Analiza preduvjeta procesima odronjavanja i erozije na području Republike Hrvatske

Posarić, Dino

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:347218

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

ANALIZA PREDUVJETA PROCESIMA ODRONJAVANJA I EROZIJE NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

Diplomski rad

DINO POSARIĆ
GI 287

Zagreb, 2018.

Veliku zahvalnost bih htio iskazati mentorici, prof. dr. sc. Snježani Mihalić Arbanas na stručnoj pomoći, usmjeravanju i savjetima tijekom izrade ovog diplomskog rada, ali i tijekom svih godina studiranja na raznim kolegijima.

Htio bih se zahvaliti i asistentu Marinu Sečnju na pomoći tijekom diplomskog rada s svojim stručnim savjetima, pristupačnosti i znanjem.

Zahvalnost tijekom svih godina školovanja htio bih iskazati svojoj obitelji, majci Sonji, braći Slavenu i Nikoli, ocu Krunoslavu i prijateljima koji su mi pomogli tijekom moga obrazovanja podrškom, savjetima i brizi.

Zahvalnost bih htio iskazati svojoj djevojci Lauri koja mi je bila velika podrška i oslonac tijekom svih godina studiranja.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

ANALIZA PREDUVJETA PROCESIMA ODRONJAVANJA I EROZIJE NA PODRUČJU REPUBLIKE HRVATSKE

DINO POSARIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10002 Zagreb

Sažetak

Odronjavanje je po definiciji aktivni geomorfološki proces kod kojeg dolazi do odvajanja pojedinačnog ili nekoliko blokova stijene sa strmo nagnutih padina nakon čega slijedi brzi pokret niz kosinu slobodnim padom, odskakivanjem, kotrljanjem i klizanjem. S obzirom da je oko 50% Hrvatske krško područje, pojave te vrste klizišta su česte i u prošlosti su izazvale velike štete na infrastrukturnim građevinama, naseljima i ugrozu ljudskih života. Erozija je aktivni geomorfološki proces koji uzrokuje transport materijala posredstvom agenasa vode, vjetra ili leda. Erozija može destabilizirati padinu konstantnim odnosom materijala i izazvati pojavu klizišta. Cilj ovog rada je uz pomoć dostupnih izvora podataka saznati u kakvim se vrstama naslaga pojavljuju procesi odronjavanja i erozije te koliki su nagibi padina na zabilježenim lokacijama odrona. Pregled ovih pojava izrađen je po geotektonskim jedinicama na području Republike Hrvatske. Analize preduvjeta procesa predstavljaju početni korak za daljnja istraživanja i radove kao što su procjena podložnosti, hazarda ili rizika od odrona i erozije.

Ključne riječi: odron, erozija, geotektonske jedinice, analiza naslaga i nagiba, Hrvatska

Diplomski rad sadrži: 51 stranice, 20 slika, 4 tablice, 23 reference
Jezik izvornika: hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas
Pomoć pri izradi: Marin Sečanj, mag.ing.geol.

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Snježana Mihalić Arbanas, UNIZG-RGNF
Doc. dr. sc. Martin Krkač, UNIZG-RGNF
Prof. dr. sc. Željko Arbanas, UNIRI-GF

Datum obrane: 16.11.2018.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Master's Thesis

ANALYSIS OF PREPATORY CONDITIONS TO LANDSLIDES AND EROSION PROCESSES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF CROATIA

DINO POSARIĆ

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Geology and Geological Engineering
Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb

Abstract

By definition, landslides represent an active geomorphological process which occurs when a single block or several blocks of rock separate from a steep slope and fall, bounce, roll and slide at high velocity down the slope. Considering that 50% of Croatia is karst area, these kinds of landslides are frequent and have caused a lot of damage to the infrastructure, settlements and have threatened human lives. Erosion is an active geomorphological process which is caused by the transport of material through water, wind or ice. Erosion can cause the destabilization of slopes by the constant removal of material and thus causing landslides. Using available data sources, the goal of this thesis is to discover, the types of beds that are prone to landslides and erosion and also to examine what is the inclination on locations of recorded landslides. The overview of landslides and erosion is performed according to tectonic units in Croatia. Such analyses of preparatory casual processes represent the first step in future research into topics such as susceptibility assessment, hazard and landslide and erosion risks.

Keywords: landslides, erosion, tectonic units, analysis of beds and inclination, Croatia.

Thesis contains: 51 pages, 20 pictures, 4 tables, 23 references

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Full Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD

Technical support and assistance: Marin Sečanj, MEng.

Reviewers: Full Professor Snježana Mihalić Arbanas, PhD, UNIZG-RGNF

Assistant Professor Martin Krkač, PhD, UNIZG-RGNF

Full Professor Željko Arbanas, PhD, UNIRI-GF

Date of defense: November 16, 2018

SADRŽAJ

1.UVOD 1

2. TEORIJSKE OSNOVE 3

2.1 Geotektonske jedinice na području Republike Hrvatske 3

2.2 Procesi odronjavanja 7

2.3 Procesi erozije 9

2.4 Inventari klizišta 10

3. ULAZNI PODACI 11

3.1 Inventar klizišta s Osnovne inženjerskogeološke karte (OIGK) 11

3.2 Vrsta stijena i tala prema Osnovnoj inženjerskogeološkoj karti SFRJ 13

3.3 Vrsta stijena i tala prema geološkoj karti Republike Hrvatske 18

3.4 Nagib padina 22

4. ANALIZE UČESTALOSTI ODRONA I EROZIJE 23

4.1 Analiza odrona (sipara) 24

4.1.2 Geotektonska jedinica Visoki krš 24

4.1.3 Geotektonska jedinica Dalmatinska zona 31

4.2 Analiza erozije (jaruga) 37

5. DISKUSIJA 44

6. ZAKLJUČAK 47

LITERATURA 49

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Tektonske jedinice Dinarida i Panonskog bazena na području Hrvatske i BIH prema Schmid i dr. (2008); preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr. (2017). 4

Slika 2.2 Geotektonske jedinice Dalmatinska zona i Visoki krš (preuzeto iz Schmid i dr., 2008): (A) Kartografski prikaz geotektonskih jedinica na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Bojama su označene najvažniji tektonski kontakti u Dinaridima raspoređeni po geološkoj starosti; (B) Dio geološkog profila 5. 6

Slika 2.3 Shematski prikaz odronjavanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015). 8

Slika 2.4 Prikaz uzročnika klizanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015). 8

Slika 3.1 Prikaz prostornog rasporeda sipara i jaruga prema OIGK (Čubrilović i dr., 1967) po geotektonskim jedinicama na području Republike Hrvatske. 12

Slika 3.2 Prikaz digitaliziranih inženjerskogeoloških jedinica modificirano prema OIGK (Čubrilović i dr., 1967). Nazivi i opisi jedinica dani su u tablici 3.1 prema pripadajućim brojevima. 17

Slika 3.3 Prikaz digitaliziranih kronostratigrafskih jedinica preuzeto s geološke karte Republike Hrvatske (Hrvatski geološki institut, 2009). Nazivi i opisi jedinica dani su u tablici 3.3 prema pripadajućim brojevima. 21

Slika 3.4 Prikaz nagiba padina na području Republike Hrvatske, manjih od 44° i većih od 44° 22

Slika 4.1 Analiza učestalosti sipara u inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš. Prostorni prikaz inženjerskogeoloških jedinica izrađen je prema modificiranoj OIGK-a (Čubrilović i dr., 1967). 26

Slika 4.3 Analiza učestalosti sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš. Prostorni raspored kronostratigrafskih jedinica preuzet je s geološke karte RH (Hrvatski geološki institut, 2009). 28

Slika 4.4 Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009). 29

Slika 4.5 Prikaz nagiba padina na području geotektonske jedinice Visoki krš s zabilježenim pojavama sipara..... 30

Slika 4.6 Analiza učestalosti sipara u inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona. Prostorni prikaz inženjerskogeoloških jedinica izrađen je prema OIGK-a (Čubrilović i dr., 1967). 32

Slika 4.7 Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona izrađeno prema modificiranoj OIGK (Čubrilović i dr., 1967). 33

Slika 4.8 Analiza učestalosti sipara u kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona. Prostorni prikaz kronostratigrafskih jedinica izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009)..... 34

Slika 4.9 Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009). 35

Slika 4.10 Prikaz nagiba padina na području geotektonske jedinice Dalmatinska zona s zabilježenim pojavama sipara..... 36

Slika 4.11 Osnovna inženjerskogeološka karta SFRJ (Čubrilović i dr., 1967) – prikaz prostornog rasporeda inženjerskogeoloških jedinica i jaruga..... 42

Slika 4.12 Geološka karta RH (Hrvatski geološki institut, 2009) – prikaz prostornog rasporeda kronostratigrafskih jedinica i jaruga 43

POPIS TABLICA

Tablica 3.1 Inženjerskogeološke jedinice stijena i tala s OIGK (Čubrilović i dr., 1967) na području Republike Hrvatske. D - promjer zrna u mm, U - koeficijent nejednoličnosti zrna, n - poroznost u postotcima, k - hidraulička vodljivost u cm/s, σ - jednoosna tlačna čvrstoća u kp/cm^2, α - trošenje u cm^3/50 cm^2 i β - kut prirodnog nagiba padina u stupnjevima. 13

Tablica 3.2 Veličina površina i zastupljenost pojedine inženjerskogeološke jedinice na području Republike Hrvatske; OIGK (Čubrilović i dr., 1967). 16

Tablica 3.3 Kronostratigrafske jedinice stijena i tala s geološke karte RH (Hrvastki geološki institut, 2009) na području Republike Hrvatske. 18

Tablica 4.1 Zastupljenost jaruga po svakoj geotektonskoj jedinici i naslage u kojima se jaruge pojavljuju. 38

1.UVOD

Klizište je geomorfološka pojava nastala kretanjem mase stijene ili tla niz padinu (Cruden, 1991). Klizišta u današnje vrijeme predstavljaju problem u svim dijelovima svijeta iz razloga što uzrokuju ekonomske gubitke, gubitak ljudskih života, oštećenje imovine privatne i/ili državne. Klizišta su pojave koja nastaju procesima klizanja, a najčešće su povezana s nekim ekstremnim događajima kao npr. potresi, poplave, intenzivne oborine ili mogu nastati kao posljedica antropogenog utjecaja.

Mogući mehanizmi klizanja su klizanje, tečenje, odronjavanje, prevrtanje i bočno razmicanje (Varnes, 1984). Klizišta se opisuju na način da se navede tip pokreta i vrsta materijala u kojem je nastalo, a s obzirom na materijal to može biti tlo ili stijena. Cilj ovog rada je analizirati procese odronjavanja i erozije te naslage u kojima se ove dvije pojave pojavljuju. Odronjavanje je po definiciji aktivni geomorfološki proces kod kojeg dolazi do odvajanja pojedinačnog ili nekoliko blokova stijene sa strmo nagnutih padina nakon čega slijedi brzi pokret niz kosinu slobodnim padom, odskakivanjem, kotrljanjem i klizanjem (Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015). Odroni su analizirani na području geotektonskih jedinica Vanjskih Dinarida i Jadranske ploče s obzirom da je tamo zabilježena pojava odrona. Razlog analize po geotektonskim jedinicama je taj što tektonski razvoj spada u preduvjete klizanja i znatno je utječe na geološke i geomorfološke uvjete tog područja, a time i na pojavu klizišta. Uz odrone česta je i pojava sipara. Sipar je pojava koja nastaje procesom odronjavanja materijala stijene ili tla u podnožju padine te ukazuju na aktivni proces odronjavanja (Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015). Lokacija sipara u ovome radu utvrđena je na temelju digitalizirane Osnovne inženjerskogeološke karte SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967), a inventar predstavljaju podaci digitalizirani s OIGK. Analizom OIGK utvrđivane su naslage u kojima se sipari pojavljuju i broj sipara po svakoj inženjerskogeološkoj jedinici. Analiziranjem geološke karte Republike Hrvatske M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009) utvrđivane su kronostratigrafske jedinice u kojima se pojavljuju sipari te ukupan broj sipara po svakoj jedinici. Na taj način mogu se utvrditi područja na kojima bi moglo doći do procesa odronjavanja. Erozija je egzodinamički proces koji obuhvaća odvajanje, pokretanje i transport čestica različitim agensima, a to su vjetar, voda ili led (Benac, 2013). U erozijske oblike pripadaju jaruge koje su analizirane kako bi se utvrdile naslage u kojima se pojavljuju. Analiza je provedena pomoću OIGK i geološke karte RH. Kut nagiba padina na području Republike Hrvatske određen je iz

digitalnog modela visina –DMV rezolucije 20 metara. Određivani kutovi nagiba padina poslužili su kako bi se analiziralo kakvi su kutovi nagiba padina na područjima na kojima su utvrđene lokacije sipara. Analiza karata je rađena u računalnom programu *ArcGIS Desktop.* Analiza podataka i izrada dijagrama provedena u Microsoft *Excel-u 2016*.

