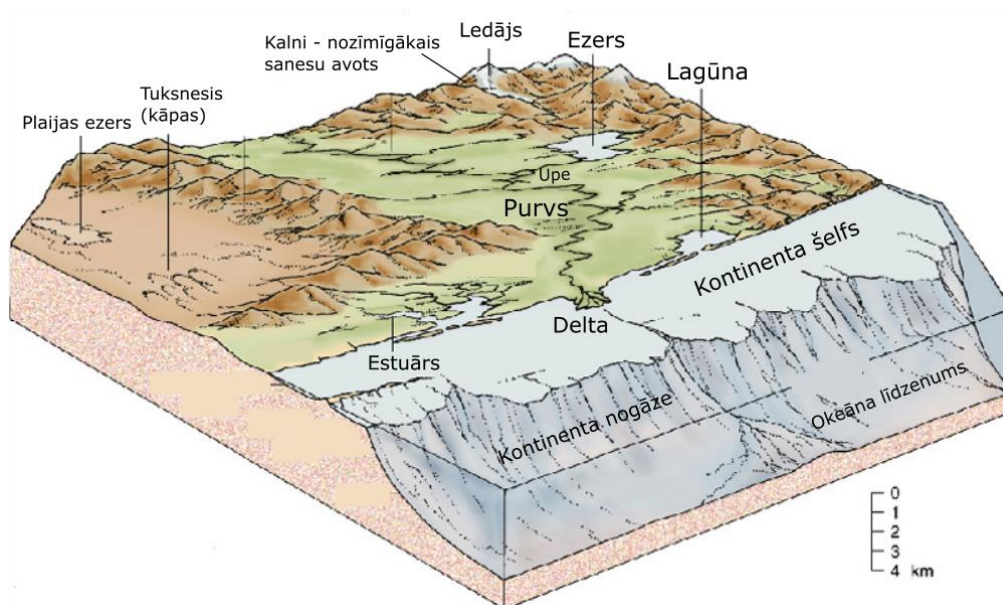
Burtnieku laikposmā sedimentācijas baseinu galvenokārt apdzīvoja zivis no kurām par galvenajām vafosilijām tiek uzskatītas *Pycnosteus tuberculatus* un *Asterolepis dellei*. Šīs svītas zivju atliekām ir maz kopīga ar Arukilas svītas fosilijām, līdz ar to ir iespējams pārlicinoši novilkt Burtnieku svītas apakšējo robežu. Bezmugurkaulnieku atliekas šajos nogulumos ir reti sastopamas, jo apstākļi, kur baseinā pastāvīgi pieplūda drupu materiāls, nebija labvēlīgi šādiem organismiem, taču to starpā ir atrastas brahiopodu (*Rhynchonellida* kodols) un gliemeņvēžu (*Ostracoda* kodols) atliekas (Brangulis u.c. 1998).

Burtnieku svītas nogulumu ir izmantojami arī praktiskos nolūkos. Mālus iespējams izmantot ķieģeļu un drenu cauruļu ražošanai, taču to kvalitāti samazina cietie karbonātiskie ieslēgumi (Brangulis u.c. 1998), kas izraisa materiāla plīšanu apdedzināšanas procesā (Bērziņš 1959). Burtnieku svītas nogulumieži arī ietilpst vienotajā Arukilas-Amatas pazemes ūdeņu horizontā, ko izmanto ūdensapgādē daudzās pilsētās Latvijā (Dēliņa, Klints 2012).

### 1.3. Nogulumiežu veidošanās apstākļi deltās, estuāros un seklu jūru piekrastēs

#### 1.3.1. Deltu apstākļi

Delta ir kontaktzona starp upi un jūru (1.6. attēls), tāpēc tā apvieno un veido pāreju no fluviāliem un marīniem apstākļiem, nosakot daudzveidīgu un specifisku sedimentācijas vidi (Nichols 1999). Deltu līdzenumi ir plašas, relatīvi zemas teritorijas un tajās atrodas gan aktīvas, gan neaktīvas upes attekas jeb kanāli. Lielākoties novērojamas deltas ar vienu kanālu, taču sastopamas arī tādas, kurām šie kanāli ir vairāki. Starp kanāliem iespējami ezeru, līču, purvu un periodiski applūstošu līdzenumu veidojumi (Bhattacharya 2006).

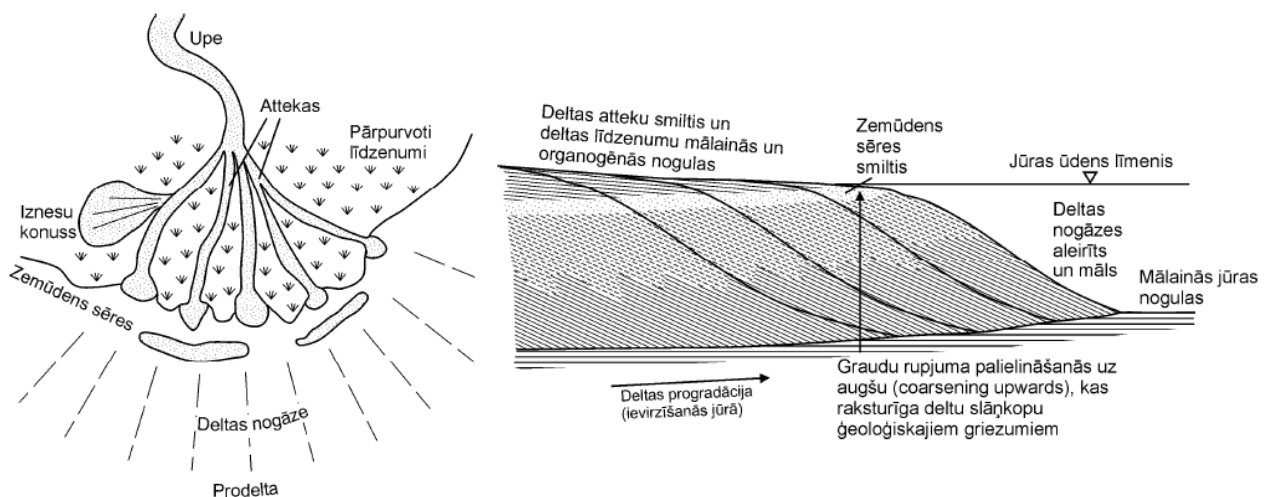


1.6. attēls. Sedimentācijas apstākļu daudzveidība (Okeke 2015, latviskojusi autore)

Deltās nodala vairākas daļas ar atšķirīgiem sedimentācijas apstākļiem (1.7. attēls):

- **attekas (kanāli)**, kur uzkrājas visrupjākais materiāls (parasti smiltis);
- **kanālus atdalošie periodiski applūstošie līdzenumi** - karstos, mitros klimatiskos apstākļos un tropiskajos reģionos šeit bieži attīstās purvi, kur uzkrājas kūdra. Ja plūdi norisinās regulāri, līdzenumos uzkrāsies karbonātiski māli bez veģetācijas;
- **iznesu konusi**, kas veidojas plūdu laikā, pa kanālu tekošajai straumei izgraužoties caur piegultnes valni. Šeit lielākoties uzkrājas smiltis;

- **liči**, kas veidojas applūstošajos reģionos starp deltu kanāliem, kur novērojams mazs materiāla pieplūdums. Ja ir pietiekama saldūdens pieplūde no deltas kanāliem, tad ūdenim iespējams pazemināts sāļums;
- **zemūdens sēres**, kas mēdz veidoties uzreiz aiz kanālu grīvām. Pa deltas kanālu tekošās straumes ātrums strauji samazinās, ūdenim ieplūstot jūrā, tādēļ grīvu sērēs tiek nogulsnēts liels daudzums upes nestā drupu materiāla;
- **deltas nogāze** ar dažādu slīpumu (lielākoties 1-2°), kas seko tālāk uz jūras pusi. Rupjgraudainu nogulu deltām šis slīpums var būt arī lielāks. Uz deltas nogāzes izgulsnētā materiāla graudu izmēri pakāpeniski samazinās no nogāzes augšas uz leju, tātad šeit vērojama regresīva griezumam uzbūve. Šāda nogulumu uzkrāšanās notiek, jo tālāk no krasta, palielinoties dziļumam, ir mazāk jūtama viļņu ietekme, un kopumā hidrodinamiskie apstākļi paliek mierīgāki;
- **prodelta** jeb deltas pakāje, kur sastopamas smalkākās deltas nogulumu daļiņas (lielākoties mālainas un aleirītiskas), jo šeit ūdens dziļums deltā ir vislielākais, tātad arī hidrodinamiskais režīms ir vismierīgākais. Šeit nogulumus neietekmē viļņu un plūdmaiņu procesi. Deltās, kas attīstās seklos baseinos, prodelta var arī neeksistēt;
- tālāk jūras virzienā deltas nogulumus nomaina **marīnie nogulumi**, kas parasti ir smalkgraudaina smiltis līdz mālainas vai mālaini karbonātiskas nogulas (Nichols 1999).



1.7. attēls. Shematizēta deltu uzbūve (pa kreisi) un tām raksturīgā cikliskuma veidošanās (pa labi) (Ģ. Stinkulis pēc G. Nichols (1999) datiem)

Deltām piemīt raksturīgas pazīmes pēc kā tās iespējams atšķirt no citiem veidojumiem. Viena no tām ir graudu izmēru palielināšanās no apakšas uz augšu (1.7. attēls) – prodeltas nogulumus pārsedz deltas nogāzes nedaudz rupjgraudaināki nogulumi, tiem uzguļ grīvas zemūdens sēres smiltis, kuras griezumā uz augšu pārsedz vēl rupjgraudainākas deltas kanālu nogulas. Pašā deltu veidojumu pamatnē bieži sastopami marīnie jeb jūras nogulumi. Deltu griezumos var sastapt gan marīno, gan saldūdens organismu atliekas (Nichols 1999).

Cita raksturīga deltu pazīme ir noslīdeņu procesi un to veidojumi uz slīpajām un nestabilajām deltas nogāzēm. Noslīdeņu procesi un to izraisītās deformācijas skar gan prodeltu, gan deltas nogāzi. Tos var izraisīt:

- ļoti liels sedimentācijas ātrums deltas nogāzē, kas neļauj poru ūdeņiem izkļūt laukā no nogulām, tādēļ tās līdz galam nenoblīvējas un kļūst nestabilas;
- organiskās vielas biodegradācija, kas rada brīvo metāna gāzi, kura samazina nogulu saistīgumu;
- vētru viļņi, kas satricina uzkrātos nogulumus (Bhattacharya 2006).

Kā iepriekš minēts, deltas nogāzes slīpums var arī pārsniegt 1-2°, ja šeit esošie nogulumi ir rupjāki. Kā piemēru var minēt Džilberta tipa deltas, ko, 1885. gadā Bonevila ezerā, Ziemeļamerikā, atklāja un aprakstīja G. K. Džilberts. Šīs deltas nogāzes slīpumā sasniedz dabīgo nobiru leņķi - 30°. Tik stāvas nogāzes veidojas, ja spēcīga upes straume, kas nes rupjgraudainu materiālu, ieplūst salīdzinoši dziļā jūrā vai citā baseinā. Ģeoloģiskajā griezumā šī tipa deltas var atpazīt pēc stāvi krītoša, desmitiem līdz simtiem metru bieza slāņojuma, kas atgādina milzu slīpslāņojumu (Nichols 1999).

Latvijas teritorijā seno deltu nogulumi un to veidojumi atrodami devona Burtnieku un Gaujas svītu slāņkopās. Visvairāk pētīti ir Sietiņu un Lodes svītu deltu veidojumi, kas izplatīti Latvijas ZA (Bāles, Liepas karjeri, Sietiņezis, Baltā klints u.c.). Deltu nogulumiem, iespējams, atbilst arī daļa juras perioda smilšu (Brangulis u.c. 1998). Kā visplašāk pētīto devona deltu veidojumu piemēru Latvijas teritorijā var minēt Liepas māla karjeru, kurā novērotas vairāk kā 100 m platas un desmitiem metru dziļas noslīdeņu depresijas, kuras aizpilda ļoti trekni, pelēki māli. Tās veidojušās vidusdevona Gaujas laikposma deltu zonā, kura no ziemeļiem apņēma seklūdens baseinu (Куршс 1992).

## Deltu klasifikācija

Pēc 1975. gadā izstrādātās Galoveja klasifikācijas, deltas iedala trīs grupās:

- deltas ar fluviālu ietekmi;
- deltas ar viļņu ietekmi;
- deltas ar plūdmaiņu ietekmi (Nichols 1999).

Galvenā atšķirība starp šīm deltu grupām ir to fāciju izvietojums, taču visos gadījumos deltu griezumā graudu izmēri pieaug no apakšas uz augšu. Faktori, kas ietekmē deltu formas un īpašības arī tiek klasificēti:

- iekšzemes faktori - upes plūsmas ātrums, nestais materiāls, klimats, upes gradients;
- baseina faktori – viļņu stiprums un orientācija, plūdmaiņas, nogāzes leņķis un dziļums (Nichols 1999).

**Deltas ar fluviālu ietekmi** ir tādas, kurās dominē upes straumju darbība. Šeit viļņu un plūdmaiņu ietekme ir minimāla, un deltas procesus kontrolē upe. Vietās, kur upe ieplūst jūrā vai ezerā raksturīgi dambjveidīgi zemūdens veidojumi (grīvas sēres). Tur, straumes ātruma straujās pazemināšanās dēļ, nogulsņējas lielākā daļa upes nestā materiāla (Bhattacharya 2006). Ja upei raksturīgs zems krituma gradients, tad upes kanāls var sadalīties vairākos mazākos kanālos (Nichols 1999).

**Deltām ar viļņu ietekmi**, kurās dominē viļņu darbība, raksturīgs labāk šķirotis materiāls nekā deltām ar fluviālo ietekmi. Šo deltu gultnēs novērojami savdabīgi smilšu sēkļu veidojumi, kas veidojušies no upes atnestā materiāla, kas nav ticis transportēts viļņu darbības rezultātā (Nichols 1999).

**Deltas ar plūdmaiņu ietekmi**, kurās dominē plūdmaiņu darbība, var atšķirt pēc gradācijas slāņojuma, māla kārtiņām uz slīpajiem slānīšiem, reaktivācijas virsmu tekstūrām un “siļķes asakas” slīpslāņojuma un citām paisuma un bēguma ciklisko procesu darbības pazīmēm (1.9. attēls). Māla kārtiņas smilšainajos nogulumos nogulsņējas gan maksimālajā paisumā, gan minimālajā bēgumā, kad ūdens deltu zonā ir bijis mierīgs (Nichols 1999).

### 1.3.2. Estuāru apstākļi

Estuārs ir upes grīva, kurā upju saldūdeņi sajaucas ar jūras sāļajiem ūdeņiem (1.6. attēls). Līdz ar to šajos veidojumos var novērot fluviālo un marīno procesu mijiedarbību (Nichols 1999) un šeit pastāv lielāka bioloģiskā produktivitāte nekā blakus esošajā jūrā un upē. Atšķirībā no deltām, estuāri veidojas jūras transgresijas apstākļos, applūstot upes grīvai. Estuāra eksistence lielā mērā atkarīga no jūras līmeņa svārstībām. Ja jūras līmenis pazeminās, tad estuāra zona migrē jūras virzienā līdz vietai, kur atrodas jaunā krasta līnija. Iepriekš notikušo leduslaikmetu un rezultējošo ūdens līmeņa svārstību dēļ šāda estuāru zonu migrācija notikusi vairākkārtīgi. Pēc pēdējā leduslaikmeta beigās notikušās ūdens līmeņa celšanās, estuāru zonas migrēja sauszemes virzienā. Leduslaikmetā esošā ūdens līmeņa pazeminājuma dēļ daudzas upes iegrauzās dziļāk, padziļinot savas ielejas, bet paceļoties ūdens līmenim, tās tika appludinātas un veidojās estuāri. Šī iemesla dēļ mūsdienās daudzas upju grīvas tiek uzskatītas par estuāriem (Wolanski 2007). Tāpēc, ka tās ir pilnībā applūdušas, plūdmaiņu procesi iedarbojas uz šīm upju grīvām, pie tam fluviālo procesu ietekmes zona daļēji pārklājas ar viļņu ietekmes zonu. Teritorijās, kur plūdmaiņas nav tik izteiktas, estuāru apkārtnē ir salīdzinoši stabila krasta līnija un estuāros iespējams nošķirt fluviālās un viļņu jeb marīnās ietekmes areālus (Nichols 1999).

Estuāriem ir raksturīga trīskārša zonāla uzbūve:

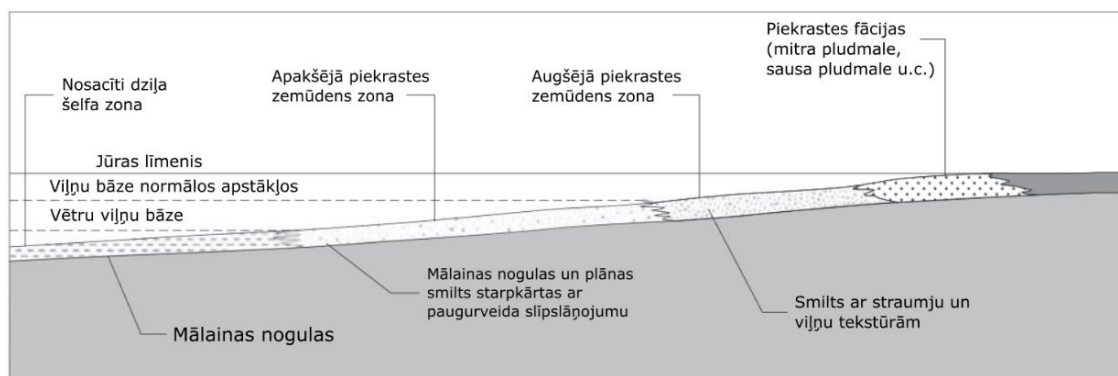
- **Ārējā zona**, kur dominē marīnie procesi (viļņi, plūdmaiņas) un nogulumu tiek piegādāti no jūras;
- **Centrālajā zonā**, kas ir salīdzinoši mierīga, marīnie procesi (lielākoties plūdmaiņas) sajaucas ar upju plūsmām. Šeit parasti satopami smalkgraudaini smilšaini nogulumu;
- **Iekšējā zonā** dominē upju darbība, taču pastāv arī neliela marīno procesu ietekme. Šeit pastāv aktīvs hidrodinamiskais režīms un sanešu plūsma virzās uz jūras pusi (Dalrymple et al. 1992).