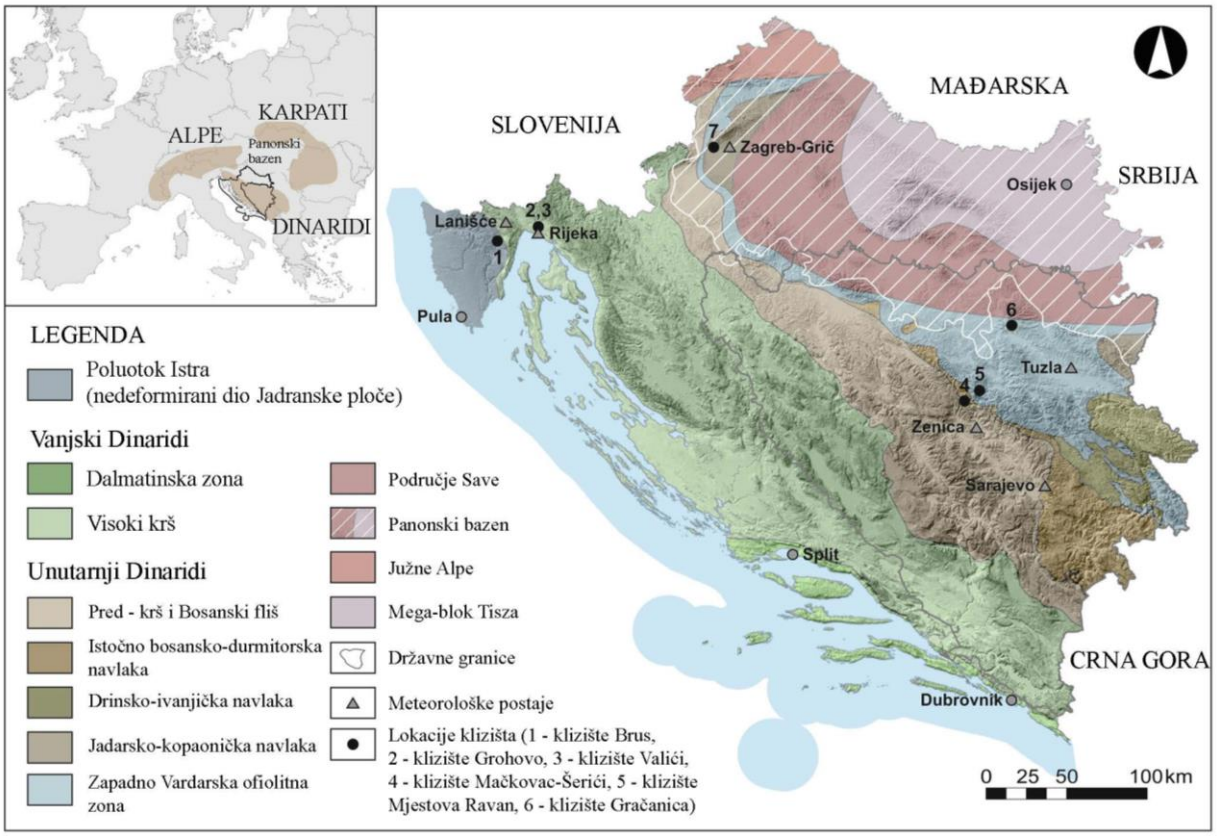
Klizišta su često karakterizirana kao lokalne pojave i zato ih se ne smatra kao ozbiljan problem, ali učinci klizišta iziskuju velike financijske izdatke, kako za pojedinca tako i za jedinice lokalne samouprave (Highland i Bobrowsky, 2008). U Republici Hrvatskoj postoji rizik od odrona i najčešće ugrožava prometnice i naselja koja su smještena u blizini strmih stijenskih kosina (Udovič i dr., 2013).

U okviru *Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa* napravljen je članak u kojem se navode mogućnosti za procjenu hazarda i rizika od odrona u stijeni (Arbanas i dr., 2018). U članku se također navodi kako u Republici Hrvatskoj nije usvojena niti jedna metoda za procjenu hazarda ili analizu odrona. U zadnjem desetljeću, u svijetu je razvijeno nekoliko kvalitativnih (Ferrari i dr., 2016) i kvantitativnih (Fell i dr., 2014) metoda koje uz određene prilagodbe mogu biti primjenjivane u Hrvatskoj. S obzirom da oko 50% područja Hrvatske pripada Dinaridima gdje najveću opasnost predstavljaju odroni, inicijativa za procjenom i analizom pojave odrona je od velike važnosti s obzirom da se na taj način može zaštiti čovjeka, očuvati baštinu, potrebnu infrastrukturu i ostala dobra. Analize koje su u sklopu ovoga rada mogu biti ulazni podatak u procjeni podložnosti, hazarda ili rizika u stijenskoj masi.

2. TEORIJSKE OSNOVE

2.1 Geotektonske jedinice na području Republike Hrvatske

Na području Republike Hrvatske općenito se razlikuju dvije glavne geotektonske jedinice, Dinaridi i Panonski bazen (Mihalić Arbanas i dr., 2017). Dinaridi zauzimaju oko 51% površine Hrvatske, dok Panonski bazen zauzima oko 49% površine. Panonski bazen je smješten na granici između središnje i jugoistočne Europe, a pripada Alpsko-Himalajskom sustavu. Na tom području se nalaze i do 6 km debele naslage miocensko-pliocenske starosti. Dinaridi predstavljaju planinski lanac koje se proteže od Slovenije, kroz Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu, Crnu Goru sve do Albanije na jugu. Pružaju se u smjeru sjeverozapad – jugoistok, uz samu obalu Jadranskoga mora. Izdizanje Dinarida započelo je u razdoblju gornje krede, a najaktivnija faza odvijala se tijekom paleogena i neogena kada dolazi do formiranja konvergentne granice između dviju ploča, Jadranske ploče i Europe (Schmid i dr., 2008). Zbog svoje složenosti, a s obzirom na genezu, Dinaridi se dijele na Vanjske i Unutarnje Dinaride (Schmid i dr., 2008, Tomljenović i dr., 2008). Prema navedenim autorima Vanjski Dinaridi se dijele na Dalmatinsku zonu i Visoki krš, dok se Unutarnji Dinaridi dijele na Pred-krš i Bosanski fliš, Istočno bosansko-durmitorsku navlaku, Drinsko-ivanjičku navlaku, Jadarsko–kopaoničku navlaku i Zapadno-Vardarsku ofiolitnu zonu (slika 2.1).

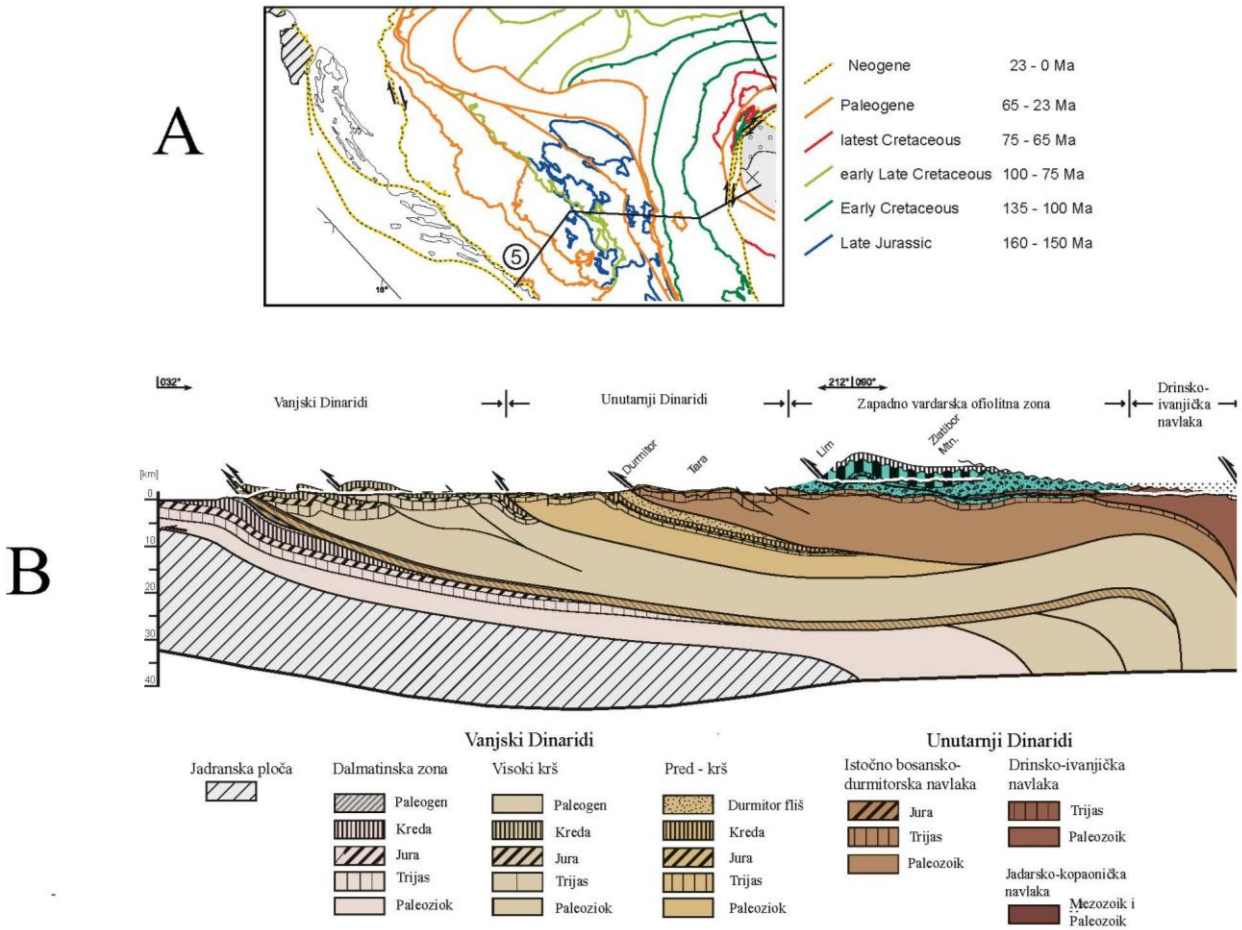


Slika 2.1 *Tektonske jedinice Dinarida i Panonskog bazena na području Hrvatske i BIH prema Schmid i dr. (2008); preuzeto iz Mihalić Arbanas i dr. (2017).*

U ovom radu se detaljnije obrađuju samo geotektonske jedinice Vanjskih Dinarida i Jadranske ploče na području Republike Hrvatske gdje dominiraju stijene. S obzirom na to, u daljnjem tekstu se detaljnije opisuju Dalmatinska zona i Visoki krš (geotektonske jedinice Vanjskih Dinarida), te Istarski poluotok koji predstavlja nedeformirani dio Jadranske ploče. Dalmatinsku zonu i Visoki krš dijeli rasjedna zona koja se nalazi u transtenzijskom polju naprezanja s desnim pomakom i pružanjem od Karlovca na sjeveru do Splita na jugu. Rasjedanje se odvijalo tijekom kasnog eocena i ranog oligocena do kasnog miocena, a dokaz tomu su flišoliki sedimenti koji su se taložili u bazenima tijekom srednjeg i kasnog eocena, te miocena (Tari, 2002). Na površini Vanjskih Dinarida nalaze se vapnenci, dolomiti, konglomerati, breče, te fliš. Najstarije naslage su iz razdoblja karbona i perma. Najmlađe naslage su kvartarne starosti različite geneze, kao npr. aluvijalne, fluvijalne, deluvijalno-proluvijlane naslage i dr. (Hrvatski geološki institut, 2009). Na profilu (slika 2.2) su

prikazani strukturni odnosi i naslage u geotektonskim jedinicama Dalmatinska zona i Visoki krš. Na samom profilu su vidljive navlake koje ukazuju na kompresijski režim naprezanja koji je vladao tijekom gornje krede gdje dolazi do izdizanja Dinarida. Kasnije se tijekom paleogena režim mijenja u transtenzijski gdje dolazi do pojave rasjeda s desnim pomakom. Transtenzijski režim naprezanja je prisutan do eocena - oligocena kada se mijenja zbog pojave subdukcijske zone između Dinarida i Alpa. Izdizanje Dinarida traje do razdoblja paleogen-neogen, a Jadranska ploča se nastavlja gibati prema sjeveru tijekom neogena (Schmid i dr. 2008).

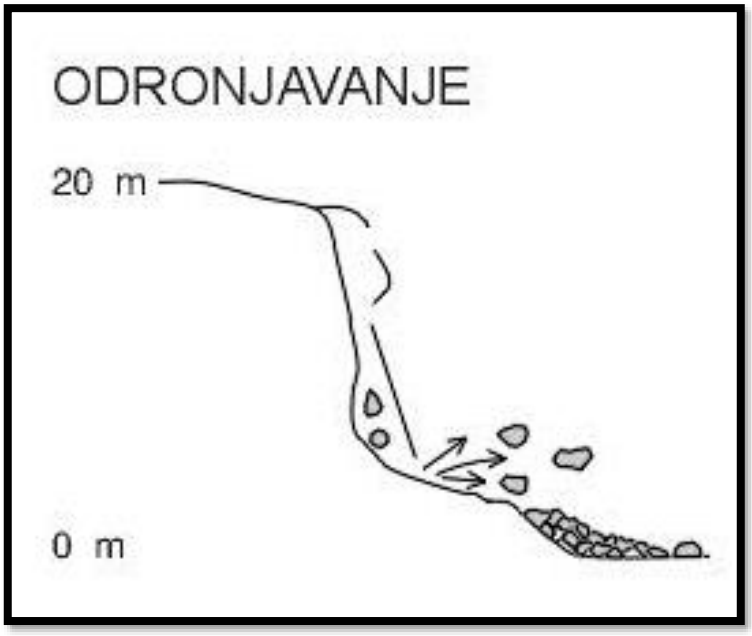
Istarski poluotok se može podijeliti u tri dijela (Velić i dr., 1995; Krebs i Penck, 2010): 1) Crvena Istra; 2) Siva Istra; i 3) Bijela Istra. Naziv Crvena Istra dodijeljen je prema kvartarnim površinskim naslagama *Terra Rossa* u jugoistočnim (JI) i zapadnim (Z) dijelovima Istre. Siva Istra je naziv za područje koje je prekriveno eocenskim flišem u središnjem dijelu Istre. Bijela Istra je naziv za područje koje je prekriveno klastičnim i karbonatnim naslagama kredne i paleogenske starosti u istočnom i sjeveroistočnom dijelu poluotoka



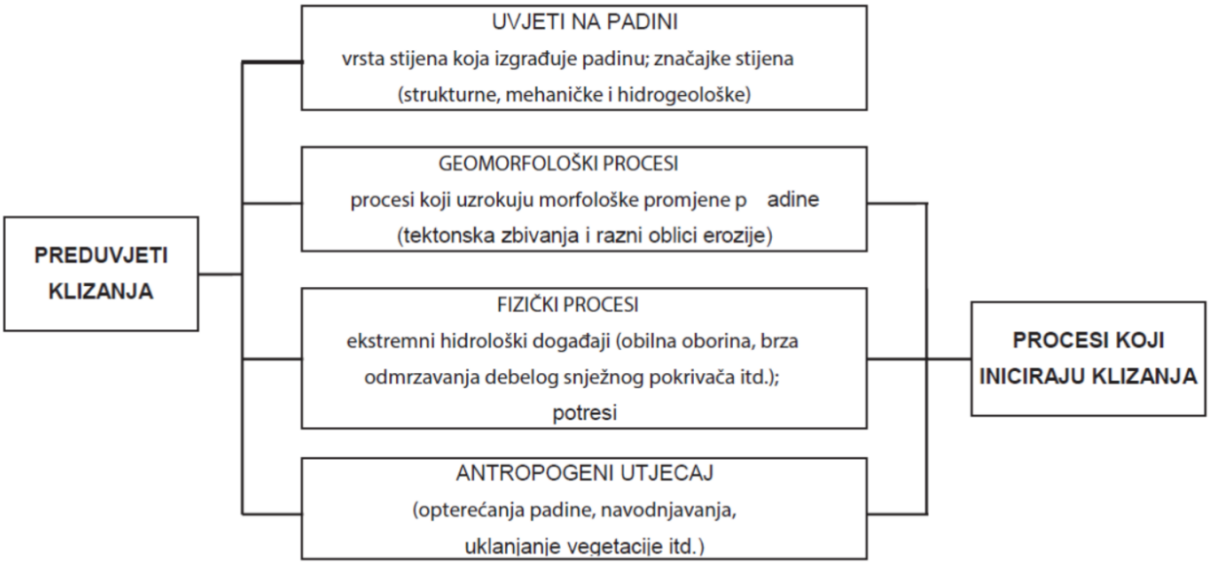
Slika 2.2 *Geotektonske jedinice Dalmatinska zona i Visoki krš (preuzeto iz Schmid i dr., 2008): (A) Kartografski prikaz geotektonskih jedinica na području Hrvatske i Bosne i Hercegovine. Bojama su označene najvažniji tektonski kontakti u Dinaridima raspoređeni po geološkoj starosti; (B) Dio geološkog profila 5.*