### 1.3.3. Seklu jūru piekrastes apstākļi

Kā iepriekš minēts, Latvijas teritorija devona periodā atradās Baltijas devona baseinā, kas pēc vairāku autoru viedokļa bija sekla epikontinentāla jūra (Куринс 1992; Brangulis u.c. 1998), tādēļ šajā apakšnodaļā tiks apskatīti seklu jūru piekrastes sedimentācijas vides apstākļi. Seklu jūru piekrastēs sedimentāciju galvenokārt regulē viļņu un plūdmaiņu darbība, un ir raksturīga materiāla šķirošanās pēc graudu izmēriem jeb gradācijas slāņojums (Boggs 2012).

Pie krasta raksturīgs visaktīvākais hidrodinamiskais režīms, tātad šeit ir spēcīgākā viļņu un straumju darbība, kas nosaka to, ka šajā zonā uzkrāsies rupjgraudainākais materiāls – oļi, grants un smilts. Dziļāk jūrā hidrodinamiskais režīms kļūst mierīgāks un uzkrājas tādi nogulumi kā smilts un aleirīts. Savukārt, vietās, kur ūdens dziļums sasniedz vismaz 50 m, parasti pat vētru laikā nav jūtama viļņu un straumju darbība un tur uzkrājas mālaines daļiņas. Taču ne vienmēr nogulumu granulometriskais sastāvs konkrētajā zonā ir pilnībā atkarīgs no ūdens dziļuma. Galvenais faktors ir viļņu un straumju darbība, kas, piemēram, seklos ūdeņos var būt ļoti vāja, radot mierīgus hidrodinamiskos apstākļus, līdz ar to arī šeit var uzkrāties pat mālaines nogulas. Pēc reljefa un tā veidošanās apstākļiem jūru piekrastēs izšķir šādas zonas (1.8. attēls):

- **Piekrastes fācijas** (pludmale), kur uzkrājas visrupjākais materiāls;
- **Augšējā piekrastes zemūdens zona**, kur uzkrājas smilts ar straumju un viļņu ripsnojuma tekstūrām;
- **Apakšējā piekrastes zemūdens zona**, kur uzkrājas mālaines nogulas un plānas smilts starpkārtas ar gradācijas slāņojumu un paugurveida slīpslāņojumu (vētru slāņi);
- **Nosacīti dziļa šelfa zona**, kur uzkrājas mālaines nogulas (Nichols 1999).



1.8. attēls. Kontinenta šelfa ar viļņu dominanci zonas, tām raksturīgās nogulas un tekstūras (Nichols 1999, latviskojusi autore)

**Klastiskā sedimentācija piekrastē un nelielā dziļumā ar viļņu ietekmi.** Ja plūdmaiņu amplitūda ir pietiekami neliela, tad viļņošanās ir galvenais sedimentāciju ietekmējošais faktors. Mūsdienās šāda sedimentācija norisinās Baltijas jūrā, jo šeit plūdmaiņu ietekme praktiski nav jūtama. Viļņošanās ietekmi var novērot arī ģeoloģiskajā griezumā, kur viļņi atstājuši dažādas gultnes reljefa formas. Labi atpazīstami ir, piemēram, pludmales veidojumi ar viļņu ietekmi – lēzens (daži grādi), divos virzienos orientēts slāņojums; drupu materiāls ir ļoti labi šķirots un graudi ir noapaļoti; smilts graudiņiem raksturīgas “v” veida triecienu pēdas. Dziļāk jūrā ir novērojams viļņu ripsnojums. Savukārt dziļumā, kur ūdens dziļums jau sasniedz vētru viļņu bāzi (1.8. attēls), viļņu darbība sedimentāciju vairs neietekmē un šajā mierīgajā hidrodinamiskajā režīmā nogulsņējas aleirīts un māls (Nichols 1999).

**Klastiskā sedimentācija piekrastē un nelielā dziļumā ar plūdmaiņu ietekmi.** Pastāv baseini, kuros paisuma-bēguma amplitūdas ir pietiekami lielas, lai šie procesi dominētu pār viļņu ietekmi uz sedimentāciju. Šādi plūdmaiņu procesi rada spēcīgas straumes, kas pārvieto nogulas un iznīcina viļņu veidotās gultnes reljefa formas, radot jaunas, plūdmaiņu procesiem raksturīgas reljefa formas. Pie šādiem veidojumiem pieskaitāmi (1.9. attēls): “siļķes asakas” slīpslāņojums, māla un vizlas kārtiņas uz slīpo slānīšu virsmām, reaktivācijas virsmas, žūšanas plaisu un sebhu veidojumu cikliska atkārtošāns griezumā uc. (Nichols 1999; Tovmasjana 2013).

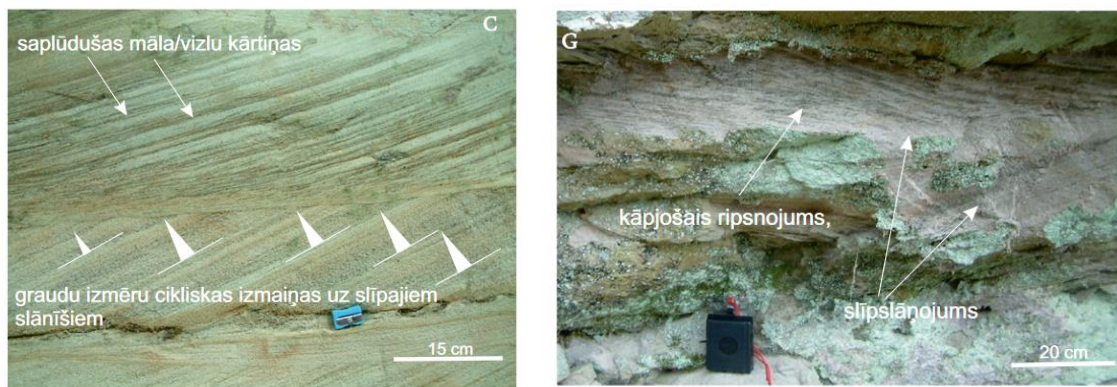
#### 1.4. Plūdmaiņu ietekme uz nogulumu veidošanās apstākļiem

Plūdmaiņas ir jūras līmeņa paaugstināšanās un pazemināšanās, Zemes, Mēness un Saules kustību un to savstarpējo pievilkšanās spēku dēļ. Visvairāk plūdmaiņas ietekmē tieši Zemes un Mēness savstarpējie pievilkšanās spēki. Plūdmaiņas lielākoties rodas atklātos okeānos, taču to efektu var novērot arī pavisam netālu no krasta. Tās izraisa paisuma un bēguma straumes, kad paisuma laikā notiek jūras līmeņa paaugstināšanās, taču bēguma laikā – pazemināšanās (Reddy, Affholder 2002). Šādi paisuma-bēguma plūdmaiņu cikli lielākoties uz Zemes notiek katru dienu divas reizes, tātad divi paisumi un divi bēgumi. Ir arī teritorijas, kur notiek tikai viens plūdmaiņu cikls diennaktī, un teritorijas, kur novērojams jaukts plūdmaiņu režīms (reizēm viens cikls, reizēm divi cikli diennaktī). Starpību starp paisuma un bēguma ūdens līmeni sauc par plūdmaiņu amplitūdu. Jo tā ir lielāka, jo spēcīgākas ir paisuma un bēguma straumes, rezultātā tās atstāj lielāku ietekmi uz nogulumiem un gultnes reljefa formām. Ir teritorijas, kur šī amplitūda ir tik minimāla, ka plūdmaiņu procesi gandrīz nav jūtami. Piemēram, Rīgas līcī plūdmaiņas praktiski netiek novērotas, Baltijas jūrā plūdmaiņu amplitūda ir mērāma centimetros, taču atklātā okeānā tā ir ap 0,5-1 m. Lielas plūdmaiņu amplitūdas novērojamas šauros līčos un estuāros, piemēram, rekords pieder Fandi līcim Atlantijas okeāna piekrastē pie Kanādas, kur plūdmaiņu amplitūda ir 15 – 20 m (Nichols 1999).

Plūdmaiņu ietekmi uz sedimentāciju var novērot pēc to radītajām gultnes reljefa formām un to tekstūrām. 1.3. nodaļā tika aprakstīti sedimentācijas apstākļi deltās, estuāros un seklu jūru piekrastēs. Ja plūdmaiņu straumes ir pietiekami spēcīgas, tad tās var kalpot par galveno nogulu transportu un uzkrāšanos regulējošo faktoru šajās teritorijās. Plūdmaiņu ietekmi uz sedimentāciju varam atšķirt pēc šādām struktūrām:

- **Gradācijas slāņojums** (1.9. attēls) – uz slīpajiem slāņiem virzienā uz augšu samazinās drupu materiāla daļiņu izmēri;
- **Māla kārtiņas uz slīpo slāņņu virsmām** (1.9. attēls) – veidojas augsta vai zema, mierīga ūdens periodos, maksimālā paisuma vai bēguma laikā. Kad atkal parādās straume, māla daļiņas, to saistīguma dēļ, vairs nav iespējams aizskalot tālāk;
- **Reaktivācijas virsmu tekstūras** – ja viena virziena straume ir spēcīgāka nekā otra, tad gultnes reljefa formu orientācija būs vienā virzienā. Pretēji plūstošo straumju dēļ, kas erodē katras šīs formas augšdaļu, rodas izskalojuma jeb reaktivācijas virsmas virs kurām uzkrājas jauni nogulumi;

- **“Silķes asakas” slīpslāņojums** – divos pretējos virzienos orientēts slīpslāņojums, kas veidojas drupu materiālam izgulsnējoties no pretējos virzienos plūstošajām paisuma bēguma straumēm vai fluviālajām un paisuma straumēm;
- **Žūšanas plaisas** – raksturīgas vietās, kur jūras krasts ir lēzens. Šeit veidojas plaši plūdmaiņu līdzenumi, kuri paisuma laikā applūst, bet bēguma laikā ir sausi, radot periodisku žūšanu. Par plūdmaiņu pazīmi var uzskatīt žūšanas plaisu veidojumu ciklisku atkārtošanos griezumā;
- **Sebhas** – periodiski applūstošas lēzenas teritorijas, kas veidojas arīda klimata apstākļos plūdmaiņu līdzenumos. Šeit uzkrājas klastiski, karbonātiski nogulumieži un evaporīti (Nichols 1999).



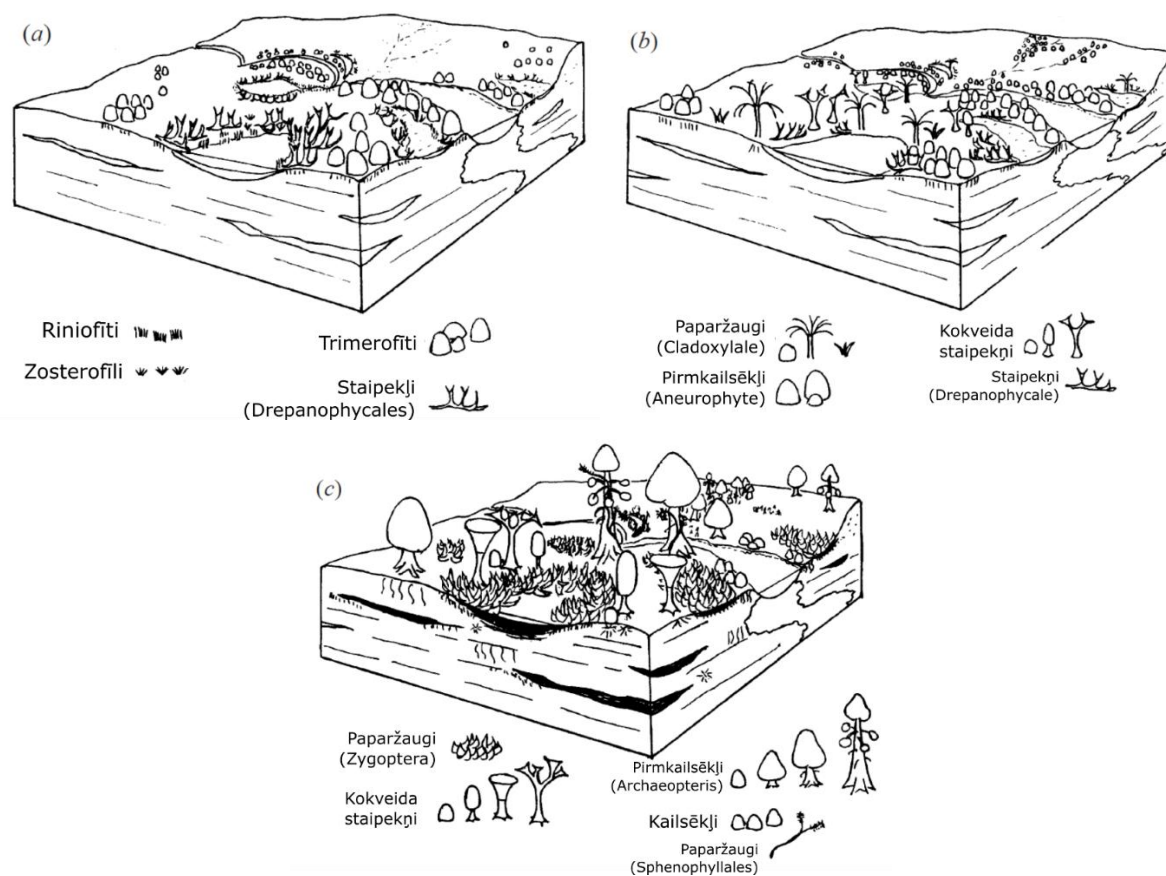
1.9. attēls. Plūdmaiņu procesiem raksturīgas tekstūras, kas saglabājas nogulumiežu slāņos (Tovmasjana 2013)

## 1.5. Augu un to sakņu sistēmu attīstība devonā

Saistībā ar auga saknes struktūras konstatāciju Zivtiņu klinšu dienvidu daļā, kas ietilpst bakalaura darba pētījumu objektos, šajā darbā apskatītas augu un to sakņu attīstības īpatnības devonā. Šajā periodā norisinājās nozīmīgas izmaiņas sauszemes un marīnajā biosfērā. Palielinājās sauszemes augu izmēri un to izplatība, tie evolucionēja līdz vairāku metru augstiem kokiem ar dziļām sakņu sistēmām. Šo sauszemes augu evolūcijas dēļ samazinājās CO<sub>2</sub> daudzums atmosfērā, ko absorbēja augi (Morris et al. 2015) un patērēja arī Zemes garozas virsējās daļas veidojumi dēdēšanas procesos (Le Hir et al, 2011). Tas noveda pie globālas temperatūras pazemināšanās un rezultātā arī neliela leduslaikmeta vēlajā devonā. Augu valsts attīstības ietekmē pastiprinājās ķīmiskā dēdēšana, palielinājās augsnes izplatība un biežums, kā arī tika ietekmēts Zemes klimats un hidroloģiskais cikls. Koku un to mežu attīstības un izplatības rezultātā pazeminājās albedo līmenis un ūdens notecē, kā arī samazinājās nogulumu uzkrāšanās ātrums, jo saknes nostabilizēja grunts virsējo daļu (Algeo, Scheckler 1998).

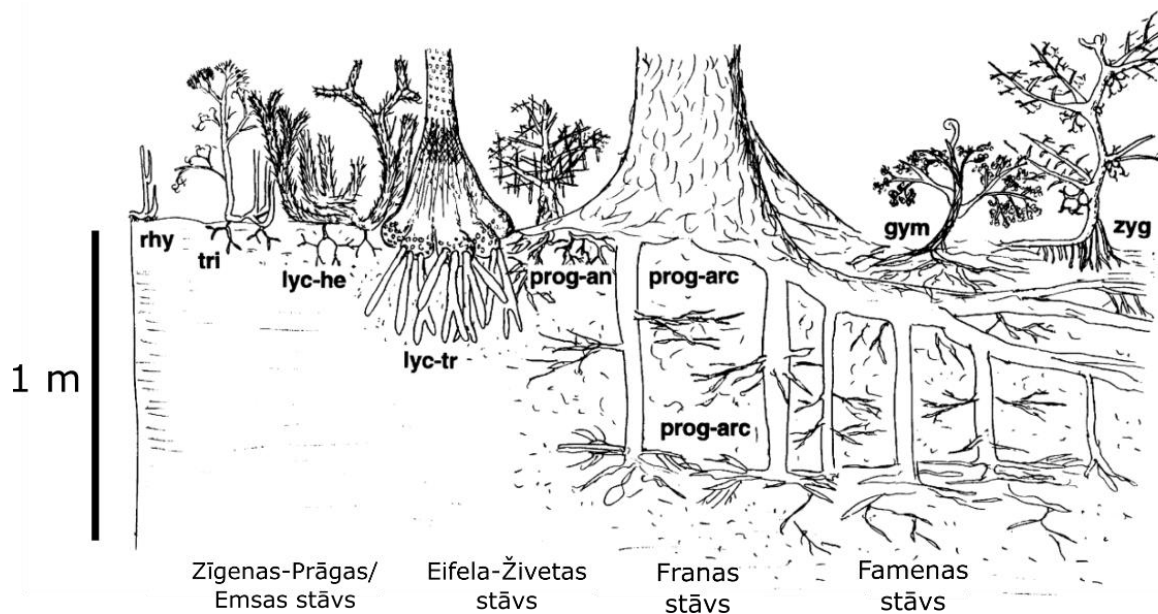
Pirmie sauszemes augi parādījās ordovikā, pirms aptuveni 470 miljoniem gadu (Le Hir et al, 2011), taču tie bija ļoti sīki un nebija vaskulāri. Vaskulārie augi savukārt sāka parādīties un izplatīties laikposmā no vēlā silūra līdz agrajam devonam (Morris et al., 2015). To pirmatnējās formas bija mazas (<1 m augstumā), bez saknēm vai ar īsu sakņu sistēmām un mitrumu mīlošas – apdzīvoja mitrājus un upes krastus (1.10. (a) attēls), mazos augstumos virs jūras līmeņa (Algeo, Scheckler 1998). Le Hir et al. (2011) šos augus pielīdzina mūsdienu tundru un pļavu biotopiem – nelieli krūmāji līdz 50 cm augstumā (Le Hir et al. 2011). Vidējā devonā turpinājās to attīstība līdz kokveidīgai veģetācijai ar garākām sakņu sistēmām (1.10. (b) attēls). Šie augi jau sāka veidot nelielus mežus un lēnām sāka pārvietoties arī uz augstāk izvietotiem apgabaliem ar sausāku klimatu (Algeo, Scheckler 1998). Augi, kas nu jau varēja sasniegt pat 5 m augstumā, veidoja mūžzaļus adatveida lapkoku mežus. Kopumā šajā laikposmā pusi no sauszemes aizņēma mūžzaļie meži, 25% pļavas un pārējos 25% neauglīga zeme (Le Hir et al. 2011). Žīvetas laikmetā sauszemes augi jau bija evolucionējuši līdz kokveidīgiem krūmājiem un vidēja izmēra kokiem (piemēram, paparžaugi *Cladoxylalean*, staipekņi *Lepidosigillarioid*, pirmkailsēkļi *Aneurophyt* un *Archaeopterid*), un dažas no šo koku sugām vēlajā devonā jau sasniedza pat 30 m augstumā un 1,5 m diametrā. Vēlajā devonā jau parādījās pirmie augi, kas ražoja sēklas un spēja pielāgoties daudz sausākiem, kā arī aukstākiem apstākļiem (1.10. (c) attēls) (Algeo, Scheckler 1998). Koki, kam bija lielas lapotnes, dziļas sakņu sistēmas un kas varēja sasniegt pat 40 m augstumā veidoja blīvus, ēnainus mežus. Le

Hir u.c. šos mežus pielīdzina mūsdienu tropiskajiem mežiem un uzskata, ka 75% sauszemes teritorijas apdzīvoja augi un 25% sauszemes klāja tukšneši (Le Hir et al. 2011).