2.2 Procesi odronjavanja

Odronjavanje (engl. falls) je po definiciji aktivni geomorfološki proces kod kojeg dolazi do odvajanja pojedinačnog ili nekoliko blokova stijene sa strmo nagnutih padina nakon čega slijedi brzi pokret niz kosinu slobodnim padom, odskakivanjem, kotrljanjem i klizanjem (slika 2.3). Kao posljedica procesa odronjavanja nastaje pojava koja se naziva odron, a koja se smatra jednim od tipova klizišta. Materijal u procesu odronjavanja može biti tlo ili stijena. Volumen odronjenog materijala može varirati od pojedinačnih blokova stijena i tla do masivnih blokova. Odroni su česta pojava na strmim i vertikalnim padinama (Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015). S obzirom da se radi o slobodnom padu brzine su visoke, pa čak i ekstremne. Uzročnike ovog procesa možemo svrstati u dvije skupine, preduvjeti i pokretači procesa odronjavanja (slika 2.4). Preduvjeti odronjavanja čine padinu podložnom na odronjavanje, ali ne uzrokuju sam proces odronjavanja već ga dovode u stanje granične ravnoteže. Preduvjeti odronjavanja su: vrsta stijene ili tla, značajke stijene, tektonika i erozija, hidrološki uvjeti, potresi, te antropogeni utjecaj (dodatna opterećenja, uklanjanje vegetacije i sl.). Pokretači odronjavanja iniciraju odronjavanje time što dovode padinu u nestabilno stanje. To su: tektonika i erozija, hidrološki uvjeti, potresi, te antropogeni utjecaj (dodatna opterećenja, uklanjanje vegetacije i sl.). Inicijator pokretanja procesa odronjavanja može biti podsijecanje kosine prirodnim procesima kao što je erozija površinskih tokova i rijeka ili trošenje stijena. Materijal koji nastaje procesom odronjavanja naziva se sipar. Sipar se sastoji od odlomaka stijena različite veličine i oblika te je često lepezastog oblika. Maksimalni nagib padine izgrađene od siparišnog materijala naziva se kutom odlaganja, a njegova veličina varira od 34° do 37° te je konstantan duž cijele padine. Prema Marquinez i dr, (2002) prisutnost recentnog sipara, na području gdje je slaba vegetacija, upućuje na još uvijek aktivan proces odronjavanja. Problemi odronjavanja u Hrvatskoj se javljaju duž Jadranske obale gdje je najčešće ugrožena prometna infrastruktura (Udovič i dr., 2013)



Slika 2.3 *Shematski prikaz odronjavanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015).*



Slika 2.4 *Prikaz uzročnika klizanja (preuzeto iz Mihalić Arbanas i Bernat Gazibara, 2015).*

2.3 Procesi erozije

Erozija je egzodinamički proces koji obuhvaća odvajanje, pokretanje i transport čestica različitim agensima, a to su vjetar, voda ili led (Benac, 2013). Riječ erozija dolazi od latinske riječi *erodare* što znači odnošenje ili izjedanje. U slučaju kada djeluje neki od spomenutih agenasa erozije, eroziju nazivamo prirodna erozija (Lupia-Palmieri, 2006). Drugi oblik erozije nastaje pod utjecajem djelovanja čovjeka kada koristi i obrađuje zemljište na način da erodira površinu terena, u tom slučaju se naziva antropogena erozija. Postoji veliki broj definicija ovisno koja struka upotrebljava taj pojam. Tako npr. riječ taloženje u definiciji erozije nije u skladu s tim pojmom ako govorimo o eroziji kao denudacijskom procesu (Lupia-Palmieri, 2006). Razlikuju se plošna erozija, linijska erozija i mješovita erozija. Način na koji nastaju ovi tipovi erozija je pod utjecajem agensa vode. Kako će pojedini medij (vjetar, voda, led) utjecati na eroziju ovisi o nizu čimbenika, a to su klima, vrsta stijena ili tla, reljef, te namjena zemljišta i vegetacijski pokrivač. Klima na eroziju utječe preko intenziteta i učestalosti oborina koja padne na površinu terena i uzrokuje stvaranje površinskih tokova, gdje ovisno o reljefu terena odnosno nagibu padine može nastati sporiji (laminarni) tok u slučaju blažih padina ili brži (turbulentni) tok u slučaju većih nagiba padine. Kakav će erozijski oblik nastati odnosno količina materijala koja će biti erodirana ovisi o podložnosti materijala da se erodira odnosno erodibilnosti materijala, a sama erodibilnost ovisi o fizičkim svojstvima materijala (Selby, 1993). Bitan čimbenik kod erozije materijala je i vegetacija koja štiti od površinskih tokova na način da kiša ne dospijeva na površinu terena. Svi navedeni faktori međusobno su povezani (npr. zaštita od erozije pomoću vegetacije ovisi o klimi i pokrivenosti terena) i utječe na nastanak erozije na površini terena.

Erozijsko djelovanje površinskog toka predstavlja zapravo linijsku eroziju. Djelovanjem linijske erozije nastaju erozijski oblici kao što su: brazde, vododerine i jaruge. Linijska erozija je proluvijalni proces koji nastaje pri djelovanju povremenih tokova. Brazde koje nastaju na površini terena su plitki erozijski oblici do dubine od 10-15 cm i širine oko 10 cm (Fookes i dr., 2007). Brazde se mogu ukloniti prikladnom obradom zemljišta (Selby, 1993). Daljnjim djelovanjem površinskih tokova na brazde nastaju jaruge. Antropogeni utjecaj na nastanak jaruga je dosta izražen zbog uklanjanja vegetacije, izgradnje prometne infrastrukture, korištenja zemljišta i sl.

Duljina i dubina jaruga može biti od metarskih do kilometarskih dimenzija. Jaruge su izrazito strmih bokova, a oblik poprečnog presjeka je u obliku slova V (Wells, 2006). S obzirom na

aktivnost razlikuju se aktive (izražena bočna i dubinska erozija), umirene i fosilne (zapunjene sedimentom i vegetacijom) jaruge. Jaruge se razvijaju brzo i regresivno uz padinu s pojačanom vertikalnom erozijom u gornjem dijelu i bočnom erozijom u srednjem dijelu toka. Erozijom i nastankom jaruga padine mogu postati ne stabilnije što može dovesti do nastanka klizišta.

2.4 Inventari klizišta

Inventari klizišta (engl. landslides inventory map) prikazuju prostorni razmještaj klizišta (Highland i Bobrowsky, 2008). Razlikujemo jednostavne i detaljne inventare klizišta. Jednostavni inventari prikazuju samo prostorni položaj klizišta i područja na kojima su potrebna dodatna istraživanja radi dobivanja detaljnijih informacija. Detaljni inventari klizišta prikazuju puno detaljnije informacije kako bi se što bolje razumjeli različiti procesi, a te informacije su: granica klizišta, opisani tip gibanja, aktivnost, brzinu gibanja, geološku starost naslaga, dubinu klizanja i materijale zahvaćene klizanjem. Inventari klizišta služe kao ulazni podatak za izradu prognostičkih karata koje prikazuju zoniranje područja s obzirom na podložnost na klizanje, hazard ili rizik klizanja (Highland i Bobrowsky, 2008)

Za izradu inventara klizišta koriste se brojne metode kao što je interpretacija stereoparova avionskih snimaka pomoću kojih se mogu izdvojiti različiti tipovi vegetacije, reljefa, pokrova zemljišta, drenažne mreže, tipovi površinskih naslaga i sl. Također inventar klizišta je moguće izraditi pomoću terenskog kartiranja. Spomenute metode su dugotrajne i zahtijevaju resurse, te su zbog toga manje učinkovite (Guzzetti i dr., 2012). U današnje vrijeme se koriste druge metode kao što je daljinsko istraživanje pomoći InSAR snimaka (engl. Interferometric Synthetic Aperature Radar) ili satelitska radarska interferometrija. Ova metoda koristi radare koji bilježe reflektirane mikrovalove. Na taj način se može dobiti digitalni model visina DMV (engl. Digital Elevation Model - DEM). Također koriste se i LiDAR snimke (engl. Light Detection and Ranging) koje se dobivaju pomoću laserskih skenera. Ova metoda omogućava snimanje terena na lokacijama gdje zbog vegetacije nije moguće dobiti snimku pomoću obične fotografije. Rezultat ovakvog snimanja je detaljni DMV (Highland i Bobrowsky, 2008).

3. ULAZNI PODACI

Za analizu utvrđivanja veze između procesa odronjavanja i erozije, kutova nagiba padina i litologije na području Republike Hrvatske korišteni su slijedeći podaci:

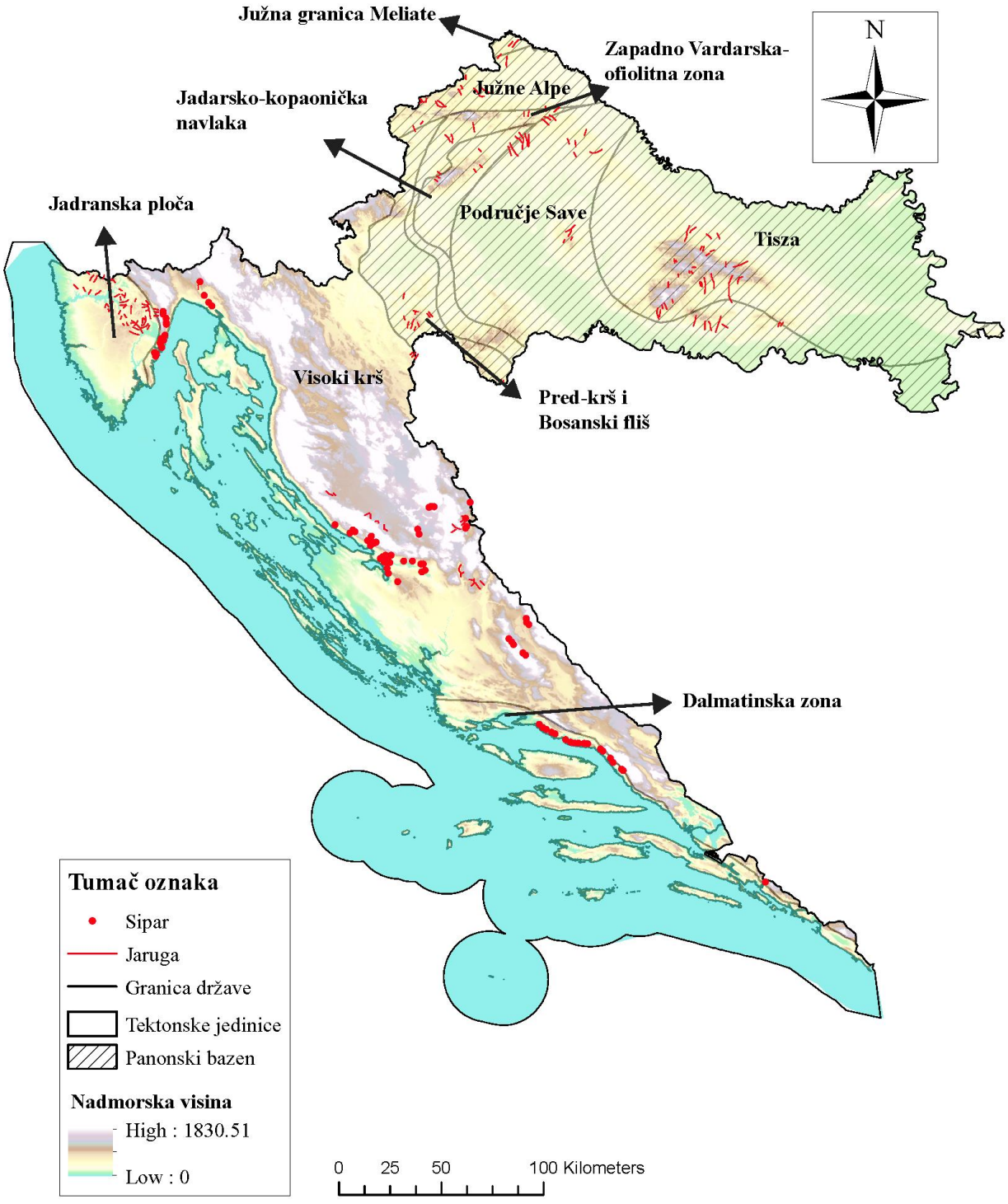
- Osnovna inženjerskogeološka karta SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) na temelju koje su dobivene informacije o prostornom rasporedu sipara i jaruga te informacije o inženjerskogeološkim jedinicama odnosno vrstama stijena i tala;
- Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009) na temelju koje su dobiveni podaci o kronostratigrafskim jedinicama;
- DMV rezolucije 20 metara na temelju kojeg su dobivene informacije o kutu nagiba padina.

Pomoću ovih podataka dobivene su informacije o prostornom položaju sipara (odnosno procesu odronjavanja), jaruga (odnosno procesa linijske erozije), nagiba padina, te vrsta stijena i tala.