1.10. attēls. Paleobotāniskā un paleoekoloģiskā rekonstrukcija (a) agrā devona, (b) vidējā devona un (c) vēlā devona palieņu apstākļiem (Algeo, Scheckler 1998, latviskojusi autore)

Augu sakņu sistēmas parādījās agrajā devonā un šīs saknes bija īsas un zarotas (1.11. attēls), kam par iemeslu kalpoja limitēta ūdens pieejamība augsnē (Le Hir et al. 2011). Savukārt pirmās lielās sakņu sistēmas varēja novērot laikposmā no vidējā līdz vēlajam devonam – tad saknes iesniedzās augsnē līdz 20 cm dziļumam. Vēlajā devonā - Franas un Famenas laikmetā - tās evolucionēja līdz sasniedza 80-100 cm dziļumu (Algeo, Scheckler 1998). Šīs sakņu sistēmas ievērojami pastiprināja Zemes garozas virsējās daļas iežu dēdēšanu. Sakņu atstātās pēdas mūsdienās novērojamas kā rizokrēti – sakņu atstāti tukšumi, kas aizpildās ar nogulumiem vai to vietā izveidojas karbonātu vai citu minerālu konkrēcijas (Morris et al. 2015).



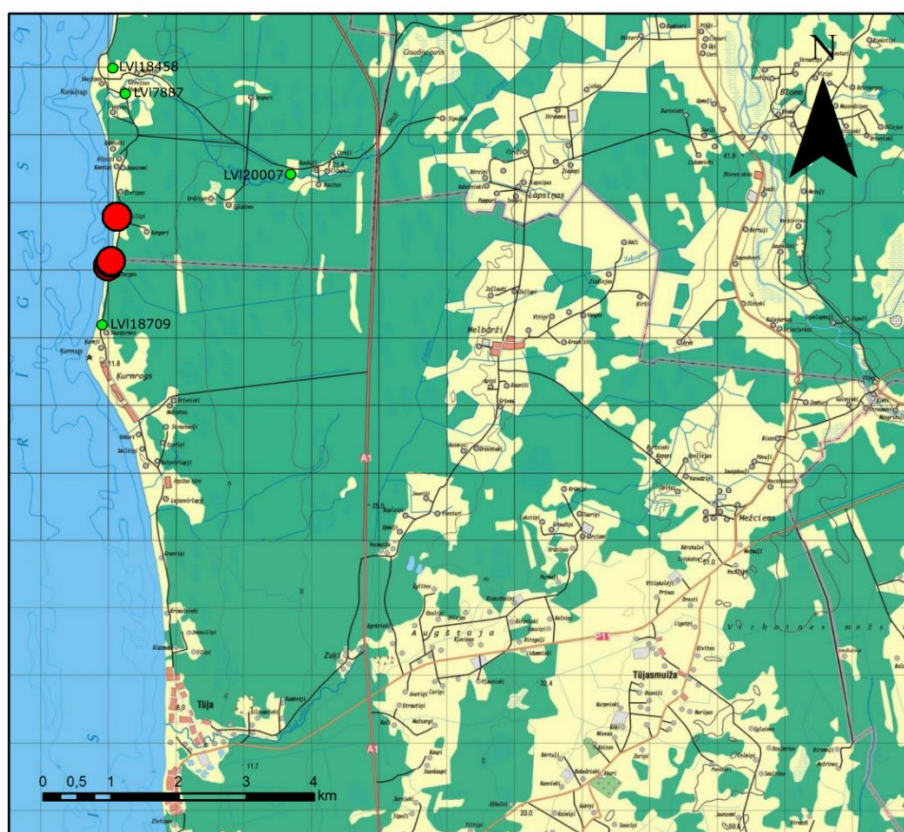
1.11. attēls. Sakņu sistēmu relatīvie izmēri, morfoloģija un iesakņošanās dziļumi agrajā līdz vēlajā devonā (Algeo, Schenker 1998, laviskojusti autore). Apzīmējumi: gym – agrie kailsēkļi, lyc-he – agrie krūmveida staipekņi, lyc-tr – agrie kokveida staipekņi, prog-an – pirmkailsēkļi *Aneurophyte*, prog-arc – pirmkailsēkļi *Archaeopteris*, rhy – riniofīti, tri – trimerofīti, zyg – paparžaugi *Zygoptera*.

Sākotnēji devonā sauszemes augi bija spējīgi adaptēties tikai mitros sauszemes apstākļos, zemās teritorijās un ūdenstilpju tuvumā, piemēram, deltās un palienēs. Taču ar laiku šie augi evolucionēja, līdz vēlajā devonā parādījās pirmie sēklaugi, kas varēja pielāgoties dažādākiem, tai skaitā, arī sausākiem, apstākļiem. Senākās atrastās augu sēklas atbilst Famenas stāvam – *Moresnetia zalesskyi*, *Dorinnotheca streelii*, un *Elkinsia polymorpha* (Algeo, Scheckler 1998).

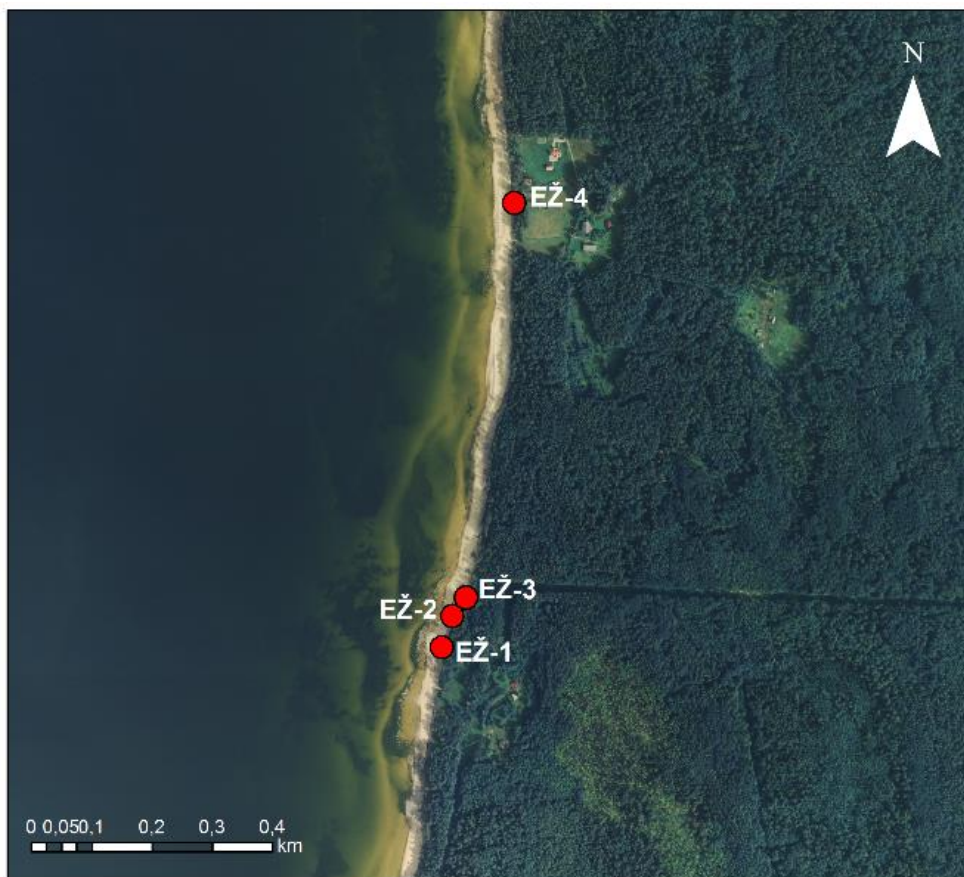
## 2. PĒTĀMĀS TERITORIJAS RAKSTUROJUMS

Vidējā devona Burtnieku svītas nogulumu atsedzas 13 km garā posmā Rīgas līča austrumu krastā no Tūjas līdz Vitrupei. Šeit atsegumi veido vairākas joslas, kuras atdala kvartāra nogulumu atsegumu joslas, noslīdeņu veidojumi vai aizauguši posmi. Bakalaura darba ietvaros tiek pētīta viena no šīm Burtnieku svītas atsegumu joslām - Ežurgu klintis – kā arī neliela daļa no Zivtiņu klinšu dienvidu posma.

Pētāmā teritorija atrodas Piejūras zemienē, Vidzemes piekrastē, Salacgrīvas novadā, Liepupes pagastā, 7 km uz ziemeļiem no Tūjas un 2 km attālumā uz dienvidiem no Veczemju klintīm, blakus mājām ar nosaukumu “Ežurgas” (2.1. un 2.2. attēls). Ežurgu klintīm ir piemērots dabas lieguma statuss un tās ir sarkanu smilšakmeņu un raibu mālainu, aleirītisku nogulumu atsegumi. Klinšu ziemeļu daļā ar ūdenskritumu jūrā ietek Ežurga. Uz ziemeļiem no upes ietekas, klintis ir aptuveni 10 m platas, taču uz dienvidiem no Ežurgas tās kļūst reljefainas, ar nišām un kolonnām (LIAA 2016).



2.1. attēls. Pētīto atsegumu (sarkanie punkti), kā arī korelācijā izmantoto urbumu (zaļie punkti) atrašanās vietas. Kartes sagatavošanā izmantota: TOPO 50K Satelītkarte (Valsts zemes dienesta...2000)



2.2. attēls. Pētīto atsegumu atrašanās vietas (sarkanie punkti). Kartes sagatavošanā izmantota: Piejūras ortofoto (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013)

Zivtiņu klintis, kuru dienvidu daļā pētīts viens atsegums (EŽ-4) ar tajā esošajām izteiktajām sakņu struktūrām, atrodas starp Ežurgu un Kurliņupi, Salacgrīvas lauku teritorijā, aptuveni 800 m uz ziemeļiem no Ežurgu klintīm (2.1. un 2.2. attēls). Zivtiņu klintīs atsedzas balti un sarkani smilšakmeņi, kuros bieži sastopamas alas (LIAA 2016).

### 3. MATERIĀLI UN METODEDES

Bakalaura darba gaitā veiktos darbus var apkopot šādās grupās:

- Literatūras apguve, apkopošana un analīze;
- Lauka darbi;
- Laboratorijas darbi;
- Datu apstrāde, analīze un interpretācija.

#### 3.1. Literatūras apskate, apkopošana un analīze

Teorētiskās daļas aprakstīšanai bakalaura darbā tika izmantoti dažādi literatūras avoti, kā arī informācija no elektroniskajiem resursiem. Vidusdevona baseinu sedimentācijas apstākļu un Burtnieku svītas detalizētākai aprakstīšanai galvenokārt tika analizēti V. Kurša (1992), A. Branguļa u.c. (1998), Ģ. Stinkuļa (1998, 1999, 2018), D. Kreišmanes (2014) un E. Lukševiča un līdzautoru (2012, 2018) darbi. Informācija par sedimentācijas apstākļiem deltās, estuāros un seklu jūru piekrastēs tika meklēta galvenokārt Nikolsa (1999) darbā, taču izmantoti arī citi literatūras avoti. Savukārt teorētiskie materiāli par augu un to sakņu sistēmu attīstību vidusdevonā apkopoti no publikācijām, kuru autori ir Moriss u.c. (2015), Algeo un Šeklers (1998) un Le Hirs u.c. (2011).

#### 3.2. Lauka darbi

Lauka darbi tika veikti 2018. gada 27. februārī un 24. aprīlī. To gaitā tika apsekotas Ežurgu klintis un to savienojuma vieta ar Zivitiņu klintīm ziemeļos. Tika veikta 23 smilšakmens paraugu ievākšana, atsegumu fotodokumentācija, GPS datu fiksācija, 4 ģeoloģisko griezumu sagatavošana un 41 slīpslāņojuma un slāņojuma virsmu mērījumi.

Ģeoloģiskie griezumī - EŽ-1, EŽ-2, EŽ-3, EŽ-4 - tika zīmēti lauka grāmatiņā uz rūtiņu papīra. Ar mērlenti tika mērīti katra slāņa un slīpslāņojuma sērijas biežumi un ar taustes un vizuālu novērojumu palīdzību identificēti to aptuvenais granulometriskais sastāvs, kas vēlāk tiek precizēti un noteikti laboratorijas darbos. Uz vertikālās ass tika atlikts griezuma vertikālais mērogs (M 1:10), kur tika atzīmēti katra slāņa un slīpslāņojuma sēriju biežumi, un uz horizontālās ass – drupu materiāla daļiņu izmēri (no māla līdz oļiem). Griezumos tika atzīmētas arī katra slāņa tekstūras, ieslēgumi un citas pazīmes, kas varētu liecināt par nogulumu veidošanās apstākļiem, kā arī paraugošanas vietas. Pēc tam tika veikta katra atseguma un atsegumu joslas (no Ežurgu klintīm līdz Zivtiņu klinšu dienvidu daļai) fotodokumentācija.

Ar ģeoloģiskā kompasa palīdzību tika veikti slīpslāņojuma krituma leņķa un krituma azimuta mērījumi, kas ļauj noteikt dominējošos paleostraumju virzienus. Tika arī mērītas slāņojuma virsmas, kas palīdz precizēt paleobaseina gultnes reljefa formas. Kopā visos 4 atsegumos veikti 38 slīpslāņojuma un 3 slāņojuma virsmu mērījumi, kas fiksēti lauka grāmatiņā.

No Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu galā 4 aprakstītajiem griezumiem tika ievākti 23 smilšakmens paraugi, kam vēlāk laboratorijā veikta granulometriskā analīze. Katra ievāktā parauga masa bija aptuveni 200 g. EŽ-1 griezumā tika ievākti 5 paraugi, EŽ-2 - 6, EŽ-3 - 6 un EŽ-4 – 6 paraugi. Paraugošanas vietas tika izvēlētas pēc tā, lai katrs paraugs pārstāvētu vienu slāni vai slīpslāņojuma sēriju un lai tiktu analizētas pēc iespējas dažādākas fācijas un griezuma intervāli.

### **3.3. Laboratorijas darbi**

Laboratorijas darbu ietvaros tika veikta 23 smilts paraugu granulometriskā analīze ar sijāšanas iekārtu “Octagon digital”, LU ĢZZF Hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas laboratorijā. Pirms sijāšanas smilšu paraugi tika atdalīti no mālaini aleirītiskās frakcijas, nogulumus skalojot caur sietu ar acu izmēriem - 63 μm. Pēc tam izžāvētie paraugi tika sijāti ar sekojošo izmēru sietiem - 1 mm, 800 μm, 630 μm, 500 μm, 400 μm, 315 μm, 250 μm, 200 μm, 160 μm, 125 μm, 100 μm, 80 μm un 63 μm. Sijāšanas process katram paraugam tika veikts divās kārtās - sākumā ar sietiem ar acu izmēru 1 mm līdz 400 μm, pēc tam ar sietiem ar acu izmēru 315 līdz 63 μm, 15 minūtes ar nosacīto vibrācijas amplitūdu 6. Uz katra sieta palikušais materiāls tika nosvērts un fiksēts granulometriskās analīzes tabulā (1. pielikums).

### 3.4. Datu apstrāde, analīze un interpretācija

Datu apstrādes un analīzes laikā *MS Excel* programmā tika apstrādāti iegūtie granulometriskās analīzes dati. Katram paraugam ar *GRADISTATv8* programmas palīdzību, pēc Folka-Varda metodes, tika veikti vidējā graudu izmēra, šķīrotības koeficienta, asimetrijas koeficienta un ekcesa aprēķini. Rezultāti apkopoti tabulās un pēc Adena-Ventvorsa drupiežu klasifikācijas (3.1. attēls) tika raksturots katra parauga granulometriskais sastāvs.

Milimetri	$\mu\text{m}$	Phi ( $\phi$ )	Frakcijas nosaukums
4096		-20	
1024		-12	Akmeņi / laukakmeņi
256		-10	
64		-8	
16		-6	Oļi
4		-4	
		-2	
3.36		-1.75	
2.83		-1.50	Grants
2.38		-1.25	
2.00		-1.00	
1.68		-0.75	
1.41		-0.50	Ļoti rupja smilts
1.19		-0.25	
1.00		-0.00	
0.84		0.25	
0.71		0.50	Rupja smilts
0.59		0.75	
1/2	500	1.00	
0.42	420	1.25	
0.35	350	1.50	Vidēja smilts
0.30	300	1.75	
1/4	250	2.00	
0.210	210	2.25	
0.177	177	2.50	Smalka smilts
0.149	149	2.75	
1/8	125	3.00	
0.105	105	3.25	
0.088	88	3.50	Ļoti smalka smilts
0.074	74	3.75	
1/16	63	4.00	
0.0625	63	4.00	
0.0530	53	4.25	
0.0440	44	4.50	Rupjš aleirīts
0.0370	37	4.75	
1/32	31	5	
0.0310	31	5	
1/64	15.6	6	Vidējs aleirīts
0.0156	15.6	6	
1/128	7.8	7	Smalks aleirīts
0.0078	7.8	7	
1/256	3.9	8	Ļoti smalks aleirīts
0.0039	3.9	8	
0.0020	2.0	9	
0.00098	0.98	10	
0.00049	0.49	11	Māls
0.00024	0.24	12	
0.00012	0.12	13	
0.00006	0.06	14	

3.1. attēls. Adena (Udden) un Ventvorsa (Wentworth) izstrādātā drupiežu klasifikācija pēc graudu izmēriem (Wentworth 1922, ar J.Pugača un Ģ.Stinkuļa izmaiņām)

Šķirotības koeficients – norāda uz to cik lielā daudzumā pārstāvētas frakcijas jeb cik sajaukts ir materiāls pēc tā frakcijām. Jo lielāka ir šķirotības koeficienta vērtība, jo sliktāka ir parauga šķirotība, tātad tajā pastāv lielāka frakciju variācija (McManus 1988; Pugačs 2012).

- Ļoti laba šķirotība -  $<0,35$ ;
- Laba šķirotība –  $0,35-0,50$ ;
- Vidēji laba šķirotība –  $0,50-0,70$ ;
- Vidēja šķirotība –  $0,70-1$ ;
- Slikta šķirotība –  $1-2$ ;
- Ļoti slikta šķirotība –  $2-4$ ;
- Sevišķi slikta šķirotība -  $>4$ .

Asimetrijas koeficients – asimetrija labi šķirotiem nogulumiem attēlojas variācijas līknē kā zvanveida forma, kur vai nu viens vai otrs spārns ir stāvāks (asimetriska forma), vai arī līknes spārni ir simetriski. Koeficients var būt gan pozitīvs, gan negatīvs. Pozitīvs asimetrijas koeficients norāda, ka nogulumus salīdzinoši vairāk pārstāv smalkās frakcijas, savukārt negatīvs asimetrijas koeficients norāda uz rupjākām frakcijām (McManus 1988; Pugačs 2012).

- Ļoti pozitīva noliece -  $+0,3$  līdz  $+1,0$ ;
- Pozitīva noliece -  $+0,1$  līdz  $+0,3$ ;
- Simetrija -  $+0,1$  līdz  $-0,1$ ;
- Negatīva noliece –  $-0,1$  līdz  $-0,3$ ;
- Ļoti negatīva noliece -  $-0,3$  līdz  $-1,0$ .

Ekscess – raksturo gan parauga šķirotību, gan asimetriju. Maza ekscesa vērtība (plata variācijas līknes virsotne) norāda uz sliktu šķirotību, savukārt liela ekscesa vērtība ar smailu variācijas līknes virsotni norāda uz labu šķirotību (McManus 1988; Pugačs 2012).

- Ļoti plata –  $<0,67$ ;
- Plata –  $0,67-0,90$ ;
- Viduvēja –  $0,90-1,11$ ;
- Smaila –  $1,11-1,50$ ;
- Ļoti smaila –  $1,50-3,00$ ;
- Sevišķi smaila -  $>3,00$ .

Pēc Leklēras-Bridža formulas (Leclair, Bridge 2001) tika aprēķināti arī aptuvenie paleobaseina dziļumi, kādos nogulsņējušies smilšainie nogulumi:

$$hm = 2,9 (\pm 0,7) * sm$$

$$6 < \frac{d}{hm} < 10$$

$$d_{min} = hm * 6$$

$$d_{max} = hm * 10$$

$$d_{vid} = \frac{d_{min} + d_{max}}{2}$$

$hm$  – vidējais zemūdens grēdas sākotnējais augstums (m);  $sm$  – slīpslāņotās sērijas biezums atsegumā (m);  $\pm 0,7$  – koeficienta 2,9 precizitāte;  $d_{min}$ ,  $d_{max}$  – galējās ūdens dziļuma mainīguma vērtības (m);  $d_{vid}$  – ūdens dziļuma vidējā vērtība (m).

Formulu izmanto fluviālās sedimentācijas vides ūdens dziļuma noteikšanai teritorijās, kur zemūdens grēdas migrē straumju ietekmē (Leclair, Bridge 2001), taču to var arī piemērot ūdens dziļuma aprēķināšanai deltu kanāliem.

*MicroStation V8i* programmā tika apstrādāti lauka grāmatiņā zīmētie ģeoloģiskie griezumumi (EŽ-1, 2, 3, 4). Tajos tika atzīmēti slāņu un slīpslāņojuma sēriju biezumi, lauka darbos noteiktais katra slāņa nogulumu granulometriskais sastāvs, tekstūras, paraugu ņemšanas vietas, slīpslāņojuma sēriju un slāņojuma virsmu mērījumi. Pie tiem tika pievienotas arī paleostraumju virzienos vērsta bultiņas, kas iegūtas no izveidotajām rozes diagrammām programmā *Stereonet*, tajā ievadot iegūtos slīpslāņojuma sēriju un slāņojuma virsmu mērījumus.

Kā uzskates materiāls precīzākai gultnes reljefa formu rekonstrukcijai un sedimentācijas apstākļu interpretācijai tika izveidota atsegumu joslas (Ežurgu klintis līdz Zivtiņu klinšu dienvidu daļa) fotokolāža no lauka darbos veiktajām fotogrāfijām. Kolāža veikta programmā *CorelDraw*, savienojot fotogrāfijas un atzīmējot arī interpretētās fācijas un fāciju asociācijas. Kolāža tika veidota divās daļās – Ežurgu klinšu atsegums un Zivtiņu klinšu atseguma dienvidu daļa – jo starp pētītajiem atsegumiem novērotas tikai traucētas, mālainas slāņkopas, kurās nav saskatāmas slāņu robežas, tekstūras vai citas sedimentācijas apstākļu pazīmes. Atsegumu atrašanās vietas, pamatojoties uz GPS datiem, parādītas kartēs. Lai novērtētu pētīto nogulumiežu atbilstību noteiktam Burtnieku svītas stratigrāfiskajam intervālam, šo atsegumu ģeoloģiskie griezumumi (EŽ-1, 2, 3, 4) korelēti ar urbumu datiem no datubāzes, kas veidota projekta “Starpnozaru zinātnieku grupas un modēļu sistēmas izveide pazemes ūdeņu pētījumiem” ietvaros. Korelāciju palīdzēja veikt M. ģeol., pētnieks Konrāds Popovs.

Visa iegūtā informācija par nogulumu granulometrisko sastāvu, novērotajām tekstūrām un iegūtajiem paleostraumju virzieniem kopā ar citiem uzskates materiāliem (fotokolāža, kartes, urbumi) ļauj veikt interpretāciju par pētīto smilšakmeņu fācijām, fāciju asociācijām un veidošanās apstākļiem.

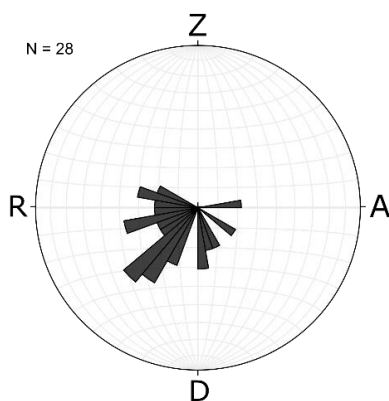
## 4. REZULTĀTI

### 4.1. Fācijas

Pēc lauka darbos iegūtajiem datiem Ežurgu un Zivtiņu klintīs, 4 sagatavotajos ģeoloģiskajos griezumos tika nodalītas 7 fācijas, kas balstās uz nogulumu granulometrisku sastāvu, tekstūrām, kā arī ieslēgumu klātbūtni:

- 1. fācija** – smilšakmens ar muldveida slīpslāņojumu.
- 2. fācija** – smilšakmens ar straumju ripsnojumu.
- 3. fācija** – smilšakmens ar muldveida slīpslāņojumu un vizlas kārtiņām uz slīpajiem slānīšiem.
- 4. fācija** – smilšakmens ar paralēlu slāņojumu.
- 5. fācija** – mālaini līdz aleirītiski nogulumi ar paralēlu slāņojumu.
- 6. fācija** – smilšakmens ar viendabīgu vai nenosakāmu tekstūru.
- 7. fācija** – māla saveltņu konglomerāti ar dolokrētiem.

**1. fācija** – visbiežāk sastopamā fācija, kas novērota visos griezumos. Tā sastāv no ļoti smalkgraudaina līdz smalkgraudainam smilšakmenim, kas ir labi šķīrots un kam raksturīgs muldveida slīpslāņojums. 1. fācijas smilšakmeņu muldveida slīpslāņojuma sēriju biezums mainās no 2 līdz 54 cm. Graudu izmēri sēriju ietvaros palielinās uz augšu, un vietām sēriju pamatnē uz slīpajiem slānīšiem novērojams kāpjošais ripsnojums. Pēc 28 veiktajiem šīs fācijas nogulumu slīpslāņojuma mērījumiem noteikts paleostraumju virziens, kas mainās no  $200^\circ$  līdz  $276^\circ$ . Aprēķināts vidējais aritmētiskais no visiem azimutu mērījumiem -  $225^\circ$  - kas norāda uz DR virzienu (4.1. attēls).



4.1. attēls. Rozes diagramma 1. fācijas nogulumos veiktajiem slīpslāņojuma mērījumiem

*Interpretācija:* nogulumi uzkrājušies 2D vai 3D zemūdens grēdās (Pónten, Plink-Björklund 2007), kas pārsvarā migrējušas DR virzienā. Kāpjošais ripsnojums, kas vietām sastopams fācijas ietvaros, veidojies tādos pašos apstākļos vietās, kur bijusi spēcīgāka straume, kas, nonākot grēdas aizstrāumes nogāzē, veidojusi atpakaļejošu virpuli, kas sekojoši veido kāpjošo ripsnojumu (Reineck, Singh 1980). Kāpjošais ripsnojums visas slīpslāņojuma sērijas biežumā varētu norādīt uz mainīgu straumju virzienu, kas raksturīgs plūdmaiņām, taču tāds šīs fācijas nogulumos netika novērots.

Pēc Leklēra un Bridža formulām (Leclair, Bridge 2001) no veiktajiem 44 slīpslāņojuma sēriju biežuma mērījumiem, aptuveni novērtēts, ka šīs fācijas nogulumi uzkrājušies vidēji 1,7 m dziļā ūdens vidē (4.1. tabula).

4.1. tabula.

Aprēķinātie ūdens dziļumi, kuros uzkrājas 1. fācijas nogulumi

	Slīpslāņotās sērijas biežums (m) - sm	Zemūdens grēdas augstums (m) - hm	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$d_{\text{vid}}$
max sm	0,02	0,058	0,348	0,58	0,464
min sm	0,22	0,638	3,828	6,38	5,104
vidējais sm	0,073	0,212	1,272	2,120	1,696

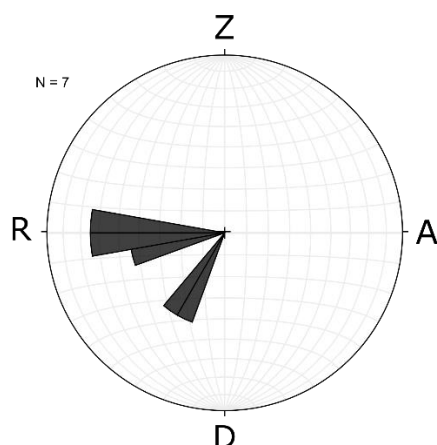
Tabulas apzīmējumi:  $d_{\min}$  – minimālais ūdens dziļums (m);

$d_{\max}$  – maksimālais ūdens dziļums (m);  $d_{\text{vid}}$  – vidējais ūdens dziļums (m)

**2. fācija** ir sastopama visos griezumos un to veido labi šķirots, ļoti smalkgraudains līdz smalkgraudains smilšakmens ar straumju ripsnojuma slāņojumu. Fācija veido 1 - 51 cm biezas sērijas. Atsegumā EŽ-1 sastopams arī smilšakmens ar straumju ripsnojuma modificētu slīpslāņojumu ar māla kārtiņām uz slīpajiem slāņiem, kas tiek pieskaitīts pie šīs fācijas.

*Interpretācija:* smilšakmens ar straumju ripsnojumu uzkrājas migrējošās ripsnojuma grēdīnās, salīdzinoši lēnās straumēs un seklākā ūdenī nekā slīpslāņojums, vietās kur norisinās liels suspendētā materiāla pieplūdums (Pónten, Plink-Björklund 2007).

**3. fācija** – šo fāciju veido ļoti smalkgraudains līdz smalkgraudains, labi šķirots smilšakmens, kam raksturīgs muldveida slīpslāņojums ar vizlas kārtiņām uz slīpajiem slāņiem. Vietām sastopami arī dolokrēti. Šīs fācijas smilšakmeņi veido 10 līdz 35 cm biezas sērijas, kas sastopamas EŽ-1, EŽ-2 un EŽ-3 atsegumos. Pēc 7 veiktajiem slīpslāņojuma krituma azimutu mērījumiem aprēķināts vidējais aritmētiskais -  $270^\circ$  - kas norāda uz R virzienu, taču būtiska ir arī veikto mērījumu izkliede uz DR (4.2. attēls).



4.2. attēls. Rozes diagramma 3.fācijas nogulumos veiktajiem slīpslāņojuma mērījumiem

*Interpretācija:* muldveida slīpslāņojums veidojas, 2D vai 3D zemūdens grēdām migrējot kanālos straumju ietekmē. Vizlas kārtiņas, kas novērotas uz šiem slīpajiem slāņiem, norāda uz plūdmaiņu ietekmi, kuru rezultātā veidojušās vai ietekmētas šīs straumes (Pónten, Plink-Björklund 2007). Vietām sastopamie dolokrēti norāda uz iespējamu subareālo atsegšanos.

Pēc Leklēras un Bridža formulām (Leclaire, Bridge 2001), no 9 veiktajiem mērījumiem tika aprēķināts, ka šīs fācijas nogulumu uzkrājušies vidēji 2,86 m dziļā ūdenī (4.2. tabula).

4.2. tabula.

Aprēķinātie ūdens dziļumi, kuros uzkrājas 2. fācijas nogulumu

	Slīpslāņotās sērijas biezums (m) - sm	Zemūdens grēdas augstums (m) - hm	$d_{\min}$	$d_{\max}$	$d_{\text{vid}}$
min sm	0,02	0,058	0,348	0,58	0,464
max sm	0,24	0,696	4,176	6,96	5,568
vidējais sm	0,123	0,358	2,146	3,577	2,861

**4. fācijas** nogulumu ir ļoti smalkgraudains līdz smalkgraudains, labi šķiroti smilšakmens ar horizontālu slāņojumu. Šādi smilšakmeņi sastopami griezumos EŽ-1, EŽ-2 un EŽ-3 un veido no 3 līdz 63 cm biezas sērijas.

*Interpretācija:* paralēls jeb horizontāls slāņojums parasti veidojas augšējā plūsmas režīmā jeb ātrākās straumēs nekā slīpslāņojums, parasti uz lēzenām gultnes reljefa formām (Pónten, Plink-Björklund 2007; Nichols 1999).

**5. fācija** – sastopama visos griezumos, no 0,25 līdz 2,52 m biezās sērijās, un to veido mālaini līdz aleirītiski nogulumi ar paralēlu slāņojumu. Vietām sastopamas izteiktas māla starpkārtas, ļoti smalkgraudainas smilts starpkārtas, karbonātu konkrēcijas un problemātiskas sakņu sistēmas. Plūdmaiņu tekstūras šajos nogulumos netika novērotas.

*Interpretācija:* šie nogulumi veidojušies mierīgos hidrodinamiskajos apstākļos, izgulsnējoties no suspensijas (Pónten, Plink-Björklund 2007).

**6. fācija** – ļoti smalkgraudains smilšakmens ar mazu sēriju biezumu (1-2 cm), kam raksturīga viendabīga vai nenosakāma tekstūra. Fācija sastopama EŽ-2 un EŽ-3 atsegumos.

*Interpretācija:* nogulumi bez izteiktām, labi redzamām tekstūrām var būt zaudējuši sākotnējās tekstūru pazīmes deformāciju rezultātā, kā arī materiāla straujas izgulsnēšanās apstākļos, kad ar materiālu piesātinātās plūsmas ātrums strauji samazinās (Pónten, Plink-Björklund 2007).

**7. fācija** - aleirītiski līdz ļoti smalkgraudaini smilšaini nogulumi ar māla saveltņiem un dolokrētiem, kas pārsedz erozijas virsmas. Sastopami EŽ-2 atsegumā, 1 cm biezā sērijā.

*Interpretācija:* šādi nogulumi ar māla saveltņiem mēdz veidoties kā bazālais oļājs (konglomerāts) uz erozijas virsmām (Nichols 1999). Dolokrēti liecina par subareālo atsegšanos, taču tā var notikt jau pēc nogulumu izveides gan augsnē, gan pie gruntsūdens līmeņa (Wright 1990).

## 4.2. Granulometriskās analīzes rezultāti

No 4 atsegumiem Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā tika ievākti 23 smilšakmens paraugi granulometriskajai analīzei. Pēc analīzes veikšanas tika noskaidrots, ka pētītajos atsegumos dominē smalkgraudains, taču sastopams arī ļoti smalkgraudains smilšakmens. Vietām slīpslāņojuma sēriju ietvaros graudu izmēri palielinās virzienā uz augšu vietām samazinās. Vidējie graudu izmēri pētītajiem smilšakmens paraugiem mainās no 109,3 līdz 191,7  $\mu\text{m}$ , un aprēķinātais visu paraugu vidējais graudu izmērs ir 145,74  $\mu\text{m}$ . Šķirotības koeficienti norāda lielākoties uz labu šķirotību, kas norāda uz daļiņu nogulsnešanos ūdens vidē, taču sastopams arī ļoti labi un vidēji šķirots smilšakmens. Asimetrijas vērtības norāda uz pozitīvu nolieci (vidējā koeficienta vērtība: +0,14), kas nozīmē, ka nedaudz vairāk ir pārstāvētas salīdzinoši smalkākas frakcijas. Starp ekscesa vērtībām dominē viduvējas un smailas līknes virsotnes vērtības, kas apstiprina vidēju līdz labu šķirotību. Vidējā ekscesa koeficienta vērtība ir 1,1.

**EŽ-1** atsegumā dominē labi šķirots smalkgraudains un ļoti smalkgraudains smilšakmens, un novērojama graudu izmēru samazināšanās griezumā uz augšu (4.3. tabula). Paraugu numerācija atbilst secībai no atseguma apakšas uz augšu (2. pielikums). Smilšakmeņiem uzguļ 3,42 m bieza mālainu un aleirītisku nogulumu slāņkopa.

4.3. tabula.

EŽ-1 atseguma paraugu granulometriskās analīzes rezultāti  
(paraugu ņemšanas vietas skatīt 2. pielikumā)

Paraugšs	Vidējais graudu izmērs ( $\mu\text{m}$ )		Šķirotības koeficients		Asimetrija		Ekscēss	
2201	181,2	Smalkgraudaina smilts	0,384	Labi šķirots	0,009	Simetrija	1,258	Smaila
2202	191,7	Smalkgraudaina smilts	0,484	Labi šķirots	0,272	Pozitīva noliece	1,611	Ļoti smaila
2203	151,1	Smalkgraudaina smilts	0,723	Vidēji šķirots	-0,178	Negatīva noliece	1,246	Smaila
2204	109,3	Ļoti smalkgraudaina smilts	0,444	Labi šķirots	0,007	Simetrija	1,012	Viduvēja
2205	118,7	Ļoti smalkgraudaina smilts	0,444	Labi šķirots	0,057	Simetrija	1,027	Viduvēja

**EŽ-2** atsegumā galvenokārt ir pārstāvēts labi šķirotas smalkgraudains smilšakmens (4.4. tabula) virs kura ar erozijas virsmu sākas 3,36 m bieza aleirītisku un mālainu nogulumu slāņkopa, kurā vietām novērotas karbonātu konkrēcijas un dolokrēti. Smilšakmeņu graudu izmēri samazinās virzienā uz augšu, taču šī tendence nav tik izteikta kā EŽ-1 atsegumā – aptuveni līdz griezumam intervālam 1 m graudu izmēri pakāpeniski samazinās, no aptuveni 1 līdz 1,5 m graudu izmēri palielinās, tālāk, līdz aptuveni 2 m, atkārtojas graudu izmēru samazināšanās. Šajā atsegumā smilšakmeņu slāņkopā virzienā uz augšu kļūst sliktāka smilšainā materiāla šķirotības pakāpe.