3.1 Inventar klizišta s Osnovne inženjerskogeološke karte (OIGK)

Osnovna inženjerskogeološka karta SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) je digitalizirana u okviru ovog diplomskog rada, kako bi se dobili prostorni podaci o siparištima i jarugama na području Republike Hrvatske. Ostale geomorfološke pojave, kao što je aktivno klizište, umireno klizište, fosilno klizište i plastično tečenje obrađene su u okviru diplomskog rada Erak (2018), a bujični nanos nisu tema ovog rada te zbog toga nisu navedeni niti prikazani. U okviru ovoga rada digitalizirane su egzogene pojave sipara i jaruga.

Ukupno je digitalizirano 85 pojava sipara (označeno crvenom točkom), te 167 pojava jaruga (označeno crvenom linijom) (slika 3.1**)**. Budući da veličina simbola nije proporcionalna veličini pojava sipara i erozije, digitalizirane linije ne prikazuju pojedinačne pojave već samo područje na kojemu se odvijaju procesi odronjavanja i erozije. Zbog sitnog mjerila karte, ovi simboli su u većini slučajeva predimenzionirani, tako da su ucrtavani i okolnim inženjerskogeološkim jedinicama. Stoga je tijekom digitalizacije simbol digitaliziran tako da se utvrdi u kojim inženjerskogeološkim jedinica se ovi procesi odvijaju. Na taj način bilo je moguće provesti analizu vrsta naslaga u kojima se pojavljuju ovi procesi.



Slika 3.1 *Prikaz prostornog rasporeda sipara i jaruga prema OIGK (Čubrilović i dr., 1967) po geotektonskim jedinicama na području Republike Hrvatske.*

3.2 Vrsta stijena i tala prema Osnovnoj inženjerskogeološkoj karti SFRJ

Prema Osnovnoj inženjerskogeološkoj karti SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) postoji ukupno 41 jedinica, a na području Hrvatske je ukupno izdvojeno 28 inženjerskogeoloških jedinica (slika 3.2). U Panonskom bazenu većinom prevladavaju pijesci, šljunci, jezerski i riječni sedimenti, prapor, gline, lapori (inženjerskogeološke jedinice 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 15, 17, 23, 24), te kompleksi magmatskih, metamorfnih i sedimentnih stijena (inženjerskogeološke jedinice 28, 30, 32, 33, 37, 38, 40). Područje Dinarida je izgrađeno od vapnenca, dolomita, fliša, pijeska, gline (inženjerskogeološke jedinice 2, 4, 8, 12, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 37). U tablici 3.1 naveden je detaljan opis i starost spomenutih jedinica, a u tablici 3.2 prikazane su veličine površina svih inženjerskogeoloških jedinica. Podaci o prostornom razmještaju inženjerskogeoloških jedinica poslužili su kako bi se dobio uvid u kakvim naslagama se nalaze pojave sipara i jaruga na temelju OIGK-a (Čubrilović i dr., 1967).

Tablica 3.1 Inženjerskogeološke jedinice stijena i tala s OIGK (Čubrilović i dr., 1967) na području Republike Hrvatske. D - promjer zrna u mm, U - koeficijent nejednoličnosti zrna, n - poroznost u postotcima, k - hidraulička vodljivost u cm/s, σ - jednoosna tlačna čvrstoća u kp/cm^2, α - trošenje u cm^3/50 cm^2 i β - kut prirodnog nagiba padina u stupnjevima.

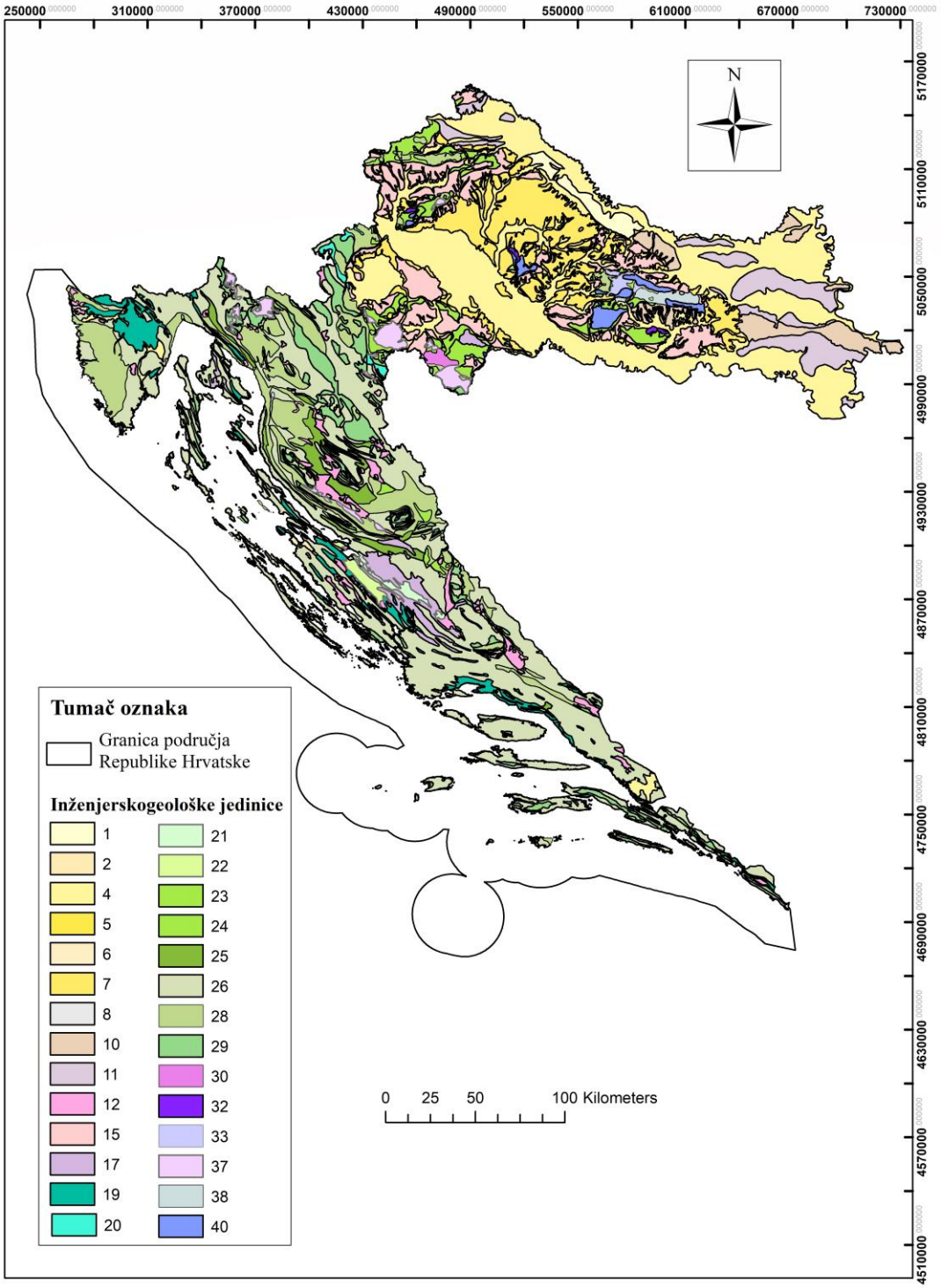
Oznaka	Opis inženejrskogeoloških jedinica	Starost
1	Živi pijesci-pretežno stabilizirani; eolski sedimenti; ne uslojeni, D=0,25-0,5. U do 5, porozni i u površinskom dijelu bez vode, k≈$\mathbf{10^{-3}}$, vrlo podložni eroziji	pleistocen i holocen
2	Pijesci; jezerski sedimenti; D= 0,01-0,5, U<10, uslojeni i dobro složeni, k=(1-5). $\mathbf{10^{-2}}$, jako podložni eroziji, β≈ 30	neogen
4	Pjeskoviti šljunci-ponegdje glinoviti; fluvijalni sedimenti; najčešće pokriveni prašinastim glinama; slabo složeni i nejasno uslojeni, znatno porozni, k=$\mathbf{10^{-1} - 10^{-3}}$, β< 35	pleistocen-holocen
5	Pijesci i šljunci; obično uslojeni, dobro složeni i ponegdje cementirani; kompleks jezerskih i rjeđe riječnih terasnih sedimenata, jako porozan, dobro vodopropustan i podložan eroziji	mlađi neogen i kvartar

Oznaka	Opis inženejrskogeoloških jedinica	Starost
6	Pijesci i gline sa čestim vertikalnim i bočatim prijelazima; najčešće dobro složeni; kompleks jezerskih sedimenata s kolebanjima poroznosti i vodopropusnosti, β dosta različit	mlađi neogen
7	Pijesci, šljunci i gline; slabo do srednje složeni i ponegdje cementirani, dobro izražene slojevitosti; kompleks jezerskih sedimenata s velikim promjenama poroznosti i vodopropusnosti, podložan eroziji i klizanju; β dosta različit	mlađi neogen
8	Drobine, šljunci, pijesci i prašinaste gline s valuticama i blokovima; proluvijalni sedimenti; ne uslojeni i slabo složeni, U> 25, poroznost i vodopropusnost jako promjenljivi; β< 30	holocen
10	Prapor-ponegdje s izloženim zonama i s promjenjivim postotkom $CaCO_3$; eolski sedimenti; neuslojen, U< 5, jako porozan, k= $\mathbf{10^{-3} - 10^{-4}}$, raskvašenjem bitno mijenja svojstva; jako podložan eroziji i vertikalnom odlamanju	pleistocen
11	Praporne prašinaste gline i u manjoj mjeri uslojen močvarni prapor s malim sadržajem $CaCO_3$; U do 15, srednje porozan, k<$\mathbf{10^{-4}}$, znatno mijenjaju svojstva pod djelovanjem vode i smrzavanja	pleistocen i holocen
12	Prašinaste gline i u manjoj mjeri crvenica - s uklopcima matičnih stijena; eluvijalno-deluvijalni sedimenti; neuslojeni, U>15, slabo vodopropusni, podložni zamuljivanju i eroziji	kvartar
15	Pješčenjaci, laporovite gline, lapori i pijesci; kompleks jezerskih, uslojenih sedimenata s promjenama poroznosti i vodopropusnosti, podložan eroziji i klizanju	mlađi neogen
17	Konglomerati (od vapnenačkih valutica), s lećama i proslojcima pješčenjaka i vapnenih lapora; mjestimične uslojeni, valutice većinom dobro zaobljene, dobro vezani karbonatnim vezivom, često okršeni; β= 50-80	paleogen
19	Pješčenjaci, vapneni lapori, škriljave gline i laporoviti vapnenci sa čestim ritmičkim smjenjivanjem; pločasti i slojeviti; fliški kompleks, tektonski jako boran i ispucan, praktično vodonepropustan, podložan nejednakom raspadanju, eroziji i klizanju, β= 25-60	paleogen
20	Pješčenjaci, vapneni lapori, škriljave tvrde gline, konglomerati i vapnenci; dobro uslojeni i ponegdje debelo uslojeni; fliški kompleks, jako boran i ispucan, praktično vodonepropustan, podložan raspadanju, eroziji i klizanju, β= 30-50	mezozoik
21	Vapneni lapori i konglomerati; pločasti, uslojeni i debelo uslojeni, jako ispucali i malo do srednje vodopropusni; β različit	paleogen
22	Vapneni lapori s dosta $CaCO_3$; pločasti i tanko uslojeni, jako ispucali i slabo okršeni, praktično vodonepropusni	paleogen

Oznaka	Opis inženejrskogeoloških jedinica	Starost
23	Vapneni lapori i škriljave tvrde gline (uslojeni i pločasti), konglomerati i pješčenjaci (slojeviti i debelo uslojeni) i grebenski vapnenci; kompleks jezerskih sedimenata, boran i jako ispucan, vodonepropustan, podložan lakom raspadanju i eroziji; β različit	stariji neogen i oligocen
24	Vapneni lapori, pjeskoviti vapnenci, škriljave tvrde gline, konglomerati i pješčenjaci; nepravilna litološka izmjena članova, boran, jako ispucan, vodonepropustan i podložan eroziji i klizanju; β različit	mezozoik
25	Vapnenačke breče s karbonatnim vezivom; masivne i debelo uslojene, dosta ispucane i okršene, σ= 1200	donja kreda
26	Vapnenci-kriptokristalasti, pretežno morski sedimenti; uslojeni, rjeđe masivni, jako ispucani, nejednoliko i često jako okršeni i vodopropusni, površinski dijelovi bez vode, σ≈1700, α≈15, β=45-85	mezozoik
28	Vapnenci i dolomiti - kriptokristalasti; pretežno morski sedimenti; slojeviti i debelo uslojeni-često lećasto isklinjeni, jako ispucani, okršeni, vodopropusni, površinski dijelovi bez vode; β=45-80	mezozoik
29	Dolomiti-kriptokristalasti; pretežno morski sedimenti; masivni i debelo uslojeni, većinom ispucani i lokalno okršeni, raspadanjem stvaraju dolomitsku "pržinu" podložnu eroziji; β=45-80	mezozoik
30	Škriljave tvrde gline, glineni šriljavci, rožanci, pješčenjaci i tufovi i u manjoj mjeri: vapnenci, dijabazi, melafiri i serpentiniti; vulkanogeni-sedimentni kompleks – izrazito litološki heterogen, anizotropan i tektonski oštećen, vodonepropustan, prožet vlagom; podložan eroziji i klizanju; β dosta različit	mezozoik
32	Daciti i andeziti i rijeđe porfiri i porfiriti; porfirne strukture, često masivni; hidrotermalno promijenjeni, n = 1-5, vodonepropusni, σ=1900-2100, α=7-9; β=45-80	tercijar i mezozoik
33	Graniti, granodioriti i rjeđe dioriti; masivni, zrnasti i ispucani, n≈1, praktično vodonepropusni, σ=2000, α=5-7; β=40-70	paleozoik, mezozoik i tercijar
37	Glineni škriljavci savršene kalavosti, argilofiliti, pješčenjaci i rijeđe konglomerati i vapnenci; često smanjivanje škriljavih plastičnih i uslojenih krutih masa; jako boran i izlomljen, vodonepropustan, duboko raspadnut i podložan eroziji i klizanju; β=25-50	paleozoik
38	Glineni škriljavci savršene kalavosti, filiti, sericitski, kloritski i drugi škriljavci s lećama mramora i kvarcita; jako borani i ispucani; vodonepropusni, kršje iverasto, zona površinskog raspadanja duboka i sklona klizanju i eroziji, σ<500, β=20-50	paleozoik
40	Gnajs, mikošisti i rijeđe amfibolski i drugi škriljavci-s lećama kvarcita i mramora; različite škriljavosti, jako borani, izlomljeni i raspdanuti, slabo vodopropusni, σ različit, zona površinskog raspadanja podložna eroziji i klizanju; β=35-60	predpaleozoik

Tablica 3.2 Veličina površina i zastupljenost pojedine inženjerskogeološke jedinice na području Republike Hrvatske; OIGK (Čubrilović i dr., 1967).