4.4. tabula.

EŽ-2 atseguma paraugu granulometriskās analīzes rezultāti  
(paraugu ņemšanas vietas skatīt 3. pielikumā)

Paraugs	Vidējais graudu izmērs (µm)		Šķirotības koeficients		Asimetrija		Ekcess	
2206	162	Smalkgraudaina smilts	0,34	Ļoti labi šķirotas	0,279	Pozitīva noliece	1,195	Smaila
2207	155,7	Smalkgraudaina smilts	0,362	Labi šķirotas	0,38	Ļoti pozitīva noliece	1,094	Viduvēja
2208	146,9	Smalkgraudaina smilts	0,431	Labi šķirotas	0,325	Ļoti pozitīva noliece	0,998	Viduvēja
2209	161,9	Smalkgraudaina smilts	0,428	Labi šķirotas	0,137	Pozitīva noliece	0,881	Plata
2210	180	Smalkgraudaina smilts	0,426	Labi šķirotas	0,364	Ļoti pozitīva noliece	1,369	Smaila
2211	130,7	Smalkgraudaina smilts	0,475	Labi šķirotas	0,225	Pozitīva noliece	0,94	Viduvēja

Smilšakmeņu slāņkopā ar biezumu 2,28 m, **EŽ-3** atsegumā, dominē smalkgraudains smilšakmens, kas ir labi līdz ļoti labi šķirotas, taču šajos nogulumos nav novērota izteikta graudu izmēru gradācija (4.5. tabula). Tomēr griezumā uz augšu visai izteikti pasliktinās materiāla šķirotības pakāpe.

EŽ-3 atseguma paraugu granulometriskās analīzes rezultāti  
(paraugu ņemšanas vietas skatīt 4. pielikumā)

Paraugs	Vidējais graudu izmērs (µm)		Šķirotības koeficients		Asimetrija		Ekcess	
2212	168	Smalkgraudaina smilts	0,293	Ļoti labi šķirots	0,287	Pozitīva noliece	1,536	Ļoti smaila
2213	182,4	Smalkgraudaina smilts	0,314	Ļoti labi šķirots	0,144	Pozitīva noliece	1,398	Smaila
2214	175,5	Smalkgraudaina smilts	0,346	Ļoti labi šķirots	0,179	Pozitīva noliece	1,246	Smaila
2215	119,3	Ļoti smalkgraudaina smilts	0,424	Labi šķirots	0,147	Pozitīva noliece	1,054	Viduvēja
2216	124,6	Ļoti smalkgraudaina smilts	0,433	Labi šķirots	0,158	Pozitīva noliece	1,047	Viduvēja
2217	127	Smalkgraudaina smilts	0,461	Labi šķirots	0,172	Pozitīva noliece	0,945	Viduvēja

EŽ-4 atsegumā galvenokārt ir pārstāvēts labi šķirots smalkgraudains smilšakmens (1,47 m biezumā), kur graudu izmēriem nav izteikta tendence samazināties vai palielināties virzienā uz augšu (4.6. tabula). Šķirotības pakāpe un citi granulometriskie koeficienti arī neuzrāda noteiktas izmaiņu tendences. Virs šiem smilšakmeņiem uzguļ 0,55 m bieža mālaino un aleirītisko nogulumu slāņkopa.

EŽ-4 atseguma paraugu granulometriskās analīzes rezultāti  
(paraugu ņemšanas vietas skatīt 5. pielikumā)

Paraugs	Vidējais graudu izmērs (µm)		Šķirotības koeficients		Asimetrija		Ekcess	
2221	134	Smalkgraudaina smilts	0,446	Labi šķirots	0,218	Pozitīva noliece	0,971	Viduvēja
2222	119,9	Ļoti smalkgraudaina smilts	0,469	Labi šķirots	-0,042	Simetrija	0,891	Plata
2223	130,7	Smalkgraudaina smilts	0,443	Labi šķirots	0,032	Simetrija	0,945	Viduvēja
2224	127,5	Smalkgraudaina smilts	0,462	Labi šķirots	0,013	Simetrija	0,962	Viduvēja
2225	128,8	Smalkgraudaina smilts	0,451	Labi šķirots	-0,083	Simetrija	0,945	Viduvēja
2226	125,2	Smalkgraudaina smilts	0,586	Vidēji šķirots	0,14	Pozitīva noliece	0,819	Plata

### 4.3. Paleostraumju virzieni

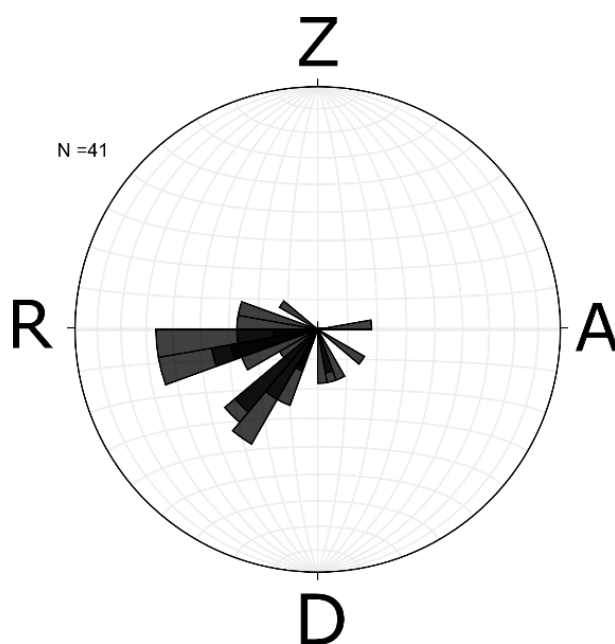
Pēc veiktajiem 38 slīpslāņojuma un 3 slāņojuma virsmu mērījumiem tika veikta paleostraumju virzienu noteikšana, izmantojot rozēs diagrammas. Paleostraumju virzieni variē no  $88^\circ$  līdz  $358^\circ$  (4.3. attēls), no tiem dominē paleostraumju virziens uz  $200^\circ$ , tātad uz dienvidrietumiem. Aprēķinātais vidējais paleostraumju virziens no visiem mērījumiem ir  $231,4^\circ$  (aprēķināts kā vidējais aritmētiskais no visiem mērījumiem, kopskaitā 41).

No **EŽ-1** atsegumā veiktajiem 8 slīpslāņojuma un 3 slāņojuma virsmu mērījumiem tika noteikts paleostraumju vidējais virziens -  $243^\circ$ . Kopumā šajā atsegumā paleostraumju virzieni variē no  $168^\circ$  līdz  $358^\circ$  (4.4. attēls).

**EŽ-2** atsegumā veikti 13 slīpslāņojuma mērījumi no kuriem aprēķināts vidējais paleostraumju virziens -  $249^\circ$ . Visi veiktie slīpslāņojumu mērījumi variē no  $200^\circ$  līdz  $290^\circ$  (4.6. attēls).

**EŽ-3** atsegumā veikti 6 slīpslāņojumu mērījumi norāda uz straumju virzieniem no  $200^\circ$  līdz  $276^\circ$  un vidējais paleostraumju virziens ir  $250^\circ$ , tātad uz dienvidrietumiem (4.7. attēls).

**EŽ-4** atsegumā, pēc veiktajiem 10 slīpslāņojumu mērījumiem, noteikts, ka paleostraumju virzieni mainās no  $88^\circ$  līdz  $257^\circ$  un vidējais virziens vērsts uz D –  $184^\circ$  (4.8. attēls).



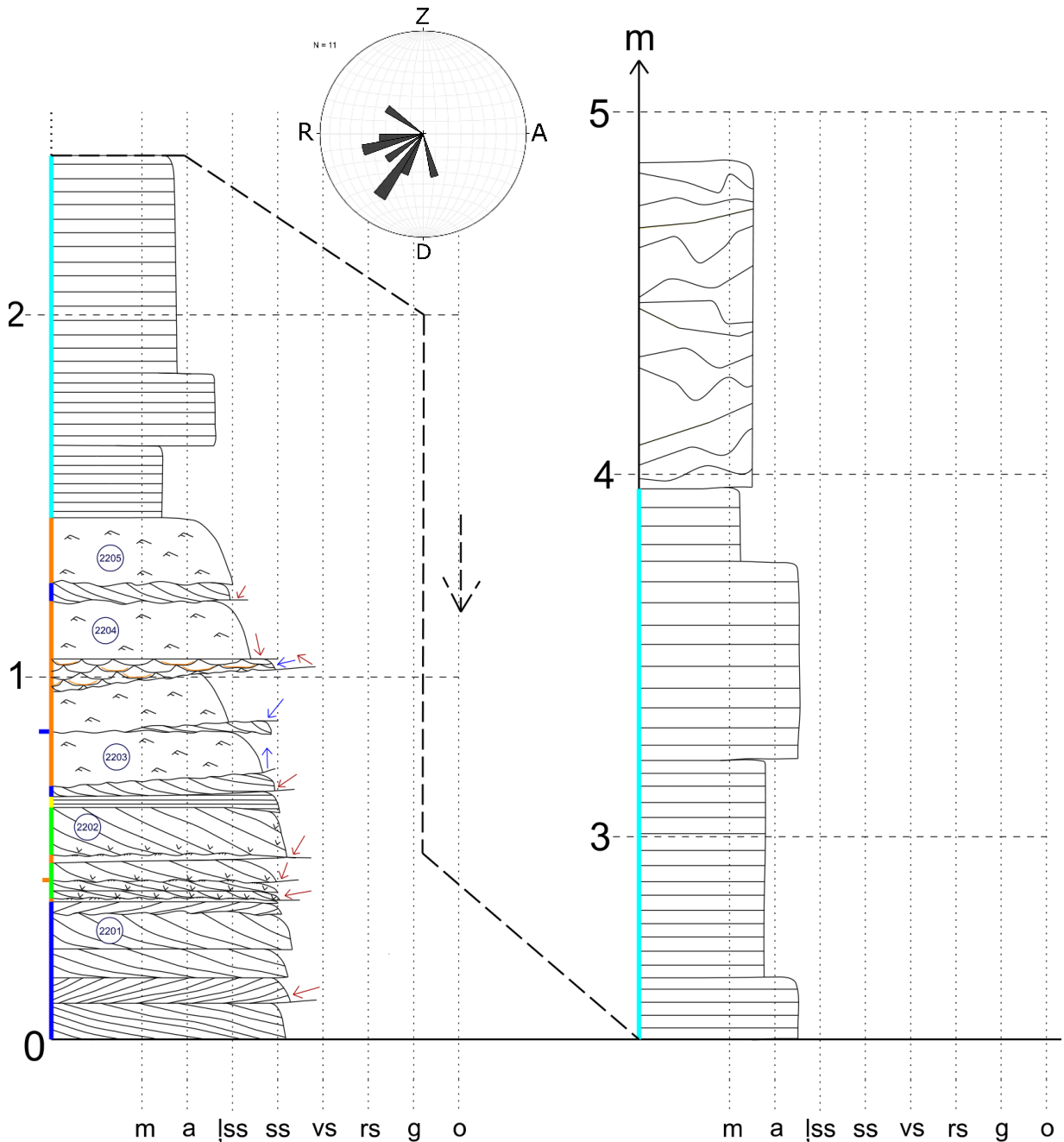
4.3. attēls. Rozēs diagramma visiem veiktajiem slīpslāņojuma mērījumiem

Kā redzams 4.4., 4.6. un 4.7. attēlā, Ežurgu klintīs atsegtajos Burtnieku svītas nogulumiežos ir līdzīgi slīpslāņojuma krituma azimuti – uz rietumiem un dienvidrietumiem. Zivtiņu klinšu dienvidu galā (4.8. attēls) dominē dienvidu-dienvidaustrumu virziens, taču vērojama plaša izkliede rietumu-dienvidu-austrumu virzienā. Tas norāda, ka Ežurgu klintīs atsegtie smilšainie nogulumu veidojās vienotās straumju sistēmās, bet Zivtiņu klinšu dienvidu daļai bija raksturīga cita straumju sistēma.

#### 4.4. Fāciju secība un sedimentācijas vides interpretācija

**EŽ-1 interpretācija** (4.4. attēls): atseguma ģeoloģiskais griezumā sākas ar biezu 1. fācijas slāņkopu, kas norāda uz 2D vai 3D zemūdens grēdām (Pónten, Plink-Björklund 2007), kas migrējušas uz DR aptuveni 2,32 m dziļos kanālos. Griezumā uz augšu seko 2. un 3. fācijas sēriju mija, kas norāda uz tādu pašu zemūdens grēdu migrēšanu no 0,5 līdz 3 m dziļā ūdenī, taču šeit pastāvējusi plūdmaiņu ietekme, par ko liecina vizlas kārtiņas uz slīpajiem slāņiem. 3. fācijas smilšakmeņu slīpslāņojuma sērijas norāda uz plūdmaiņu ietekmētu zemūdens grēdu migrēšanu DR virzienā, savukārt plānā 2. fācijas smilšakmeņu slāņi ar straumju ripsnojumu liecina par migrējošām ripsnojuma grēdiņām, kas pārvietojušās salīdzinoši mierīgākā un seklākā ūdenī nekā 3. fācijas nogulumu. Šāda slāņu mija apstiprina plūdmaiņu ietekmi, jo tā liecina par cikliskām hidrodinamiskā režīma izmaiņām. Tālāk seko neliela 4. fācijas nogulumu sērija, kas norāda uz augšējās plūsmas režīmu jeb ātrākām straumēm. 4. fācijas nogulumu sērijai uzguļ 1. un 2. fācijas mija. Novērojamas salīdzinoši biezas smilšakmeņu sērijas ar straumju ripsnojumu, starp kurām atrodas plānākas smilšakmens sērijas ar muldveida slīpslāņojumu. Šāda mija norāda uz zemūdens grēdu migrācijas turpināšanos, tomēr šai posmā dominējuši lēnāku straumju un seklāka ūdens apstākļi, par ko liecina biezas 2. fācijas nogulumu sērijas, kas mijušās ar īslaicīgiem ātrāku straumju un salīdzinoši dziļāka ūdens periodiem. Šāda hidrodinamisko apstākļu maiņa var norādīt uz iespējamu plūdmaiņu ietekmi, taču šajā nogulumu mijā netika novērotas plūdmaiņu tekstūru pazīmes, kas šo hipotēzi apstiprinātu. Izņēmums ir novērotā 2. fācijas straumju ripsnojumu modificētā slīpslāņojuma sērija ar māla kārtiņām uz slīpajiem slāņiem pie 1 m atzīmes. Minētajiem sedimentācijas apstākļiem sekoja mierīgāki hidrodinamiskie apstākļi, kuros bijusi iespējama aleirītisku un mālainu nogulumu uzkrāšanās (5. fācija). Virs paralēli slāņotajiem 5. fācijas nogulumiem sastopami traucēti devona nogulumu, kas izmainīti kvartāra periodā glacioidislokāciju rezultātā.

Griezumā vērojama smilšaino nogulumu graudu izmēru samazināšanās uz augšu, kā arī tekstūru maiņa no slīpslāņojuma uz straumju ripsnojumu parāda pakāpenisku kanāla aizpildīšanos ar nogulām, hidrodimaniskajam režīmam paliekot mierīgākam un ūdenim - seklākam. Šo procesu noslēdz mālainās slāņkopas veidošanās, iespējams, kad kanāls bija norobežots no aktīvas straumju darbības.



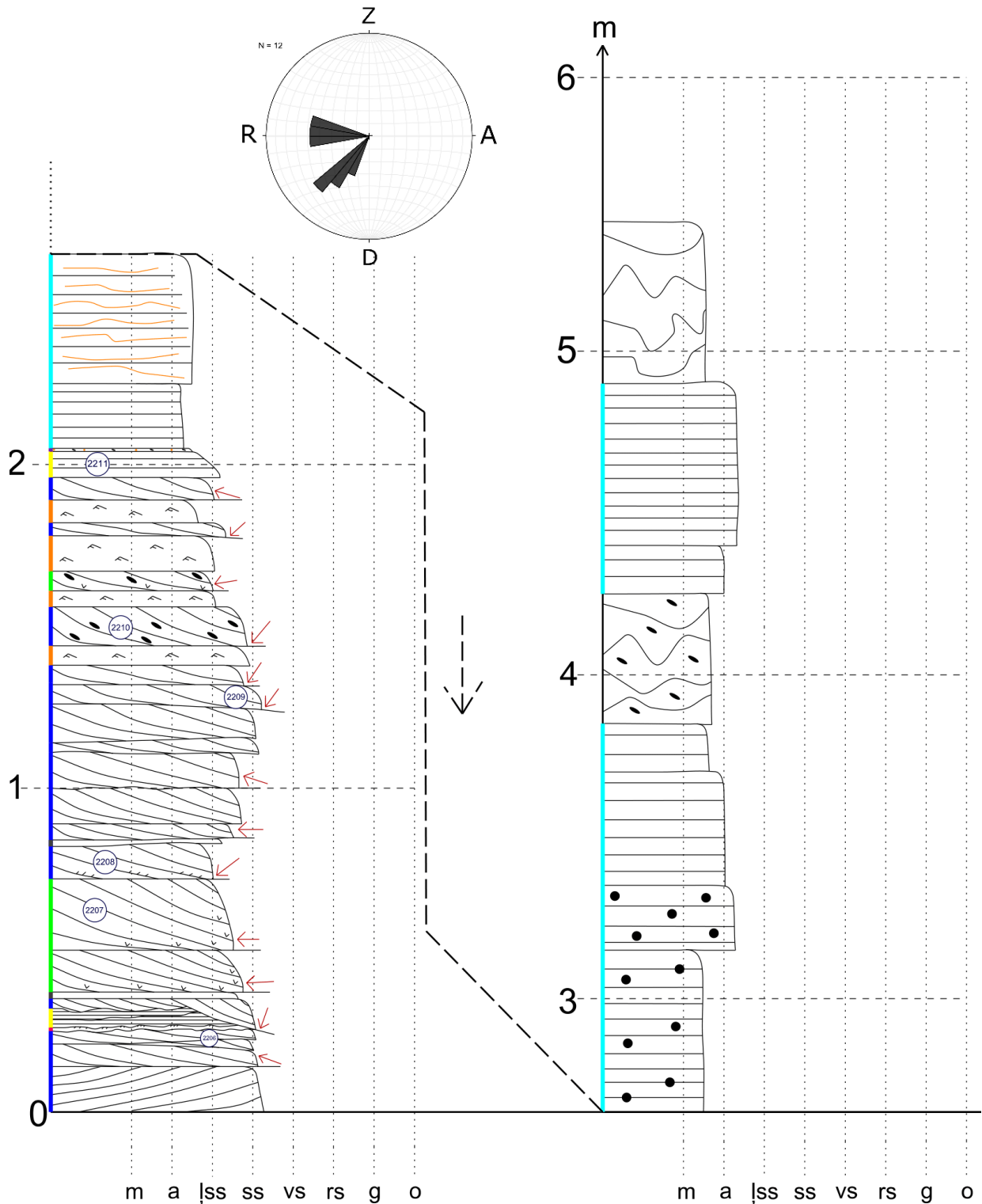
4.4. attēls. EŽ-1 ģeoloģiskais griezumam ar rozes diagrammu. Apzīmējumi nākamajā lappusē (4.5. attēls)



4.5. attēls. Ģeoloģisko griezumumu apzīmējumi

**EŽ-2 interpretācija** (4.6. attēls): sākotnēji norisinājusies nogulumu (1. fācijas) uzkrāšanās uz DR migrējošās zemūdens grēdās, 0,9 – 3,5 m dziļā ūdenī. Pēc tam seko 3. fācija, kas norāda uz zemūdens grēdu migrācijas turpināšanos, šajā gadījumā, 3-5 m dziļā ūdenī un, spriežot pēc novērotajām vizlas kārtiņām uz slīpajiem slāņiņiem, plūdmaiņu ietekmē. Griezumā uz augšu seko bieža 1. fācijas nogulumu slāņkopa, kas liecina par migrējošām zemūdens grēdām 0,7 līdz 2,8 m dziļā ūdenī. Slāņkopā novērojama graudu izmēru palielināšanās griezumā uz augšu. Tālāk novērojama 1., 2. un 3. fācijas nogulumu mija ar dolokrētiem uz slīpajiem slāņiņiem. Šeit norisinājusies zemūdens grēdu migrācija 0,9-2,8 m dziļā ūdenī ar iespējamām periodiskām subareālās atsegšanās epizodēm, par ko liecina sastopamie dolokrēti. Subareālā atsegšanās gan varēja būt notikusi jau pēc smilšakmeņu izveides, un dolokrētu veidošanās ir iespējama gan augsnē, gan gruntsūdeņu ietekmē (Wright 1990). Uz plūdmaiņu ietekmi norāda gan 3. fācijas nogulumos sastopamās vizlas kārtiņas uz slīpajiem slāņiņiem, gan straumju ripsnojuma slāņu mija ar muldveida slīpslāņojuma sērijām, kas ir kā indikators hidrodinamiskā režīma cikliskām izmaiņām. Tālāk seko neliels 4. fācijas nogulumu slānis, virs kura uzguļ plāns smilts nogulumu slānis ar māla saveltņiem un dolokrētiem (7. fācija). Māla saveltņi tā iekšienē norāda uz mālainu nogulumu izskalojumu, un 7. fācijas veidojumu pamatni var uzskatīt par erozijas virsmu. Pēc tam samazinās hidrodinamiskā režīma aktivitāte, uz ko norāda 5. fācija (mālaini un aleirītiski nogulumi). Slāņkopā sastopamie dolokrēti un karbonātu konkrēcijas liecina par iespējamu subareālo atsegšanos vai ļoti seklu ūdeni. Savukārt virsējā slāņkopa (traucēti devona nogulumieži), griezumā uz augšu, norāda uz glacioidislokācijām kvartāra periodā.

Kopumā EŽ-2 griezumā novērotos nogulumu sedimentācijas apstākļus var raksturot kā zemūdens grēdu migrāciju DR virzienā, ar iespējamu plūdmaiņu ietekmi. Iespējams laika gaitā ūdens kļuvis seklāks, par ko liecina novērotās straumju ripsnojuma tekstūras griezumā uz augšu, 5. fācijas nogulumu slāņkopa, kā arī dolokrēti.



4.6. attēls. EŽ-2 ģeoloģiskais griezumā ar rozes diagrammu. Apzīmējumi – 4.5. attēls

**EŽ-3 interpretācija** (4.7. attēls): griezumā sākas ar biezu 3. fācijas nogulumu slāni. Šie nogulumi uzkrājušies 5,6 m dziļā ūdenī, plūdmaiņu ietekmē, kā migrējošas zemūdens grēdas. Kā iepriekš minēts, par plūdmaiņu ietekmi liecina vizlas kārtiņas uz slīpajiem slānīšiem. Pēc tam seko bieza smilšakmeņu ar paralēlu slāņojumu sērija (4. fācija), kas norāda uz to, ka mainījies hidrodinamiskais režīms – paātrinājušās straumes. Tālāk seko 1. fācijas nogulumu sērija, kas mijas ar biezu 3. fācijas nogulumu slāni. Šeit norisinājušies zemūdens grēdu migrācija 2-5 m dziļā ūdenī, ko, iespējams, ietekmējušas plūdmaiņas, spriežot pēc vizlas kārtiņām uz slīpajiem slānīšiem, kas novērotas 3. fācijas nogulumos. Griezumā uz augšu 1. fācijas nogulumi mijas ar 2. fācijas smilšakmeni ar straumju ripsnojumu sērijām. Šāda slāņmija liecina par ūdens dziļuma samazināšanos, zemūdens grēdām turpinot migrēt DR virzienā, 1,3-2 m dziļā ūdenī. Tāpat kā iepriekšējos giezumos, šo slāņmiju var interpretēt kā hidrodinamisko apstākļu maiņu, ko, iespējams, izraisījušas vai ietekmējušas plūdmaiņas, tomēr tajā nav novērotas plūdmaiņu tekstūras, kas šo hipotēzi apstiprinātu. Smilšainos nogulumus pārsedz mālaini un aleirītiski nogulumi, kuros sastopamas arī problemātiskas sakņu tekstūras, kas norāda uz subareālu atsegšanos vai ļoti seklu ūdeni. Tāpat kā iepriekšējos atsegumos, arī šeit, griezuma augšējo daļu veido glacioidislokāciju traucēti devona periodā veidojušies mālainie nogulumi.

Kopumā griezumu var raksturot kā zemūdens grēdu migrāciju fluviālajos kanālos, DR virzienā, ko periodiski ietekmējušas plūdmaiņas. Spriežot pēc straumju ripsnojuma tekstūrām, kas sastopamas galvenokārt griezuma augšējā daļā, ūdens laika gaitā kļuvis seklāks un tā vide mierīgāka, un kanāls pakāpeniski aizpildījies. Par kanāla aizpildīšanos ar nogulām, līdzīgi kā EŽ-1 griezumā, liecina smilšakmeņu graudu izmēru samazināšanās uz augšu, kā arī to tekstūru izmaiņas. Erozijas virsma ar māla saveltņu konglomerātu, smilšakmeņus pārsedzošās mālainās slāņkopas pamatnē, liecina par jauna kanāla izveidi.

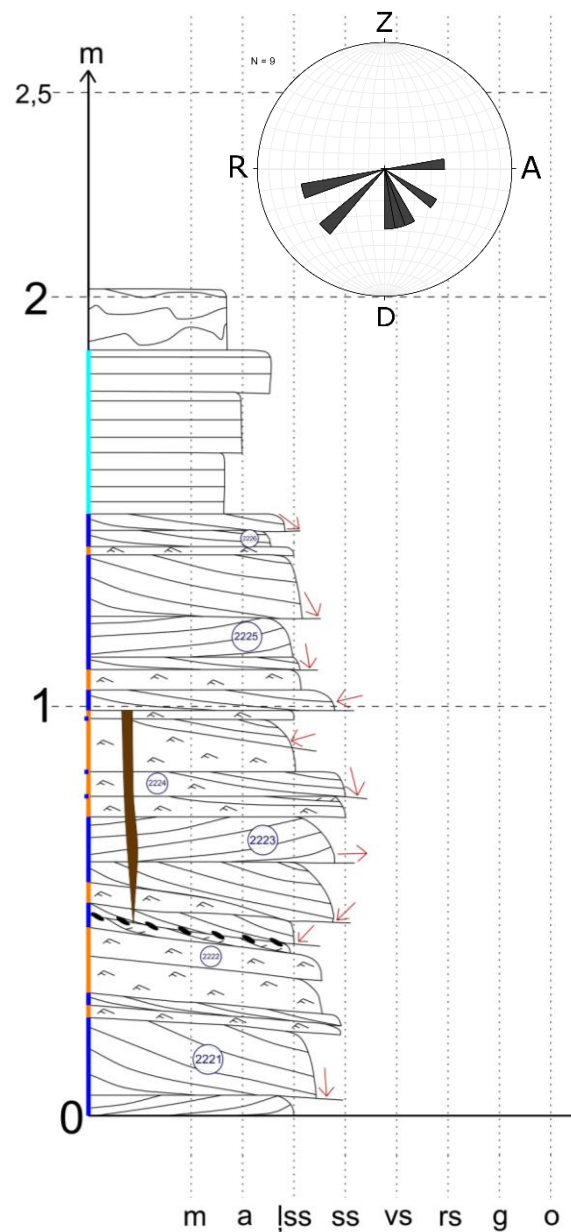


4.7. attēls. EŽ-3 ģeoloģiskais griezumā ar rozēs diagrammu. Apzīmējumi – 4.5. attēls

**EŽ-4 interpretācija** (4.8. attēls): visu smilšakmens slāņkopu veido 1. un 2. fācījas mija, kas norāda uz iepriekš minētajiem zemūdens grēdu migrācijas apstākļiem, šajā gadījumā 0,7 līdz 4,4 m dziļā ūdenī. Tā kā norisinās cikliskas ūdens dziļuma un straumes ātruma izmaiņas, tad, iespējams, sedimentācijas vidi ir skārušas plūdmaiņas. Plūdmaiņu esamību apstiprina visai mainīgie straumju virzieni, taču nav novērotas plūdmaiņu tekstūras. Smilšakmeņos ir sastopami atsevišķi izteikti sakņu veidojumi, kuri sastāv no dolomīta, kā arī citi dolokrēti, kuru saistību ar saknēm ir grūti novērtēt. Vienu saknes veidojumu izdevās noteikt pēc tā ļoti labi izteiktās, saknēm raksturīgās morfoloģijas – diametra samazināšanās uz leju un atzaru veidojumiem lejasdaļā (Algeo, Scheckler 1998). Šīs saknes struktūras garums ir 40 cm un maksimālais diametrs augšdaļā – 4 cm. Saknes un ar tām saistītie dolokrēti norāda uz subareālo atsegšanas vai ļoti seklu ūdeni, kas pierāda ūdens dziļuma izmaiņas. Griezumā uz augšu seko mālainie un aleirītiskie nogulumi, kas liecina par mierīgiem hidrodinamiskajiem

apstākļiem, nogulumiem izgulsnējoties no suspensijas (Pónten, Plink-Björklund 2007). Pēc tam seko pleistocēna glacioidislokāciju traucēti devona nogulumi.

Atsegumā novēroto nogulumu sedimentācijas vides apstākļu kopumā var interpretēt kā zemūdens grēdu migrāciju, galvenokārt uz D, lai gan paleostraumju virzienu izkliede ir salīdzinoši liela, kas liecina arī par plūdmaiņu ietekmi. Hidrodinamiskais režīms laika gaitā palicis mierīgāks un ūdens – seklāks – uz ko norāda straumju ripsnojuma tekstūras, dolokrēti un sakņu struktūras.



4.8. attēls. EŽ-4 ģeoloģiskais griezum ar rozēs diagrammu. Apzīmējumi – 4.5. attēls

Kopumā visos ģeoloģiskajos griezumos pētīto nogulumu sedimentācijas apstākļi tiek interpretēti kā dominējoša smilšainu nogulu uzkrāšanās 2D vai 3D zemūdens grēdās, kas migrējušas kanālos, ko periodiski ietekmējušas plūdmaiņas. Novērotās straumju ripsnojuma tekstūras, kas dominē smilšaino slāņkopu augšējās daļās, norāda uz to, ka laika gaitā nogulumi sākuši uzkrāties seklākā ūdens vidē un kanāli pakāpeniski aizpildījušies. Arī dolokrēti, sakņu struktūras un karbonātu konkrēcijas, kas novērotas lielākoties griezumu augšējās daļās, norāda uz iespējamu subareālo atsegšanos vai ļoti sekla ūdens vidi. Kanāliem aizpildoties, smilšainos nogulumus nomainījuši pārsvarā paralēli slāņoti mālaini un aleirītiski nogulumi, kas norāda uz to, ka hidrodinamiskais režīms palicis vēl mierīgāks. Griezumā EŽ-2 novērots, ka mālaini aleirītiskās slāņkopas apakšējā daļā ir māla saveltņu konglomerāts, kas norāda uz erozijas virsmu. Tādējādi, iespējams, mālaini aleirītiskā slāņkopa ir uzkrājusies atsevišķā, jaunākā kanālā.

Ežurgu klintīs pētītajos griezumos (EŽ-1, EŽ-2, EŽ-3) smilšakmeņu slāņkopā (griezuma apakšējā daļā) novērotās pazīmes norāda uz dziļāka ūdens apstākļiem nekā Zivtiņu klinšu dienvidu daļā pētītajā griezumā - EŽ-4 - kā arī tajā nav novērotas tiešas plūdmaiņu tekstūras atšķirībā no Ežurgu klintīm. Kā aprakstīts 4.3. nodaļā, arī paleotraumju virzieniem ir manāma atšķirība starp EŽ-1, EŽ-2, EŽ-3 atsegumiem un EŽ-4 atsegumu, kas apstiprina neredz atšķirīgos smilts sedimentācijas apstākļus Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā.

Mālainās slāņkopas uzbūvē Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā netika novērotas būtiskas atšķirības. Tā veidojusies mierīgākā hidrodinamiskajā režīmā nekā smilšainā griezuma daļā. Tajā nav sastopamas plūdmaiņu tekstūras, savukārt EŽ-3 griezumā var novērot problemātiskas sakņu tekstūras, kas, iespējams, norāda uz subaerālu atsegšanos vai ļoti seklu ūdeni.

## 5. DISKUSIJA

Bakalaura darba gaitā iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar citu Burtnieku svītas sedimentoloģisko pētījumu rezultātiem. Veczemju klintis un Ežurgu klinšu apkārtnē esošos atsegumus savā bakalaura un maģistra darbā pētījusi E. Krakopa (Krakopa 2008; 2010), taču šo darbu ietvaros nav veikti pētījumi par šajā bakalaura darbā pētītajiem atsegumiem Ežurgu klintīs. E. Krakopas darbos tiek minēts, ka veikti pētījumi Ežurgu klintīs, taču līdz 2010. gadam nosaukums “Ežurgu klintis” tika lietots arī attiecībā uz Zivtiņu klintīm. Līdz ar to iepriekš pētījumu apgabals bija plašs, taču tajā netika ietvertas Ežurgu klintis tieši pie Ežurgas upes un tā rezultātā šajā bakalaura darbā pētītie atsegumi līdz šim netika interpretēti. Iepriekš veikti arī Burtnieku svītas atsegumu pētījumi uz dienvidiem no bakalaura darba pētījumu teritorijas - Tūjas apkārtnē (Pugačs 2011) – kā arī uz ziemeļiem - Radziņu klintīs (Dreimanis 2014) - un ziemeļaustrumiem - Bezdēlīgu klintīs (Berga 2011). Plašus pētījumus par Burtnieku svītas nogulumu veidošanās apstākļiem ir veicis V. Kuršs (Куршс, 1975; 1992) visā Baltijas paleobaseina teritorijā un D. Kreišmane (Kreišmane 2014) par Baltijas devona paleobaseina ziemeļu daļas apstākļiem.

Šajā darbā iegūtie granulometriskās analīzes dati norāda uz lielākoties labi šķīrotiem, ļoti smalkgraudainiem līdz smalkgraudainiem smilšakmens paraugiem. Graudu izmēri, kā arī šķīrotības rādītāji veiksmīgi korelējas ar E. Krakopas (Krakopa 2008; 2010) bakalaura un maģistra darbos veiktajām granulometriskajām analīzēm Ežurgu klinšu (tagadējo Zivtiņu klinšu) paraugiem, kas norāda uz labu līdz ļoti labu šķīrotību un ļoti smalkgraudainām līdz smalkgraudainām smilts frakcijām. J. Pugačs savā bakalaura darbā (Pugačs 2011), pētot Tūjas atsegumus, ieguva šādus granulometriskās analīzes rādītājus – paraugos dominē ļoti labi līdz vidēji labi šķīrota, smalkgraudaina smilts. Uz ziemeļiem un ziemeļaustrumiem esošajos atsegumos veiktie pētījumi (Dreimanis 2014; Berga 2011) liecina par lielākoties smalkgraudainu smilts frakciju un labu šķīrotību. Iegūtie dati no Ežurgu klintīm un Zivtiņu klinšu dienvidu daļas labi korelējas ar iepriekš veikto pētījumu datiem un nav saskatāma būtiska tendence palielināties vai samazināties graudu izmēriem vai šķīrotībai pat vairākus desmitus kilometru no pētījumu vietas.

Pēc veiktajiem slīpslāņojuma un slāņojuma virsmu mērījumiem noskaidroti dominējošie paleostraumju virzieni – straumes plūda uz dienvidrietumiem-dienvidiem. Šie dati sakrīt ar citos pētījumos iegūtajiem virzieniem – gan E. Krakopa savā bakalaura darbā (Krakopa 2008), gan arī J. Pugačs (Pugačs 2011), D. Kreišmane (Kreišmane 2014) un G.

Dreimanis (Dreimanis 2014) savos darbos min paleostraumju virzienu uz dienvidrietumiem un dienvidiem. Arī V. Kuršs savos pētījumos norāda, ka Burtnieku laikposmā dominējošie paleostraumju virzieni bijuši uz dienvidiem un dienvidrietumiem (Куршс, 1975; 1992). E. Krakopa savā maģistra darbā (Krakopa 2010) gan ieguvusi paleostraumju virzienus ar salīdzinoši lielu izkliedi – ziemeļrietumi, dienvidrietumi un dienvidaustrumi – taču viņa tos saista ar plūdmaiņu ietekmi.