Oznaka	Površina km²	Postotak (%)
1	534,10	0,94
2	53,79	0,10
4	13090,00	23,13
5	9,33	0,02
6	2,66	0,00
7	4601,00	8,13
8	3,70	0,01
10	1383,00	2,44
11	2194,00	3,88
12	1179,00	2,08
15	3675,00	6,49
17	1030,00	1,82
19	1586,00	2,80
20	185,10	0,33
21	169,60	0,30
22	221,10	0,39
23	1333,00	2,36
24	756,40	1,34
25	1040,00	1,84
26	14440,00	25,51
28	4623,00	8,17
29	2871,00	5,07
30	108,50	0,19
32	68,85	0,12
33	125,60	0,22
37	637,80	1,13
38	208,40	0,37
40	467,30	0,83



Slika 3.2 *Prikaz digitaliziranih inženjerskogeoloških jedinica modificirano prema OIGK (Čubrilović i dr., 1967). Nazivi i opisi jedinica dani su u tablici 3.1 prema pripadajućim brojevima.*

3.3 Vrsta stijena i tala prema geološkoj karti Republike Hrvatske

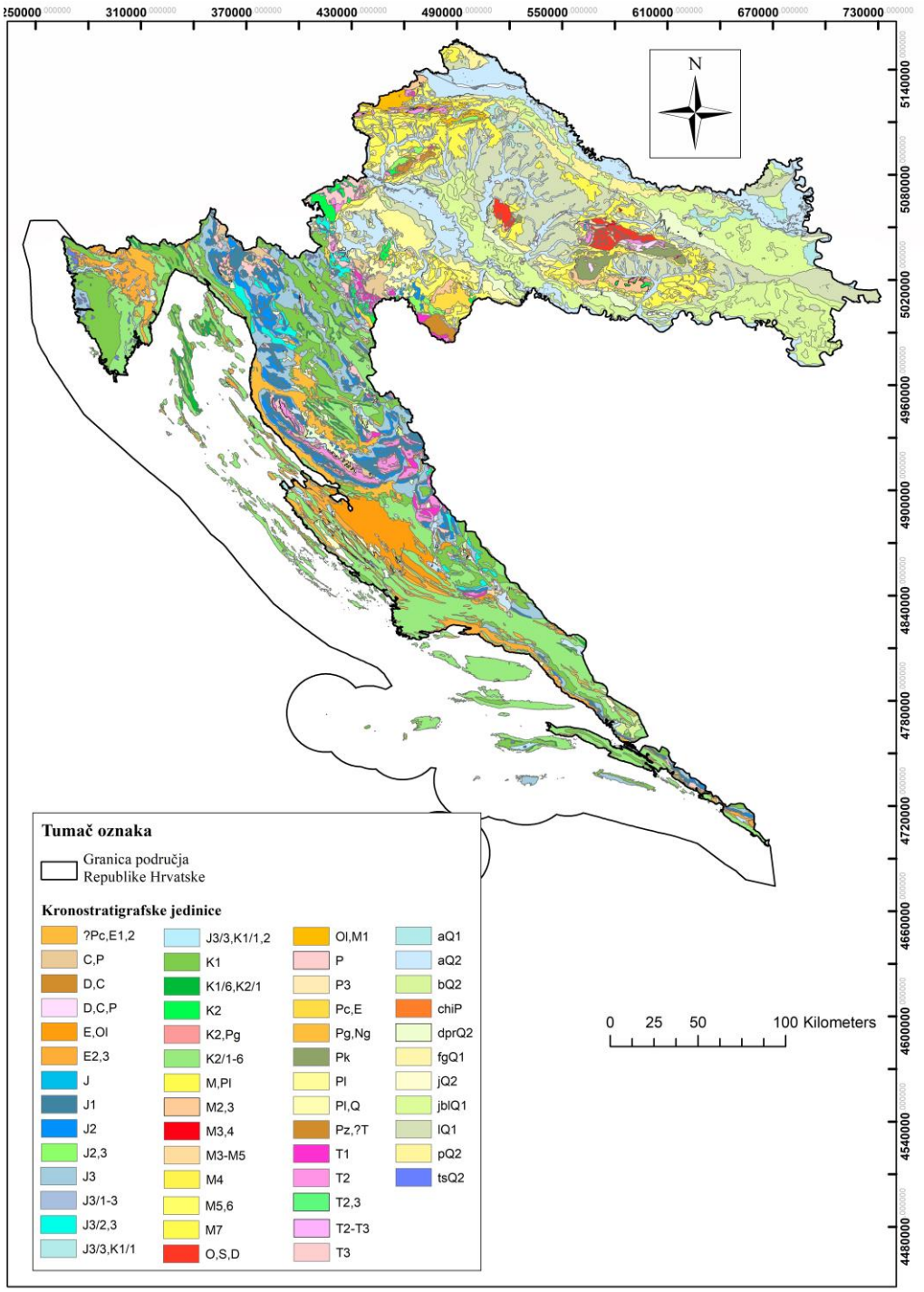
Prema geološkoj karti Republike Hrvatske (Hrvatski geološki institut, 2009) izdvojeno je ukupno 70 kronostratigrafskih jedinica. Opis svih kronostratigrafskih jedinica, oznake starosti, površina i zastupljenost na području Hrvatske prikazani su u tablici 3.3. Pomoću ove karte prikazan je prostorni raspored kronostratigrafskih jedinica (slika 3.3).

Tablica 3.3 Kronostratigrafske jedinice stijena i tala s geološke karte RH (Hrvastki geološki institut, 2009) na području Republike Hrvatske.

BR.	Opis kronostratigrafskih jedinica	Oznaka	Površina (km²)	Postotak (%)
1	Kompleks metamorfnih stijena (ordovicij, silur, devon)	O,S,D	1486,91	2,65
2	Kompleks metamorfnih stijena (prekambrij)	Pk	515,78	0,92
3	Progresivna metamorfna serija (ordovicij, silur, devon)	O,S,D	6394,31	11,42
4	Granitne stijene (ordovicij, silur, devon)	O,S,D	1916,69	3,42
5	Ortometamorfne stijene (srednja jura)	J_2	79,35	0,14
6	Ortometamorfne stijene (paleozoik, trijas)	Pz,?T	374,41	0,67
7	Parametamorfne stijene (srednja jura)	J_2	0,97	0,00
8	Parametamorfne stijene (paleozoik, trijas)	Pz,?T	144,16	0,26
9	Klastične i karbonatne naslage (karbon, perm)	C,P	67,02	0,12
10	Klastične i karbonatne naslage (devon, karbon)	D,C	1521,85	2,72
11	Hercinski semimetamorfni kompleks (devon, karbon, perm)	D,C,P	1248,19	2,23
12	Pretežito klastične naslage (karbon, perm)	C,P	1130,30	2,02
13	Graniti (perm; Omanovac-Psunj, Kišljevac-Papuk)	P	11,50	0,02
14	Magmatiti (?perm): kvarcdioritiI, granodioriti, keratofiri (Medvednica)	chiP	5,06	0,01
15	Evaporitne i klastične naslage (gornji perm): evaporiti	P_3	1281,61	2,29
16	Evaporitne i klastične naslage (gornji perm): klastiti	P_3	25,76	0,05
17	Sajske i kampilske naslage (donji trijas)	T_1	18,21	0,03
18	Karbonatne naslage (srednji trijas)	T_2	1150,00	2,05
19	Klastične i piroklastične naslage (srednji trijas)	T_2	103,48	0,18
20	Magmatske stijene (gornja kreda, paleogen): bazalti	K_2,Pg	89,52	0,16

BR.	Opis kronostratigrafskih jedinica	Oznaka	Površina (km²)	Postotak (%)
21	Magmatske stijene (gornja kreda, paleogen): graniti	K_2,Pg	11,03	0,02
22	Magmatske stijene (gornja kreda, paleogen): rioliti	K_2,Pg	2559,29	4,57
23	Magmatske stijene (karpat, baden): andeziti (Papuk, Baranja)	$M_{3,4}$	11,27	0,02
24	Magmatske stijene (karpat, baden): bazalti (jugoistočna Bilogora)	$M_{3,4}$	103,84	0,19
25	Magmatske stijene: andeziti i bazalti (srednji i gornji trijas)	$T_{2,3}$	554,62	0,99
26	Magmatske stijene: spiliti i dijabazi (srednji i gornji trijas)	$T_{2,3}$	9,37	0,02
27	Evaporitno-karbonatno-klastično-vulkanogeni kompleks (gornji ladinik, karnik)	T_3	39,34	0,07
28	Klastične naslage (?gornji ladinik - donji norik)	T_2-T_3	4399,13	7,85
29	Dolomiti i postsedimentacijske dijagenetske breče (gornji alb, donji cenoman)	$K_{1/6}$,$K_{2/1}$	124,05	0,22
30	Dolomiti (gornji norik, ret)	T_3	4402,14	7,86
31	Vapnenci i dolomiti (donja jura)	J_1	4,78	0,01
32	Vapnenci i dolomiti (gornja jura)	J_3	441,75	0,79
33	Vapnenci i dolomiti (donja kreda)	K_1	309,20	0,55
34	Debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (srednja jura)	J_2	5,31	0,01
35	Vapnenci s rožnjacima: pločasti slojeviti - Lemeške naslage (gornji oksford - donji titon)	$J_{3/1-3}$	15,86	0,03
36	Vapnenci s rožnjacima: slojeviti s dolomitima (gornji oksford - donji titon)	$J_{3/1-3}$	1,33	0,00
37	Prigrebensko-grebenski vapnenci i dolomiti (kimeridž, titon)	$J_{3/2,3}$	8051,07	14,37
38	Slojeviti i masivni dolomiti (titon, valendis)	$J_{3/3}$,$K_{1/1,2}$	5450,22	9,73
39	Pločasti vapnenci (jura općenito)	J	95,16	0,17
40	Vapnenci s rožnjacima i kalpionelama (titon, berijas)	$J_{3/3}$,$K_{1/1,2}$	457,93	0,82
41	Ofiolitne stijene (srednja, gornja jura): magmatiti	$J_{2,3}$	95,20	0,17
42	Ofiolitne stijene (srednja, gornja jura): sedimentne stijene	$J_{2,3}$	15,00	0,03
43	Ofiolitne stijene (srednja, gornja jura): ultramafiti	$J_{2,3}$	3,13	0,01
44	Hemipelagičke i turbiditne naslage (donja kreda)	K_1	680,48	1,21

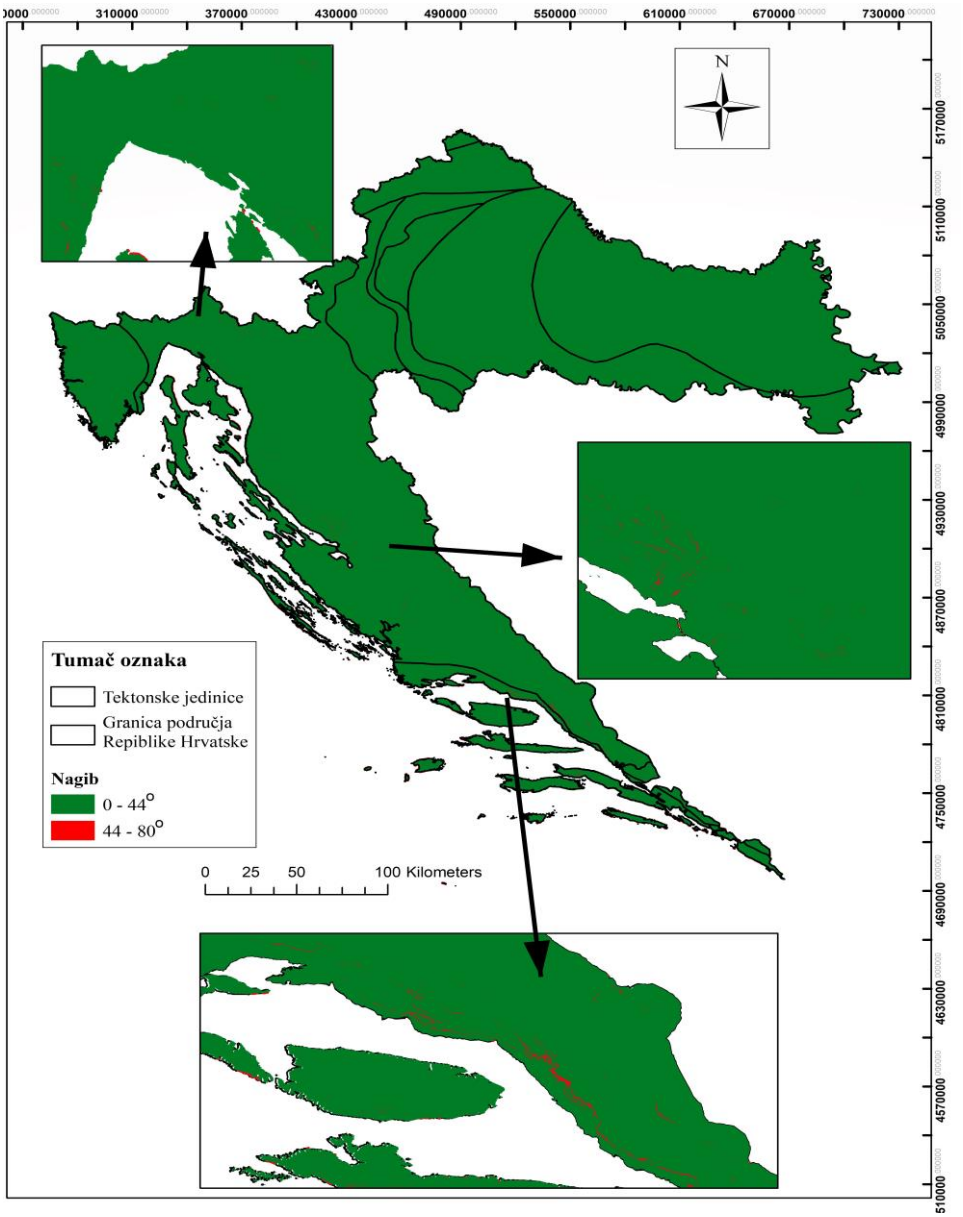
BR.	Opis kronostratigrafskih jedinica	Oznaka	Površina (km²)	Postotak (%)
45	Rudistni vapnenci (cenoman – mastriht)	$K_{2/1-6}$	1128,62	2,01
46	Karbonatni klastiti (pretežito fliš) i "SCAGLIA" vapnenci (gornja kreda)	K_2	2092,33	3,74
47	Karbonatni fliš i klastiti (paleocen, eocen)	Pc,E	170,59	0,30
48	Liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (?gornji paleocen, donji i srednji eocen)	$?Pc,E_{1,2}$	73,53	0,13
49	Flišne naslage (srednji i gornji eocen)	$E_{2,3}$	165,96	0,30
50	Prominske naslage (eocen, oligocen)	E,Ol	317,22	0,57
51	Vapnenačke breče (paleogen, neogen)	Pg,Ng	3,26	0,01
52	Klastiti s vulkanitima (eger, egenburg)	Ol,M_1	17,73	0,03
53	Klastiti i karbonati s klastitima (otnang, karpat)	$M_{2,3}$	45,30	0,08
54	Litavac i kalstične naslage s vulkanitima (baden)	M_4	287,50	0,51
55	Vapnenačko-klastične naslage (sarmat, panon)	$M_{5,6}$	1028,26	1,84
56	Klastiti i ugljen (pont)	M_7	371,82	0,66
57	Pijesci i gline (miocen, pliocen)	M,Pl	679,29	1,21
58	Paludinske naslage (dacij, romanij)	Pl	1155,31	2,06
59	Miocenske nalage dinarida	M_3-M_5	737,51	1,32
60	Klastične naslage pliokvartara	Pl,Q	17,82	0,03
61	Fluvijalne naslage (pleistocen)	aQ_1	72,68	0,13
62	Fluvioglacijalne naslage (pleistocen)	fgQ_1	369,21	0,66
63	Kopneni les (pleistocen)	lQ_1	806,18	1,44
64	Barski les (pleistocen)	$jblQ_1$	57,39	0,10
65	Crvenica (holocen)	tsQ_2	19,39	0,03
66	Eolski pijesci (holocen)	pQ_2	7,07	0,01
67	Jezerske naslage (holocen)	jQ_2	0,68	0,00
68	Barske naslage (holocen)	bQ_2	1,13	0,00
69	Deluvijalno-proluvijalne naslage (holocen)	$dprQ_2$	869,55	1,55
70	Aluvijalne naslage (holocen)	aQ_2	113,20	0,20