Paleobaseina dziļuma aprēķini norāda uz to, ka Burtnieku laikposmā Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā nogulumi uzkrājušies no 0,5 līdz 5,6 m dziļā ūdenī (vidēji 2,3 m). Šie dati labi korelējas ar D. Kreišmanes datiem (Krejšmane 2014) par vidēji 3-5 m dziļu ūdeni. Salīdzinot aprēķinus ar citos pētījumos iegūtajiem datiem, novērojama tendence paleobaseina dziļumam palielināties virzienā uz ziemeļiem, kas ir pretrunā ar hipotēzēm par baseina atrašanos dienvidos, kā arī ar bakalaura darbā veiktajām griezumam interpretācijām. Apkopotie paleobaseina dziļumi pētījuma teritorijas apkārtnē ir sekojoši: aptuveni 30 km uz ziemeļiem (Radziņu klintis) - 1-10 m (Dreimanis 2014); 50 km uz ziemeļaustrumiem (Bezdelīgu klintis) - 1-18 m (Berga 2011); 8 km uz dienvidiem (Tūjas atsegumi) - 1-5 m (Pugačs 2011).

Bakalaura darbā pētītajos atsegumos Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā tika novērotas tekstūras, kas norāda uz zemūdens grēdu migrāciju fluviālajos kanālos un to pakāpenisku aizpildīšanos, kā arī pāreju uz seklāka ūdens vidi. Kopumā griezumos, pēc straumju ripsnojuma un slīpslāņojumu tekstūru attiecībām, kā arī citiem ūdens dziļuma indikatoriem, tika novērota tendence ūdens dziļumam samazināties virzienā uz ziemeļiem. Ziemeļu virzienā arī palielinās dolokrētu, sakņu struktūru un karbonātu konkrēciju daudzums, kas ir indikatori ļoti seklam ūdenim vai subareālās atsegšanās epizodēm. Arī slāņu kritums uz dienvidiem-dienvidrietumiem norāda uz paleostraumju virzienu no sanesu apgabaliem uz baseinu. Tika novērotas arī retas plūdmaiņu tekstūras, kas norāda uz iespējamu plūdmaiņu ietekmi. Jāatzīmē arī, ka pētītais Zivtiņu klinšu posms, domājams, atbilst citam kanālam nekā Ežurgu klintis.

Izstrādātajās fotokolāžās (6. pielikums) novēroti slāņkopu kritumi, kas iespējams norāda uz daļu no plaša kanāla ar lēzenu gultni starp Ežurgu un Zivtiņu klintīm, kas aizpildījies ar mālainiem un aleirītiskiem nogulumiem. Fotokolāžās iezīmēta smilšakmens un mālaini-aleirītisko slāņkopu robeža, kas Ežurgu klinšu ziemeļu daļā krīt nedaudz uz ziemeļiem (uz kreiso pusi), savukārt Zivtiņu klinšu dienvidu daļā uz dienvidiem (uz labo pusi). Starp abām fotokolāžām lauka darbos tika novērota gara, daļēji aizaugusi mālainu un aleirītisku iežu atsegumu josla, kas netika iekļauta fotokolāžā, taču tas netraucē veikt sedimentācijas vides

interpretāciju. Novērojumi jūras krastā šajā posmā liecina, ka tur vismaz vietām visu griezumu veido mālaini nogulumi, kas izskaidro šīs joslas aizaugšanu. Redzams arī, ka Ežurgu klinšu smilšsainajai daļai lielākoties ir subhorizontāla uzbūve (izņemot klinšu ziemeļu galā), kas norāda uz lēzenu, paralēlu gultnes relfeja formu attīstību. Iespējams, pa plašu un lēzenu kanāla gultni migrēja zemūdens grēdas.

Iepriekšējos pētījumos veiktas Burtnieku svītas sedimentācijas apstākļu vides interpretācijas pētījuma teritorijas apkārtnē. E. Krakopas bakalaura un maģistra darbā veiktie pētījumi (Krakopa 2008, 2010) aptver vistuvāko teritoriju tagadējām Ežurgu klintīm un tiek sniegta šāda interpretācija – paleodeltas zemūdens nogāze ar iespējamu plūdmaiņu ietekmi, kur nogulumi uzkrājušies migrējošās zemūdens grēdās un sēkļos. Bezdelīgu klintīs (Berga 2011), Tūjas atsegumu joslā (Pugačs 2011) un Radziņu klintīs (Dreimanis 2014) veiktie pētījumi liecina par nogulumu uzkrāšanos migrējošās zemūdens grēdās, plūdmaiņu ietekmētos deltu kanālos. G. Dreimanis savā darbā (Dreimanis 2014) arī min, ka laikposma beigās iespējams norisinājusies subareālā atsegšanās. D. Kreišmane (Krejšmane 2014) savos pētījumos par Baltijas devona paleobaseina ziemeļu daļu min nogulumu uzkrāšanos plūdmaiņu ietekmētā deltas līdzenumā. V. Kuršs pauž viedokli par Burtnieku svītas nogulumu veidošanos seklā jūrā un deltas zemūdens nogāzē (Курш 1992). Iepriekšējos pētījumos iegūtie dati labi korelējas ar šajā bakalaura darbā iegūtajiem datiem, līdz ar to šos datus var interpretēt iepriekšējo pētījumu rezultātu kontekstā. Apkopojot iepriekšējos pētījumos iegūtos datus un izmantojot jauniegūtos faktus, iegūta šāda Burtnieku svītas sedimentācijas apstākļu interpretācija Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā – nogulumu uzkrāšanās uz dienvidrietumiem migrējošās zemūdens grēdās, kas pārvietojušās, iespējams, plūdmaiņu ietekmētā deltu kanālā.

## 6. SECINĀJUMI

Pamatojoties uz Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā atsegto vidējā devona Burtnieku svītas nogulumiežu ģeoloģisko griezumņu aprakstu, fāciju un to secību analīzi, iegūtajiem granulometriskās analīzes datiem, slīpslāņojuma un slāņojuma virsmu mērījumiem, kā arī paleobaseina dziļumu aprēķiniem, tika izdarīti šādi secinājumi:

- Dominējoši ļoti smalkgraudaini līdz smalkgraudaini smilšaini nogulumu ar labu šķirotību ir uzkrājušies ūdens straumēs no 0,5 līdz 5,6 m (vidēji 2,3 m) dziļumā;
- Spriežot pēc ģeoloģisko griezumņu uzbūves un tajos novērotajām tekstūrām, ūdens dziļums samazinās virzienā uz ziemeļiem, bet visos pētījuma objektos ūdens kopumā laika gaitā kļuvis seklāks un apstākļi mierīgāki;
- Slīpslāņojuma un slāņojuma virsmu mērījumi norāda uz paleostraumju virzieniem uz dienvidrietumiem-dienvidiem. Vidējais krituma azimuts aprēķināts kā  $231,4^{\circ}$ . Pētītajos smilšakmeņos novērojamas nelielas atšķirības paleostraumju virzienu datus Ežurgu klintīs un Zivtiņu klinšu dienvidu daļā, kas norāda uz, iespējams, atšķirīgām straumju sistēmām. Ežurgu klintīs dominē dienvidrietumu un dienvidu virziens, taču Zivtiņu klinšu dienvidu daļā dominē dienvidu-dienvidaustrumu virziens ar plašu izkliedi rietumu-dienvidu-austrumu virzienā;
- Starp Ežurgu klintīm un Zivtiņu klinšu dienvidu daļu bija izveidojies ar mālainām un aleirītiskām nogulām aizpildīts kanāls, kura veidojumi, domājams, pārklāj gan Zivtiņu klinšu dienvidu daļā, gan Ežurgu klintīs izplatītos smilšainos nogulumus;
- Kopumā sedimentācijas apstākļi pētījuma teritorijā tiek interpretēti kā nogulumu uzkrāšanās migrējošās zemūdens grēdās, kas pārvietojušās deltu kanālos uz dienvidrietumiem. Ūdens videi paliekot seklākai, kanāli pakāpeniski aizpildījies. Spriežot pēc novērotajām tekstūrām, nogulu uzkrāšanās vidi ietekmējušas plūdmaiņas, kā arī tā īslaicīgi nonākusi subareālos apstākļos.

## PATEICĪBAS

Vēlos izteikt lielu pateicību bakalaura darba vadītājam Dr. ģeol. asoc. prof. Ģirtam Stinkulim par nenovērtējamu palīdzību bakalaura darba tapšanas gaitā, M. ģeol. pētniekam Konrādam Popovam par palīdzību griezumu korelācijā ar urbumiem, visiem pārējiem Ģeoloģijas nodaļas pasniedzējiem, kas studiju laikā snieguši zināšanas, iedvesmu, motivāciju un idejas, kā arī kursabiedriem par atbalstu visu šo trīs gadu laikā.

## LITERATŪRAS SARAKSTS

### Publicētā literatūra

- Algeo, T. J., Scheckler, S. E. 1998. *Terrestrial marine teleconnections in the Devonian: links between the evolution of land plants, weathering processes, and marine anoxic events*. Blacksburg, USA, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Bhattacharya, J. P. 2006. *Deltas*. Texas, USA. University of Houston.
- Boggs, S. Jr. 2012. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. 5th ed. New Jersey, Pearson.
- Brangulis, A., Kuršs, V., Misāns, J., Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas ģeoloģija*. Rīga, VĢD.
- Dalrymple, R.W., Zaitlin, B.A., Boyd R. 1992. *Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications*. *Journal of Sedimentary Petrology*. 62, 1130-1146.
- Dēliņa, A., Klints I. 2012. *Groundwater abstraction in the Baltic Artesian Basin*. In: Dēliņa, A., Kalvāns, A., Saks, T., Bethers, U., Vircavs, V. (eds) *Highlights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin*. Riga, University of Latvia, 106-122.
- Kleesment, A., Mark-Kurik, E. 1997. *Middle Devonian*. In: Raukas, A., Teedumäe, A. (eds.) *Geology and Mineral Resources of Estonia*. Estonian Academy Publishers, Tallinn, 112-121.
- Kuršs, V., Stinkule, A. 1997. *Latvijas derīgie izrakteņi*. Rīga, Latvijas Universitāte.
- Leclair, S. F. & Bridge, J. S. 2001. *Quantitative interpretation of sedimentary structures formed by river dunes*. *Journal of Sedimentary Research*. 72, 5, 713–716.
- Le Hir, G., Donnadieu, Y., Godderis, Y., Meyer-Berthaud, B., Ramstein, G., Blakey, R. C. 2011. *The climate change caused by the land plant invasion in the Devonian*. *Earth and Planetary Science Letters*. 310, 203-212.
- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ., Mūrnieks, A., Popovs, K. 2012. *Geological evolution of the Baltic Artesian Basin*. In: Dēliņa, A., Kalvāns, A., Saks, T., Bethers, U., Vircavs, V. (eds.) *Highlights of Groundwater Research in the Baltic Artesian Basin*. Riga, University of Latvia, 7-52.
- Lukševičs, E., Stinkulis, Ģ. 2018. *Latvija – Zeme, daba, tauta, cilvēks*. In: Nikodemus, O., Kļaviņš, M., Krišjāne, Z., Zelčs, V. *Ģeoloģiskā vide un resursi*. Rīga, Latvijas Universitāte.

- McManus, J. 1988. *Grain size determination and interpretation*. In: Tucker, M. E. (ed.) *Techniques in Sedimentology*. Blackwell Science, 63-85.
- Morris, J. L., Leake, J. R., Stein, W. E., Berry, C. M., Marchall, J. E. A., Wellman, C. H., Milton, J. A., Hillier, S., Mannolini, F., Quirk, J., Beerling, D. J. 2015. *Investigating Devonian trees as geo-engineers of past climates: Linking paleosols to paleobotany and experimental geobiology*. The Paleontological Association.
- Nichols, G. 1999. *Sedimentology & Stratigraphy*. Oxford. Blackwell Science.
- Pipira, D., Stinkulis, Ģ. 2014. *Dolokrētu paveidi Latvijas devona slāņkopā*. Latvijas Universitātes 72. zinātniskā konference. Ģeogrāfija, ģeoloģija, vides zinātne. Referātu tēzes. Rīga, Latvijas Universitāte, 224-226.
- Plink-Björklund, P., Björklund, L. 1999. *Sedimentary response in the Baltic Devonian Basin to postcollisional events in the Scandinavian Caledonides*. GFF. 121, 79-80.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2007. *Depositional environments in an extensive tide influenced delta plain, Middle Devonian Gauja Formation, Devonian Baltic Basin*. *Sedimentology*. 55, 969-1006.
- Pontén, A., Plink-Björklund, P. 2009. *Regressive to transgressive transits reflected in tidal bars, Middle Devonian Baltic Basin*. *Sedimentary Geology*. 218, 48-60.
- Reddy, M. P. M., Affholder, M. 2002. *Descriptive physical oceanography: State of the Art*. Taylor and Francis. 249. lpp.
- Reineck, H. E., Singh, I. B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, New York.
- Scotese, C. R. 2014. *Atlas of Devonian Paleogeographic Maps*. PALEOMAP Project. Evanson, IL. p. 69.
- Stinkulis, Ģ., 1999. *Field trip "Devonian" guidebook (the Fourth Baltic Stratigraphical Conference)*. Riga, University of Latvia.
- Tänavsuu-Milkeviciene, K. & Plink-Björklund, P. 2009. *Recognizing tide-dominated versus tide-influenced deltas: Middle Devonian strata of Baltic Basin*. *Journal of Sedimentary Research*. 79, 887-905.
- Tovmasjana, K., Stinkulis, Ģ., Krakopa, E. and Zupiņš, I. 2011. *Stop 10: Sandstones, clayey deposits and dolocretes of the Devonian Burtnieki Formation in the Veczemji Cliff*. In: Stinkulis, Ģ. and Zelčs, V. (eds). *The Eighth Baltic Stratigraphical Conference. Post-Conference Field Excursion Guidebook*. Riga, University of Latvia. p. 54-57.

- Tovmasjana, K. 2013. *Depositional environment of the tidally-dominated transgressive succession: Rēzekne and Pārnu regional Stages, Baltic Devonian basin*. Summary of the Doctoral thesis. Riga, University of Latvia.
- Wentworth, C. K. 1922. *A scale of grade and class terms for clastic sediments*. The Journal of Geology, 30 (5), 377-392.
- Wolanski, E. 2007. *Estuarine Ecohydrology*. Amsterdam, Elsevier.
- Wright, V. P. 1990. *Meteoric diagenesis. Carbonate Sedimentology*. Ed. by Tucker, M. E., Wright, V. P. Blackwell Scientific Publications, 336-348.
- Куршс, В.М., Лярская, Л.А. 1979. *Буртниецкая свита*. В кн.: Мисанс, Я.П., Брангулис, А.П. (ред.) Геологическое строение и полезные ископаемые Латвии. Рига, 98-100.
- Куршс, В.М. 1992. *Девонское терригенное осадконакопление на Главном девонском поле*. Рига.

### **Nepublicētā literatūra**

- Berga, L. 2011. *Devona Burtnieku svītas smilšakmeņi Bezdelīgu klintīs: fācijas un veidošanās apstākļi: bakalaura darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Bērziņš, K.I. 1959. *Iepriekšējs pārskats par Limbažu rajona Tūjas ķieģeļfabrikas atradnē izdarītiem mālu meklēšanas darbiem*. Rīga. Latvijas vides, ģeoloģijas un meteoroloģijas centra fonds, Inv.Nr. 2162.
- Blāķe, D. 2011. *Devona Lodes svītas nogulumi un to veidošanās apstākļi: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Dreimanis, G. 2014. *Radziņu klintīs atsegto vidusdevona Burtnieku svītas nogulumiežu sedimentācijas apstākļi: bakalaura darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Krakopa, E. 2008. *Devona Burtnieku svītas smilšakmeņi atsegumu joslā Tūja-Vitrupe un to veidošanās apstākļi: bakalaura darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Krakopa, E. 2010. *Devona Burtnieku svītas nogulumieži Rīgas līča krasta posmā Vitrupe-Tūja: fācijas un veidošanās apstākļi: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.

- Kreišmane, D. 2014. *Burtnieku svītas nogulu sedimentācijas apstākļi Baltijas devona paleobaseina ziemeļu daļā: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Pugačs, J. 2012. *Devona Burtnieku svītas smilšainie nogulumi un to veidošanās apstākļi Tūjas apkārtnē: maģistra darbs*. Rīga, LU Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultāte, Latvijas Universitāte.
- Stinkulis, Ģ. 1998. *Latvijas devona klastisko-karbonātiežu un kaļķakmeņu-dolomītu pārejas zonu sedimentoloģija un mineraloģija*. Promocijas darbs. Rīga, Latvijas Universitāte, 228 lpp.

### **Elektroniskie resursi**

*Ežurgu klintis*. Latvijas Investīciju un attīstības aģentūra, 2016. Sk. 04.05.2018. Pieejams:

<http://www.latvia.travel/lv/apskates-vieta/ezurgu-klintis>

Atsauce tekstā: (LIAA 2016)

*Zivtiņu klintis*. Latvijas Investīciju un attīstības aģentūra, 2016. Sk. 04.05.2018. Pieejams:

<http://www.latvia.travel/lv/apskates-vieta/zivtinu-atsegumi>

Atsauce tekstā: (LIAA 2016)

Okeke, S. 2015. *Intro to Sedimentology: Economic importance of sedimentary environment*.