Slika 3.3 *Prikaz digitaliziranih kronostratigrafskih jedinica preuzeto s geološke karte Republike Hrvatske (Hrvatski geološki institut, 2009). Nazivi i opisi jedinica dani su u tablici 3.3 prema pripadajućim brojevima.*

3.4 Nagib padina

Karta nagiba padina izvedena je pomoću DMV-a rezolucije 20 metara dobiven od strane Državne geodetske uprave (DGU). Karta je reklasificirana u dvije kategorije na temelju jednadžbe prema Cemagref i Arpa, (2008) koja glasi $\alpha = 55° * \text{veličina ćelije}^{-0,075}$. Vrijednost α predstavlja granični kut gdje vrijednosti veće od α ukazuju na potencijalnu opasnost od odrona. Veličina ćelije je 20 jer se radilo pomoću DMV-a rezolucije 20 metara. Uvrštavanjem vrijednosti u jednadžbu dobiva se vrijednost od 44° (slika 3.4).



Slika 3.4 *Prikaz nagiba padina na području Republike Hrvatske, manjih od 44 ° i većih od 44 °.*

4. ANALIZE UČESTALOSTI ODRONA I EROZIJE

U ovom poglavlju su prikazani rezultati analize učestalosti pojave odrona i erozije na temelju podataka s OIGK M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) i geološke karte RH M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009). Analize učestalosti su provedene za pojave sipara i jaruga s OIGK karte i to zasebno za svaku geotektonsku jedinicu u kojoj se pojavljuju. Stoga su analize učestalosti odrona provedene za geotektonske jedinice Jadranska ploča, Visoki krš i Dalmatinska zona. Za analize pojava sipara utvrđivane su izvorišne naslage u kojima sipar nastaje. Izvorišta sipara prikazana su kao točke na linijskom simbolu sipara s OIGK. Jaruge, kao geomorfološki oblici linijske erozije, rasprostranjene su i unutar geotektonskih jedinica u Panonskom bazenu, zbog čega su u analize učestalosti linijske erozije također uključene i geotektonske jedinice: Pred-krš i Bosanski fliš, Jadarsko-kopaonička navlaka, Južne Alpe, Zapadno Vardarska-ofiolitna zona, područje Save, Tisza, južna granica Meliate. Pojave jaruga analizirane su kao linijski podatak, kako bi se utvrdile naslage u kojima dolazi do njihovog nastanka. Analiza karata je rađena u računalnom programu *ArcGIS Desktop*, dok je analiza podataka i izrada dijagrama provedena u računalnom programu Microsoft *Excel 2016*. Analizama učestalosti prethodila je vrlo opsežna digitalizacija svih litoloških jedinica dviju karata, kao i svih pojava sipara i jaruga s OIGK. Sve karte i slojevi su izrađeni u koordinatnom sustavu HTRS96/TM.

4.1 Analiza odrona (sipara)

Podaci o pojavama sipara s OIGK predstavljaju grupne simbole kako bi se ukazalo na područja s brojnim pojavama sipara, a svrha analize bila je utvrditi vrste stijena koje su podložne odronjavanju. Analiza je provedena po inženjerskogeološkim jedinicama s OIGK i geološkim jedinicama s geološke karte Republike Hrvatske. Osim litologija, analizirani su i kutovi nagiba padina pomoću DMV-a razlučivosti 20 m.

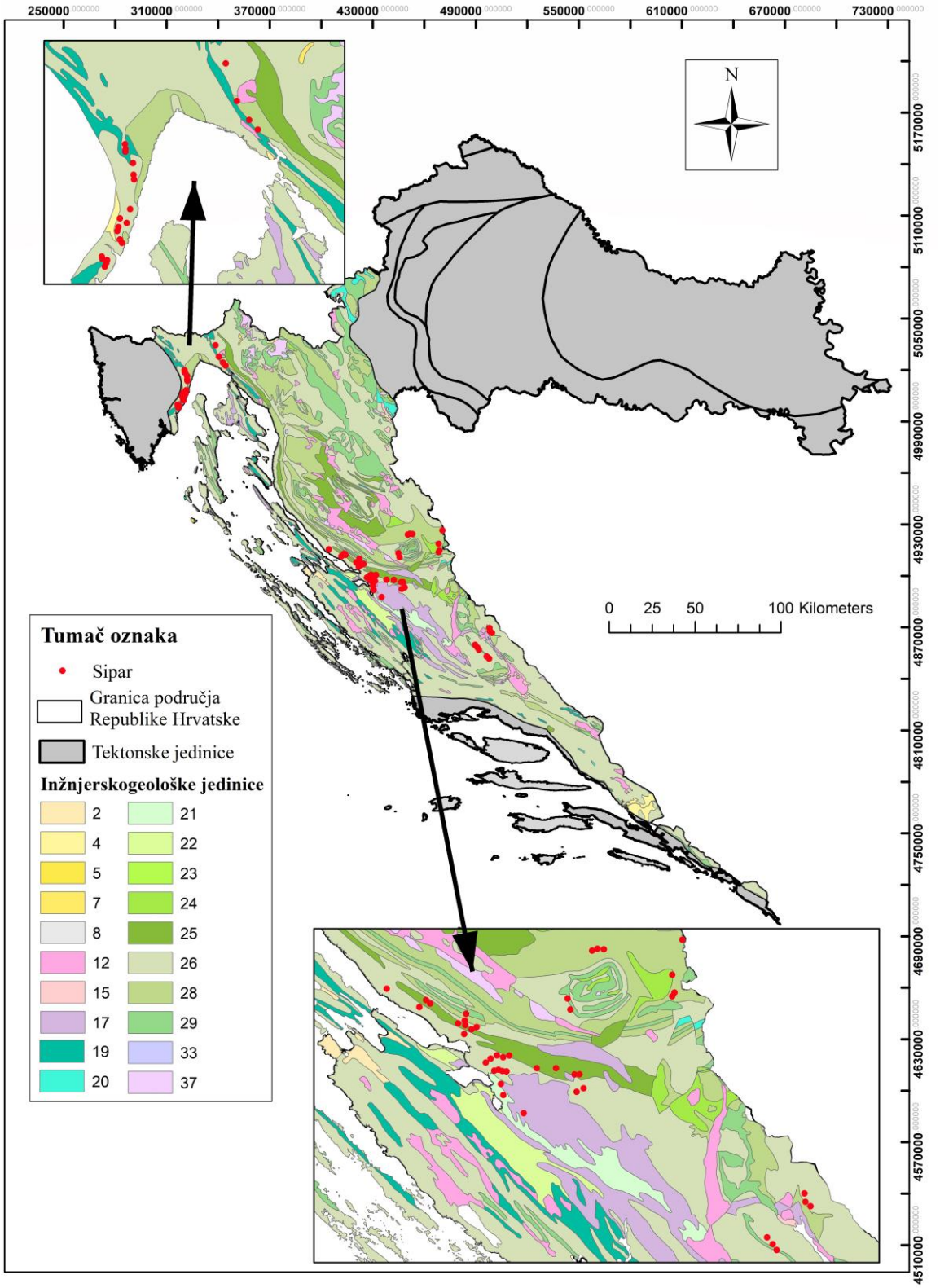
4.1.2 Geotektonska jedinica Visoki krš

Unutar geotektonske jedinice Visoki krš zabilježeno je 68 pojava sipara odnosno odrona, prema podacima s OIGK (Čubrilović i dr., 1967).

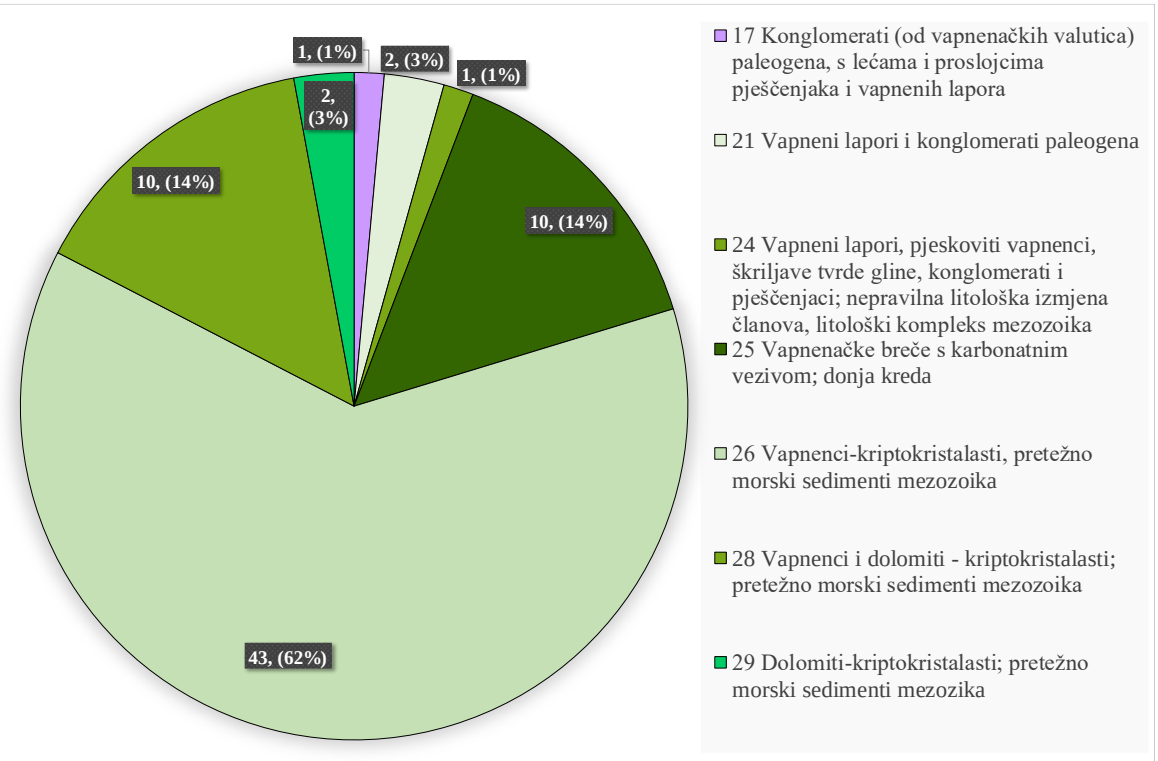
Naslage s OIGK s pojavama sipara su sljedeće: konglomerati (od vapnenačkih valutica), s lećama i proslojcima pješčenjaka i vapnenih lapora (17); vapneni lapori i konglomerati (21); vapneni lapori, pjeskoviti vapnenci, škriljave tvrde gline, konglomerati i pješčenjaci (24); vapnenačke breče s karbonatnim vezivom (25); vapnenci – kriptokristalasti (26); vapnenci i dolomiti – kriptokristalasti (28); dolomiti – kriptokristalasti (29) (slika 4.1). Najveći broj pojava izvorišnih područja materijala sipara, 43 pojave (oko 62% od ukupnog broja pojava) zabilježen je u kriptokristalastim vapnencima (26). Po učestalosti dalje slijede vapnenačke breče s karbonatnim vezivom (25) u kojima je 10 pojava (oko 14%), odnosno kriptokristalasti vapnenci i dolomiti (28) s 10 pojava (oko 14%). U ostalim navedenim naslagama zabilježen je manji broj pojava sipara (slika 4.2).

Naslage s geološke karte RH s pojavama sipara su sljedeće: liburnijske naslage, foraminiferski vapnenci i prijelazne naslage (?Pc, $E_{1,2}$); prominske naslage (E, Ol); fliškolike naslage ($E_{2,3}$); vapnenci i dolomiti (J_1); debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (J_2); vapnenci i dolomiti (J_3); prigrebensko-grebenski vapnenci i dolomiti ($J_{3/2,3}$); vapnenci i dolomiti (K_1); rudistni vapnenci ($K_{2/1-6}$); vapnenačke breče (Pg, Ng); sajske i kampilske naslage (T_1); karbonatne naslage (T_2); dolomiti (T_3) (slika 4.3). Najveći broj pojava izvorišnih područja materijala sipara, 26 pojava (oko 38% od ukupnog broja pojava), zabilježen je u naslagama rudistnog vapnenca ($K_{2/1-6}$), a 11 pojava (oko 16%) je u donjo-krednim vapnencima i dolomitima (K_1) (slika 4.4). Detaljan opis naslaga dan je u tablicama 3.1 i 3.3.

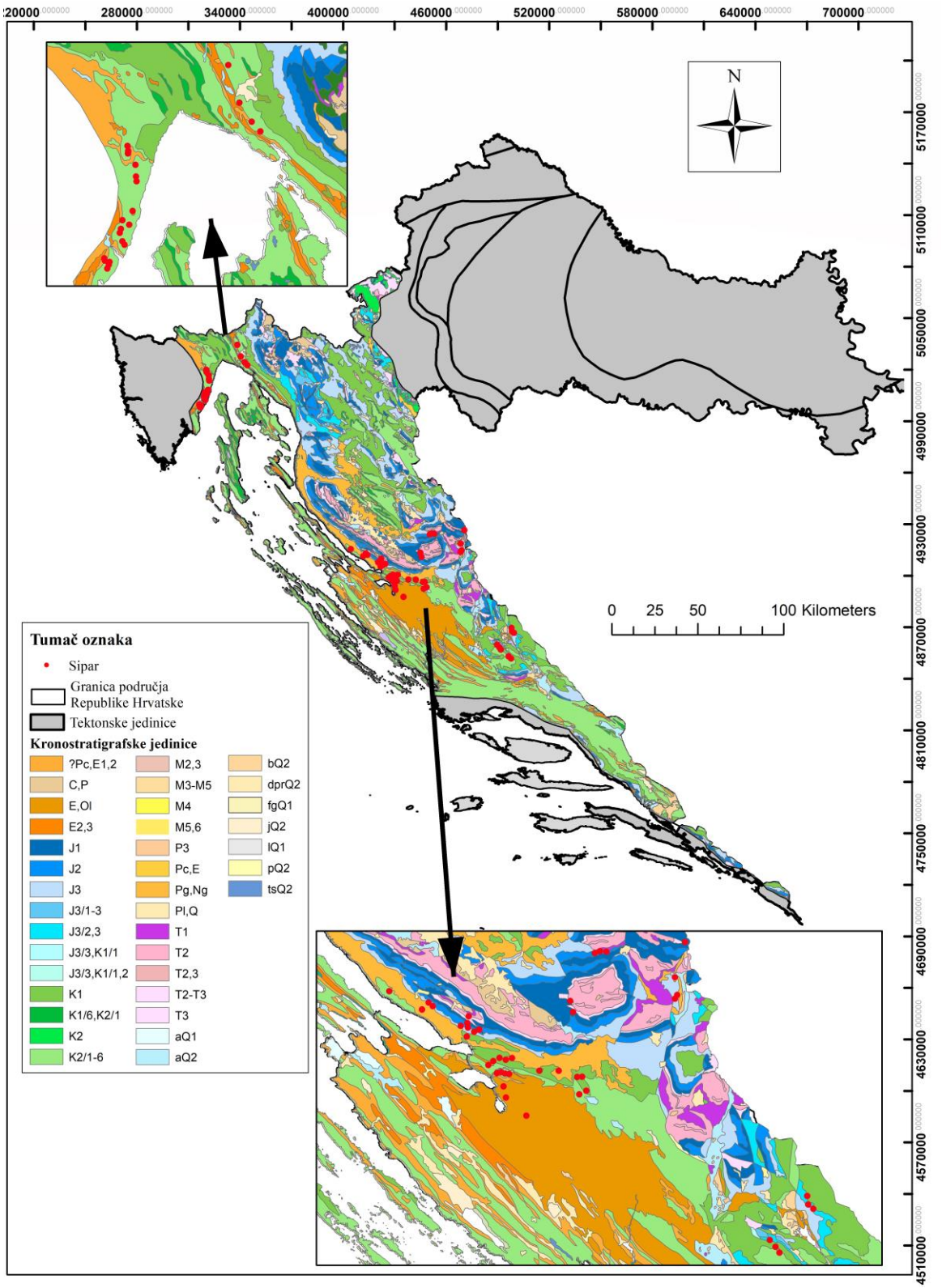
Analiza učestalosti pojava sipara u različitim razredima kutova nagiba padina na području geotektonske jedince Visoki krš potvrdila je da se pojave sipara nalaze na području ili u blizini područja visokih nagiba, između 44 – 80° (slika 4.5). Zbog male prostorne rezolucije DMV-a (20*20 m) na kojemu strmi pokosi nisu dovoljno dobro zastupljeni, rezultati učestalosti nisu prikazani kvantitativno, jer se ne smatraju reprezentativnim. Za uvid u učestalost po pojedinim razredima nagiba, nužno je analize provoditi s digitalnim modelom visina veće razlučivosti.



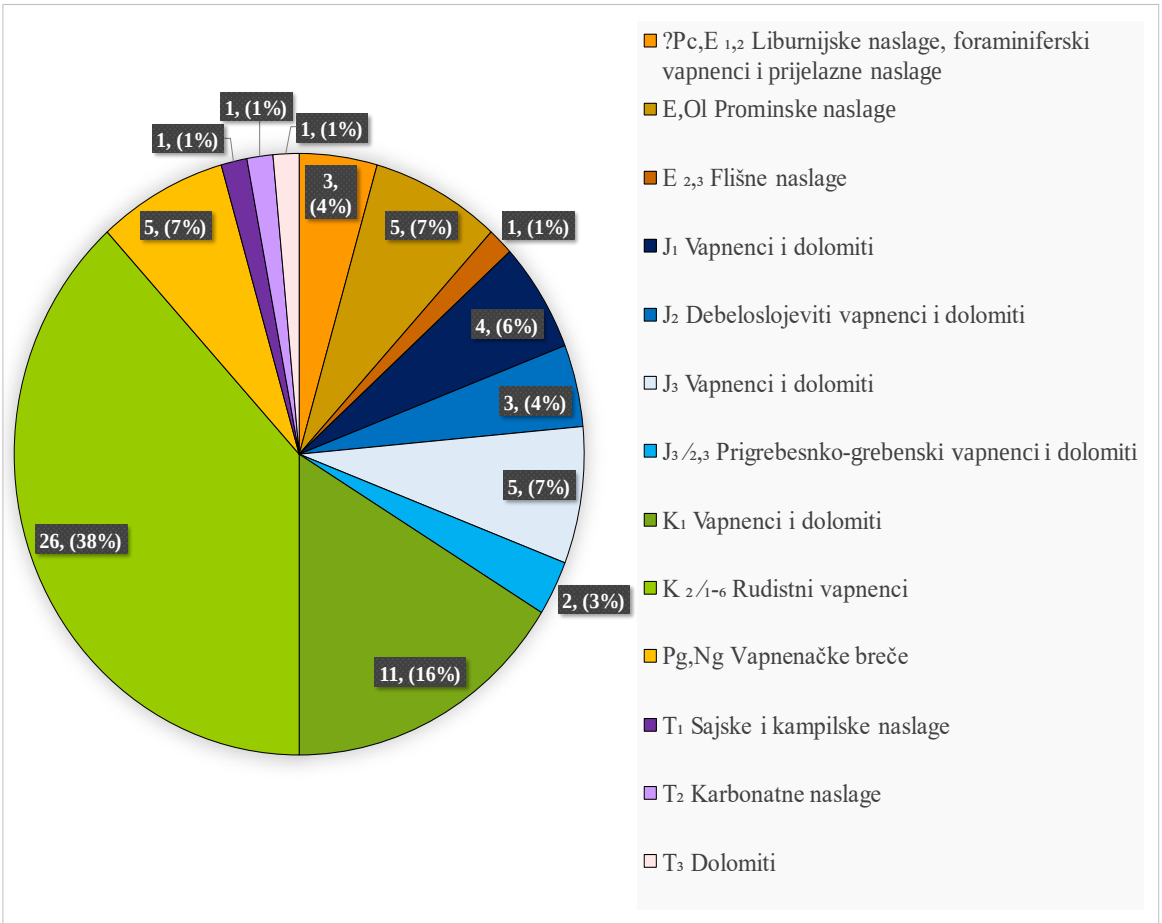
Slika 4.1 *Analiza učestalosti sipara u inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš. Prostorni prikaz inženjerskogeoloških jedinica izrađen je prema modificiranoj OIGK-a (Čubrilović i dr., 1967).*



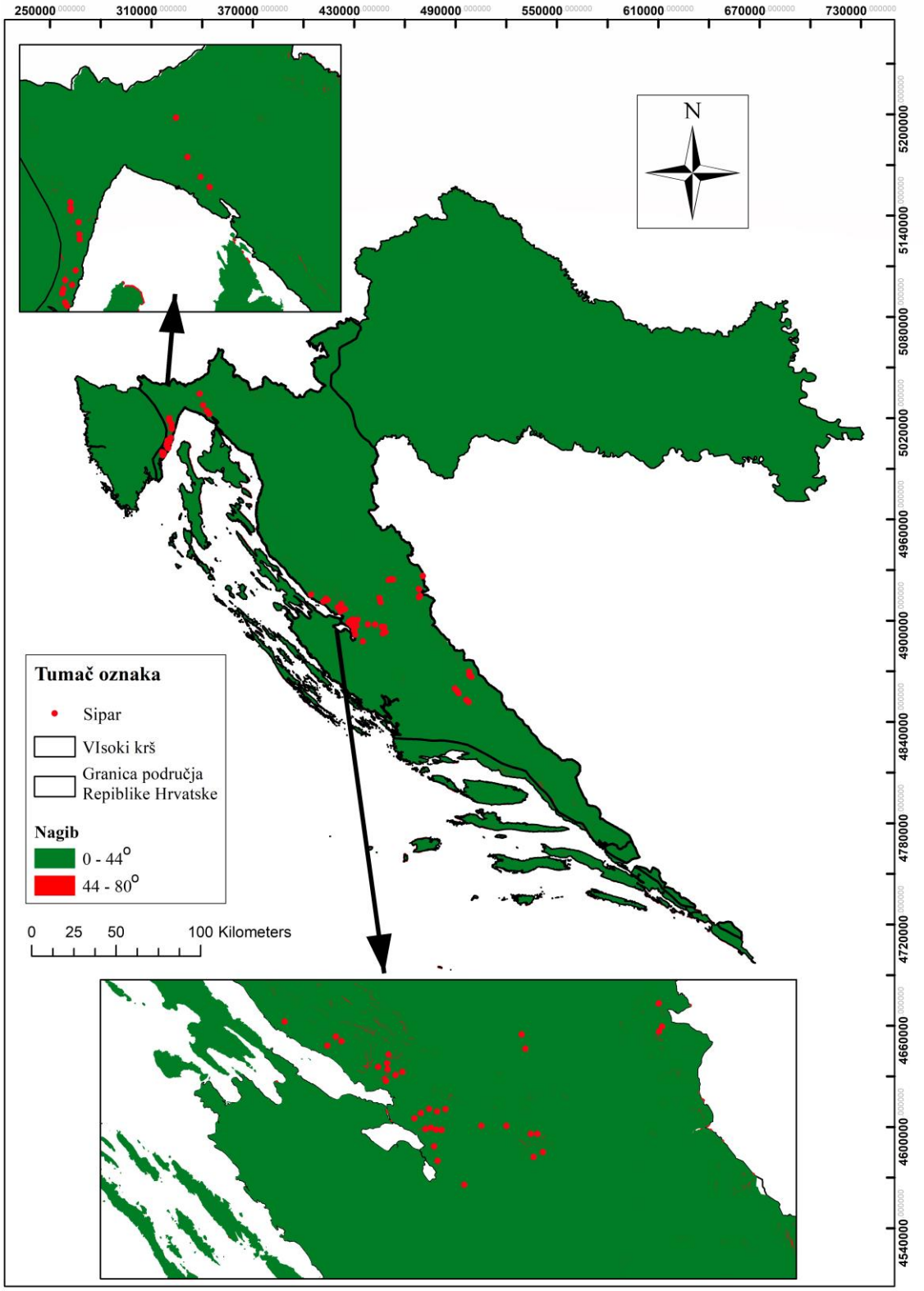
Slika 4.2 *Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš izrađeno prema modificiranoj OIGK (Čubrilović i dr., 1967).*



Slika 4.3 *Analiza učestalosti sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš. Prostorni raspored kronostratigrafskih jedinica preuzet je s geološke karte RH (Hrvatski geološki institut, 2009).*



Slika 4.4 *Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Visoki krš izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009).*



Slika 4.5 *Prikaz nagiba padina na području geotektonske jedinice Visoki krš s zabilježenim pojavama sipara.*