Afe Babalola University Ado-Ekiti (ABUAD). Sk. 02.05.2018. Pieejams:

[http://lms.abuad.edu.ng/claroline/work/user\\_work.php?authId=6935&assigId=2&cidRes et=true&cidReq=GEY309](http://lms.abuad.edu.ng/claroline/work/user_work.php?authId=6935&assigId=2&cidRes et=true&cidReq=GEY309)

Atsauce tekstā: (Okeke 2015)

### **Datu bāzes**

Datu avots: Takcidi, 1999; Datubāze: *Starpnozaru zinātnieku grupas un modeļu sistēmas*

*izveide pazemes ūdeņu pētījumiem*, 2012. Puma.lu.lv. Sk. 16.05.2018. Pieejams:

puma.lu.lv

Atsauce tekstā: (Starpnozaru zinātnieku grupas ... 2012)

## **Kartogrāfiskie materiāli**

Valsts zemes dienesta Kartogrāfijas pārvalde, 2000. *Latvijas satelītkarte mērogā 1:50 000.*

LU ĢZZF WMS. LU ĢZZF WMS. Sk. 10.05.2018. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>

Atsauce tekstā: (Valsts zemes dienesta ... 2000)

Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra (ĻĢIA) 2013. *Piejūras ortofoto.* LU ĢZZF

WMS. Sk. 10.05.2018. Pieejams: <http://kartes.geo.lu.lv>

Atsauce tekstā: (Latvijas Ģeotelpiskās informācijas aģentūra 2013)

## PIELIKUMI

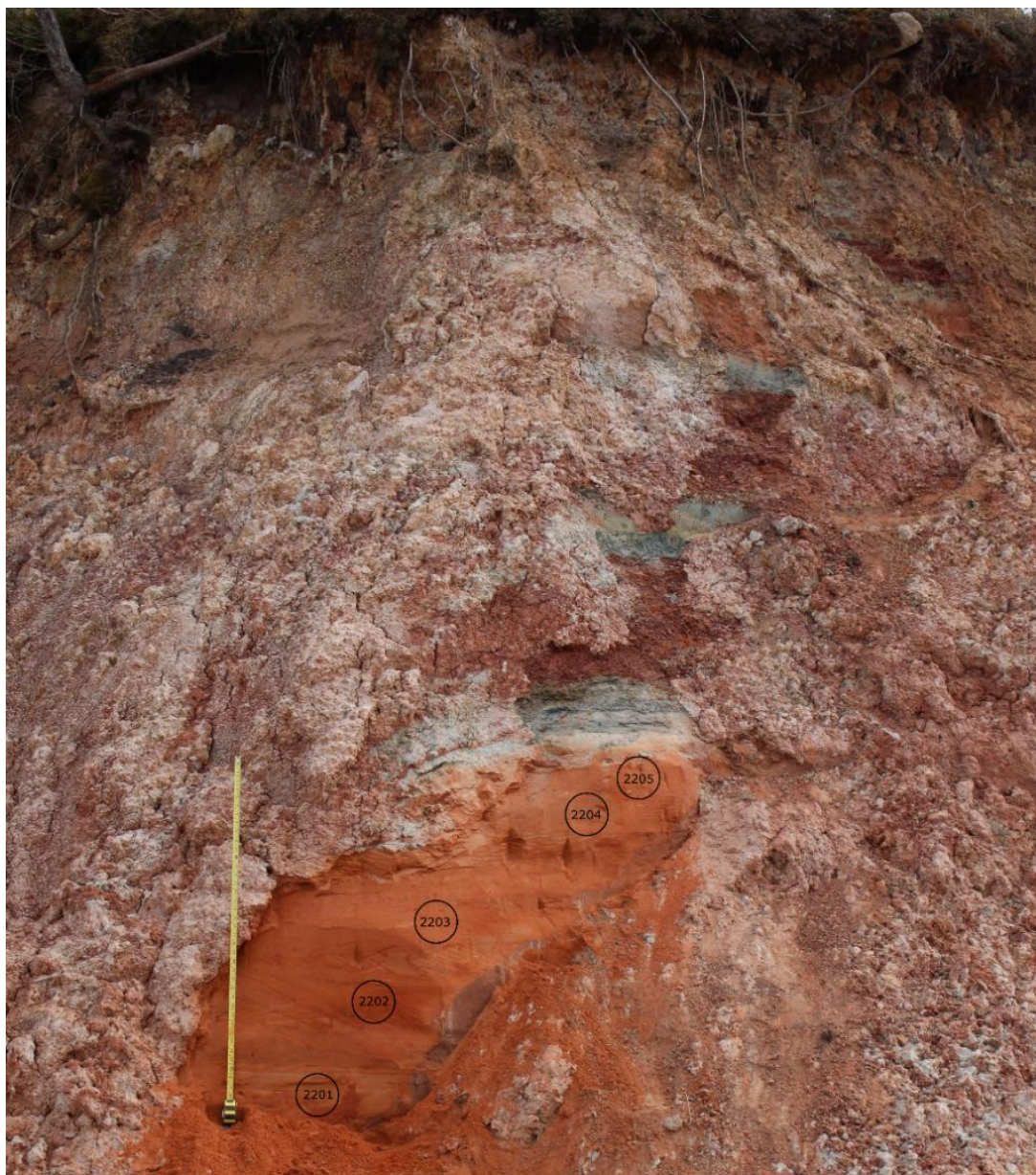
### 1. pielikums – granulometriskās analīzes tabula

Paraugs	Frakciju izmēri (mm) un to svars (g)																Kopā (g)	Vidējais graudu izmērs (mm)										
	<0.06		0.063-0.08		0.1-0.125		0.125-0.16		0.16-0.2		0.2-0.25		0.25-0.315		0.315-0.4				0.4-0.5		0.5-0.63		0.63-0.8		0.8-1		>1	
	3	0.08	0.1	0.08	0.1	0.125	0.16	0.16	0.2	0.2	0.25	0.25	0.315	0.315	0.4	0.4			0.5	0.5	0.63	0.63	0.8	0.8	0.8-1	0.8-1	>1	>1
2201	0.15	0.11	1.34	4.09	16.2	34.72	21.7	2.74	1.7	1.05	0.45	0.13	0.03	0.02	84.39	181.20												
2202	0.38	2.4	6.94	6.47	10.06	36.76	53.7	8.64	3.96	2.47	1.07	0.2	0.03	0	133.06	191.70												
2203	2.08	3.92	11.16	15.5	24.47	15.71	7.72	4.13	4.73	3.54	1.64	0.62	0.1	0.01	95.29	151.10												
2204	4.11	13.2	25.87	35.7	26.01	7.59	1.83	0.38	0.13	0.03	0.04	0.02	0.1	0.01	115.05	109.30												
2205	5.02	6.82	29.08	41.1	43.72	17.2	4.56	0.56	0.52	0.03	0.02	0.04	0.02	0	148.72	118.70												
2206	0.99	1.84	4.96	10.7	36.5	70.38	15.7	0.72	0.13	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	142.01	162.00												
2207	1.49	3.09	10.04	22.3	49.22	99.59	13.8	0.42	0.06	0.01	0.02	0.01	0.01	0	200.02	155.70												
2208	4.71	4.05	19.95	31.5	56.53	89.6	17.5	1.06	0.2	0.04	0.03	0.03	0.01	0.01	225.3	146.90												
2209	0.86	0.64	11.68	35.5	58.19	70.18	53.2	5.07	1.11	0.09	0.03	0.01	0	0	236.62	161.90												
2210	5.24	4.55	11.65	15.8	32.34	100.6	107	8.39	0.79	0.06	0.03	0.01	0.02	0	286.87	180.00												
2211	6.81	6.35	24.15	33.6	52.89	46.25	5.06	0.54	0.13	0.04	0.04	0.03	0	0.05	175.96	130.70												
2212	0.41	0.95	3.79	9.08	29.98	100.8	19.4	0.43	0.09	0.01	0.01	0.02	0	0	164.93	168.00												
2213	0.92	1.61	4.47	9.24	26.92	116	61.9	2.54	0.3	0.01	0	0	0	0	223.86	182.40												
2214	0.48	1.39	5.18	10.4	39.39	95.71	51.9	2.55	0.39	0.08	0.01	0.01	0.02	0	207.5	175.50												
2215	6.69	14.07	42.33	66.4	87.54	25.78	4.65	0.72	0.27	0.03	0.01	0.02	0	0	248.48	119.30												
2216	5.1	13.75	40.71	61	99.39	34.05	11.1	1.32	0.27	0.08	0.03	0.01	0.03	0	266.77	124.60												
2217	5.02	9.8	29.52	40	60.78	40.28	4.46	0.72	0.14	0.04	0.01	0.02	0	0.01	190.82	127.00												
2221	3.68	9.92	23.15	34.6	71.74	50.64	8.06	1.04	0.3	0.04	0.02	0.01	0.01	0	203.17	134.00												
2222	3.16	11.98	46.22	45.5	48.04	26.94	8.38	1.46	0.2	0.04	0.02	0.01	0	0	191.91	119.90												
2223	1.72	6.1	33.26	44.9	66.34	36.36	12.6	1.3	0.16	0.04	0.02	0.01	0	0	202.81	130.70												
2224	1.56	6.97	20.69	34.4	36.87	24.35	6.48	1.25	0.24	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	132.92	127.50												
2225	1.9	5.42	30.34	50.6	49.1	32.76	8.4	3.84	0.42	0.08	0.03	0.02	0.03	0	182.9	128.80												
2226	7.02	11.19	25.21	14.2	25.03	29.81	7.79	0.92	0.8	0.47	0.29	0.09	0.02	0.01	122.83	125.20												

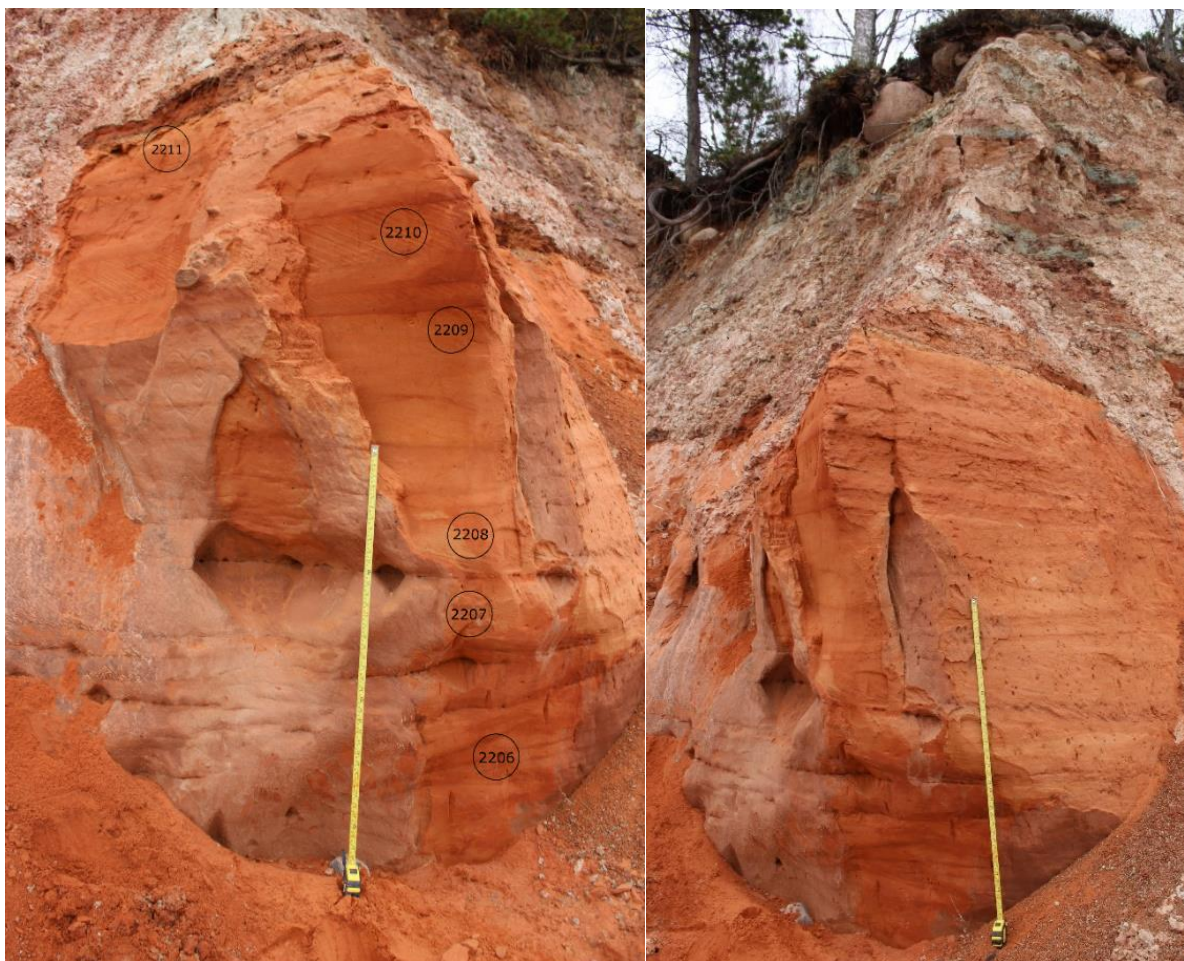
1. pielikuma turpinājums

Paraugs	Frakciju izmēri (mm) un to daudzums (%)															
	<0.063	0.063-0.08	0.08-0.1	0.1-0.125	0.125-0.16	0.16-0.2	0.2-0.25	0.25-0.315	0.315-0.4	0.4-0.5	0.5-0.63	0.63-0.8	0.8-1	>1		
	0.18	1.59	4.85	19.20	41.14	25.67	3.25	2.01	1.24	0.53	0.15	0.04	0.02			
2201	0.29	1.80	4.86	7.56	27.63	40.34	6.49	2.98	1.86	0.80	0.15	0.02	0.00			
2202	2.18	4.11	11.71	16.22	25.68	16.49	8.10	4.33	4.96	3.71	1.72	0.65	0.10	0.01		
2203	3.57	11.47	22.49	31.06	22.61	6.60	1.59	0.33	0.11	0.03	0.03	0.02	0.09	0.01		
2204	3.38	4.59	19.55	27.66	29.40	11.57	3.07	0.38	0.35	0.02	0.01	0.03	0.01	0.00		
2205	0.70	1.30	3.49	7.50	25.70	49.56	11.06	0.51	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02		
2206	0.74	1.54	5.02	11.14	24.61	49.79	6.89	0.21	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00		
2207	2.09	1.80	8.85	14.00	25.09	39.77	7.79	0.47	0.09	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00		
2208	0.36	0.27	4.94	15.02	24.59	29.66	22.49	2.14	0.47	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00		
2209	1.83	1.59	4.06	5.49	11.27	35.05	37.47	2.92	0.28	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00		
2210	3.87	3.61	13.72	19.11	30.06	26.28	2.88	0.31	0.07	0.02	0.02	0.02	0.00	0.03		
2211	0.25	0.58	2.30	5.51	18.18	61.09	11.77	0.26	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00		
2212	0.41	0.72	2.00	4.13	12.03	51.81	27.64	1.13	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
2213	0.23	0.67	2.50	5.03	18.98	46.13	24.99	1.23	0.19	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00		
2214	2.69	5.66	17.04	26.71	35.23	10.38	1.87	0.29	0.11	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00		
2215	1.91	5.15	15.26	22.85	37.26	12.76	4.15	0.49	0.10	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00		
2216	2.63	5.14	15.47	20.97	31.85	21.11	2.34	0.38	0.07	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01		
2217	1.81	4.88	11.39	17.01	35.31	24.92	3.97	0.51	0.15	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00		
2221	1.65	6.24	24.08	23.69	25.03	14.04	4.37	0.76	0.10	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00		
2222	0.85	3.01	16.40	22.14	32.71	17.93	6.21	0.64	0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00		
2223	1.17	5.24	15.57	25.90	27.74	18.32	4.88	0.94	0.18	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01		
2224	1.04	2.96	16.59	27.64	26.85	17.91	4.59	2.10	0.23	0.04	0.02	0.01	0.02	0.00		
2225	5.72	9.11	20.52	11.54	20.38	24.27	6.34	0.75	0.65	0.38	0.24	0.07	0.02	0.01		
2226																

2. pielikums – EŽ-1 atsegums ar paraugu ņemšanas vietām. Mērlentes garums – 1 m.



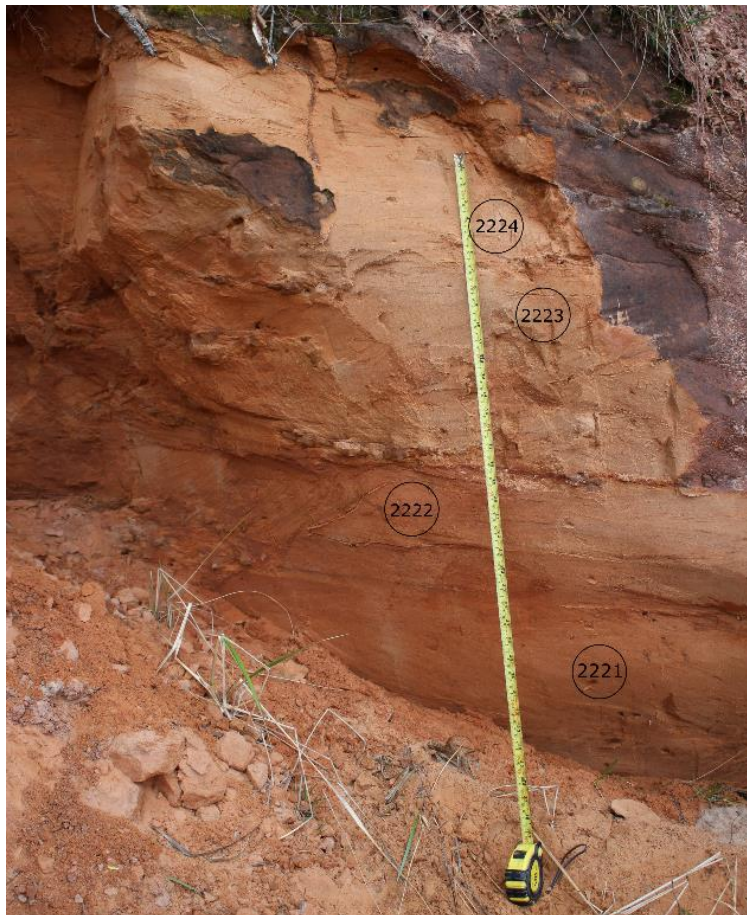
3. pielikums - EŽ-2 atsegums ar paraugu ņemšanas vietām. Mērlentes garums – 1 m.



4. pielikums - EŽ-3 atsegums ar paraugu ņemšanas vietām. Mērlentes garums – 1 m.



5. pielikums - EŽ-4 atsegums ar paraugu ņemšanas vietām. Mērlentes garums – 1 m.



6. pielikums - Ežurgu klinšu (augšējais attēls) un Zivtiņu klinšu dienvidu daļas (apakšējais attēls) fotokolāžas (fotogrāfiju apstrāde Ģ. Stinkulis, apzīmējumi un interpretācija S. Žagata). Apzīmējumi: dzeltenā līnija - smilšaino un mālaini-aleirītisko slāņkopu robeža; sarkanā bulta – fotomozaīkas turpinājums; melnā lauztā līnija – mālainu un aleirītisku nogulumu izplatības josla, kas pārsvarā ir aizaugusi (ārpus mēroga).



Bakalaura darbs „Ežurgu klintīs atsegto devona Burtnieku svītas nogulumiežu sedimentācijas vides interpretācija” 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: Sigita Žagata

\_\_\_\_\_

paraksts

\_\_\_\_\_

datums

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Zinātniskais vadītājs: Dr. ģeol. asoc. prof. Ģirts Stinkulis

\_\_\_\_\_

paraksts

\_\_\_\_\_

datums

Recenzents: M. ģeol. Evita Krakopa

Darbs iesniegts Ģeoloģijas nodaļas lietvedībā 21.05.2018.

Nodaļas lietvedis Indra Baltmane

\_\_\_\_\_

paraksts

\_\_\_\_\_

datums

Noslēguma darba aizstāvēšanas rezultāti:

Bakalaura darbs aizstāvēts Ģeoloģijas akadēmisko studiju gala pārbaudījumu komisijas sēdē

..... protokola nr. ....

vērtējums .....

gads, datums, mēnesis

Sekretārs

\_\_\_\_\_

paraksts

\_\_\_\_\_

datums