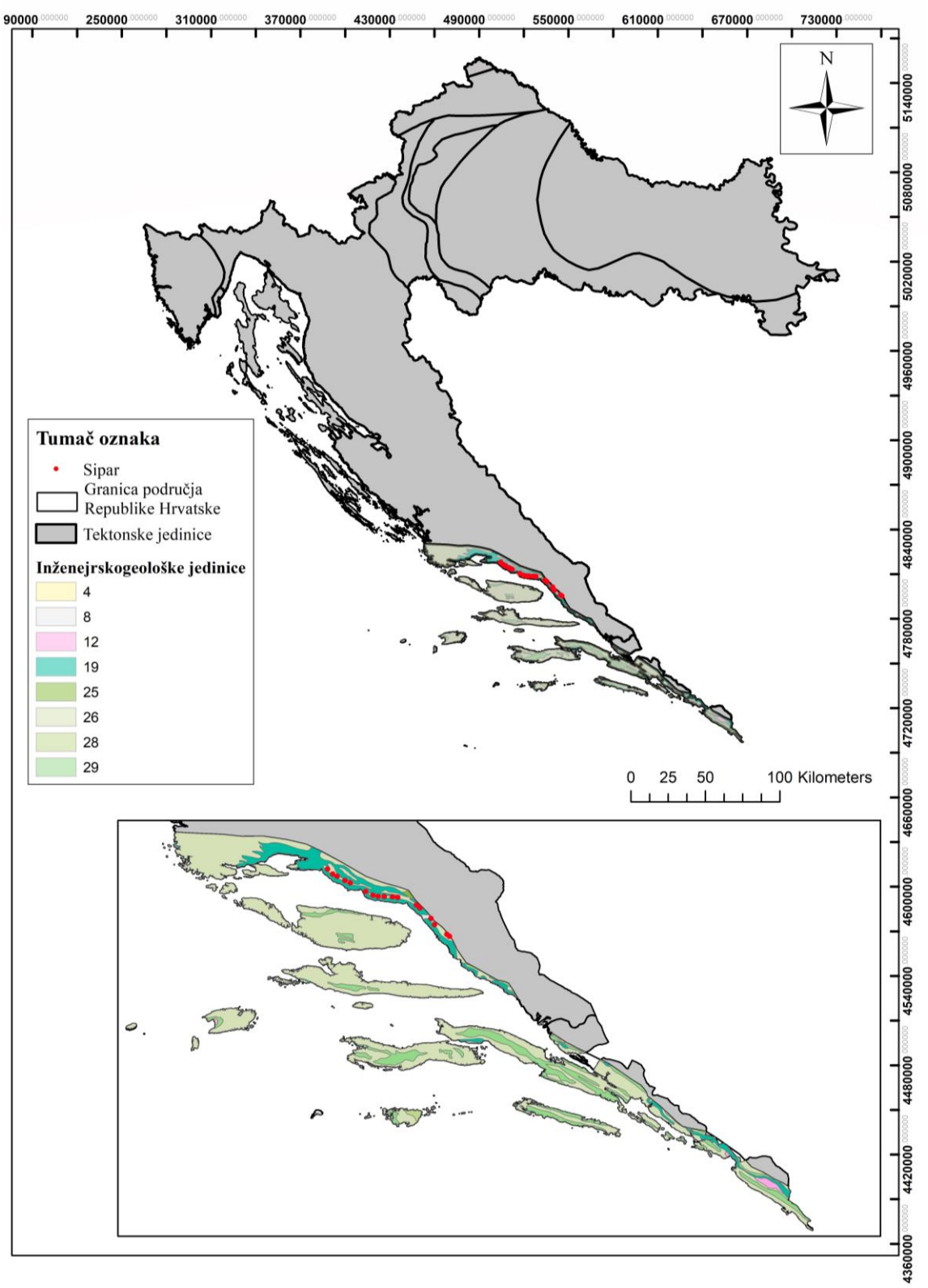
4.1.3 Geotektonska jedinica Dalmatinska zona

Prema podacima s OIGK (Čubrilović i dr., 1967) unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona zabilježeno je 17 pojava sipara odnosno odrona.

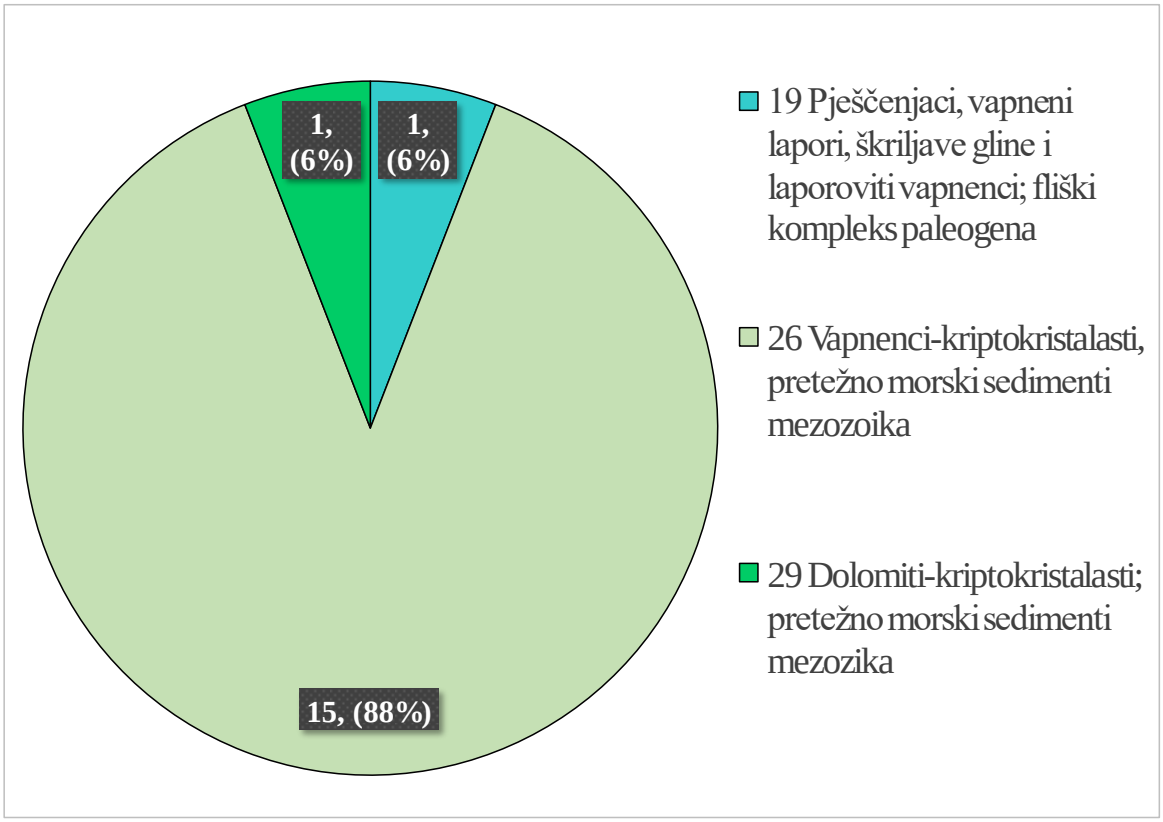
Naslage s OIGK s pojavama sipara su sljedeće: pješčenjaci, vapneni lapori, škriljave gline i laporoviti vapnenci; fliškoliki kompleks paleogena (19); vapnenci – kriptokristalasti (26); dolomiti – kriptokristalasti (29) (slika 4.6). Najveći broj pojava sipara zabilježen je u sljedećim naslagama: u kriptokristalastim vapnencima (26) postoji 15 (oko 88% od ukupnog broja pojave) izvorišnih područja, dok u fliškolikom kompleksu (19) i kriptokristalastim vapnencima postoji po jedno područje izvorišnog materijala (oko 6% po svakoj navedenoj vrsti naslaga) (slika 4.7).

Naslage s geološke karte RH s pojavama sipara su sljedeće: deluvijalno-proluvijalne naslage ($dprQ_2$); fliškolike naslage ($E_{2,3}$); debeloslojeviti vapnenci i dolomiti (J_2); rudistni vapnenci ($K_2/_{1-6}$) (slika 4.8). Najveći broj pojava sipara zabilježen je u naslagama rudistnog vapnenca ($K_2/_{1-6}$) gdje je zabilježeno 9 (oko 53% od ukupne pojave) izvorišnih područja, te u fliškolikim naslagama ($E_{2,3}$) gdje je zabilježeno 6 (oko 35 % od ukupne pojave) izvorišnih područja materijala sipara, dok u deluvijalno-proluvijalnim naslagama ($dprQ_2$) i debeloslojevitim vapnencima i dolomitima (J_2) postoji po jedno područje izvorišnog materijala oko 6% po svakoj navedenoj vrsti naslaga (slika 4.9).

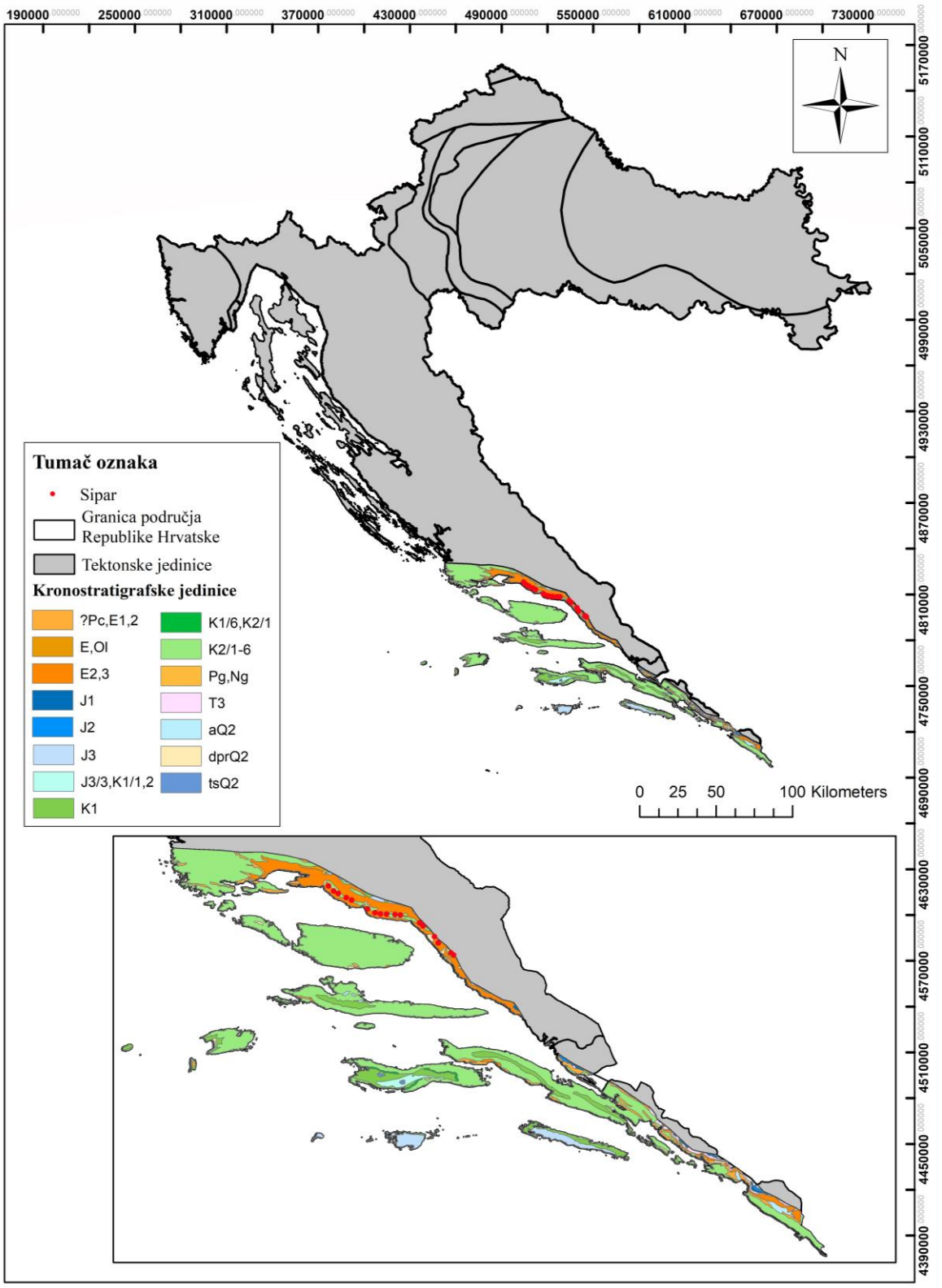
Analiza učestalosti pojava sipara u različitim razredima kutova nagiba padina na području geotektonske jedince Dalmatinska zona potvrdila je da se pojave sipara nalaze na području ili u blizini područja visokih nagiba, između 44 – 80° (slika 4.10). S obzirom na naslage koje su navedene kao izvorišna područja sipara prema geološkoj karti RH i OIGK, u tim naslagama potencijalno može doći do pojave odrona. Kao što je već spomenuto kod geotektonske jedinice Visokog krša, zbog male prostorne rezolucije DMV-a (20*20 m) na kojemu strmi pokosi nisu dovoljno dobro izraženi rezultati učestalosti nisu prikazani kvantitativno, jer se ne smatraju reprezentativnim. Za uvid u učestalost po pojedinim razredima nagiba padina, nužno je analize provoditi s digitalnim modelom visina veće razlučivosti.



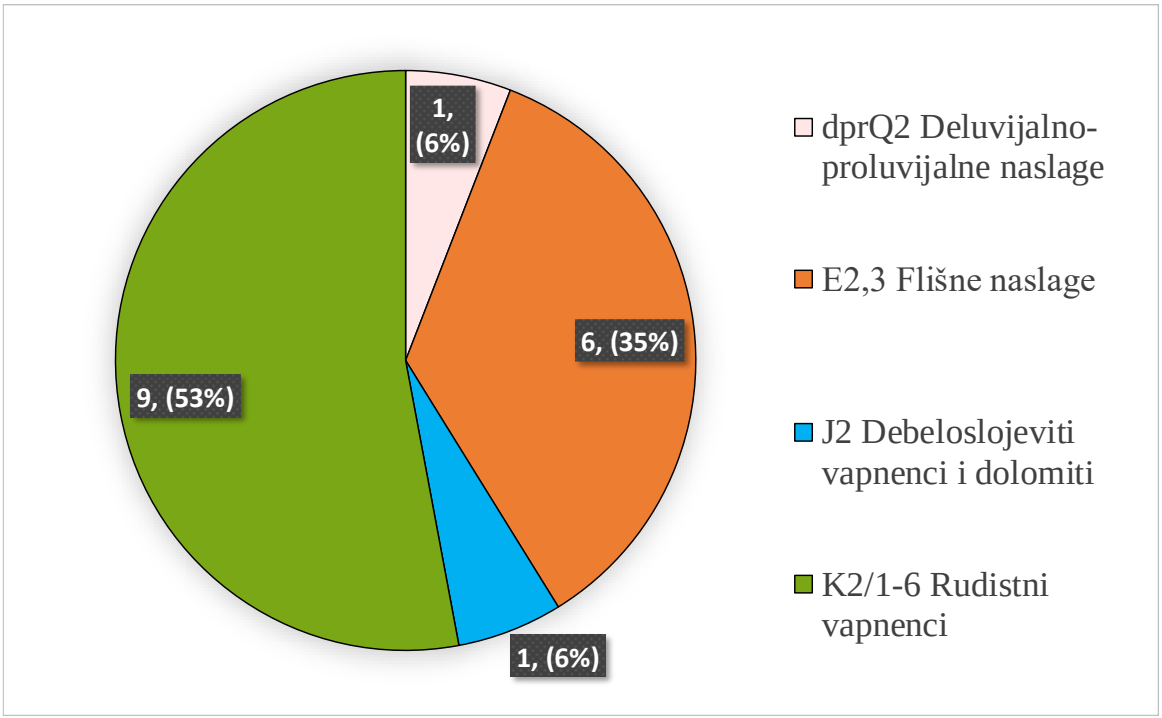
Slika 4.6 *Analiza učestalosti sipara u inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona. Prostorni prikaz inženjerskogeoloških jedinica izrađen je prema OIGK-a (Čubrilović i dr., 1967).*



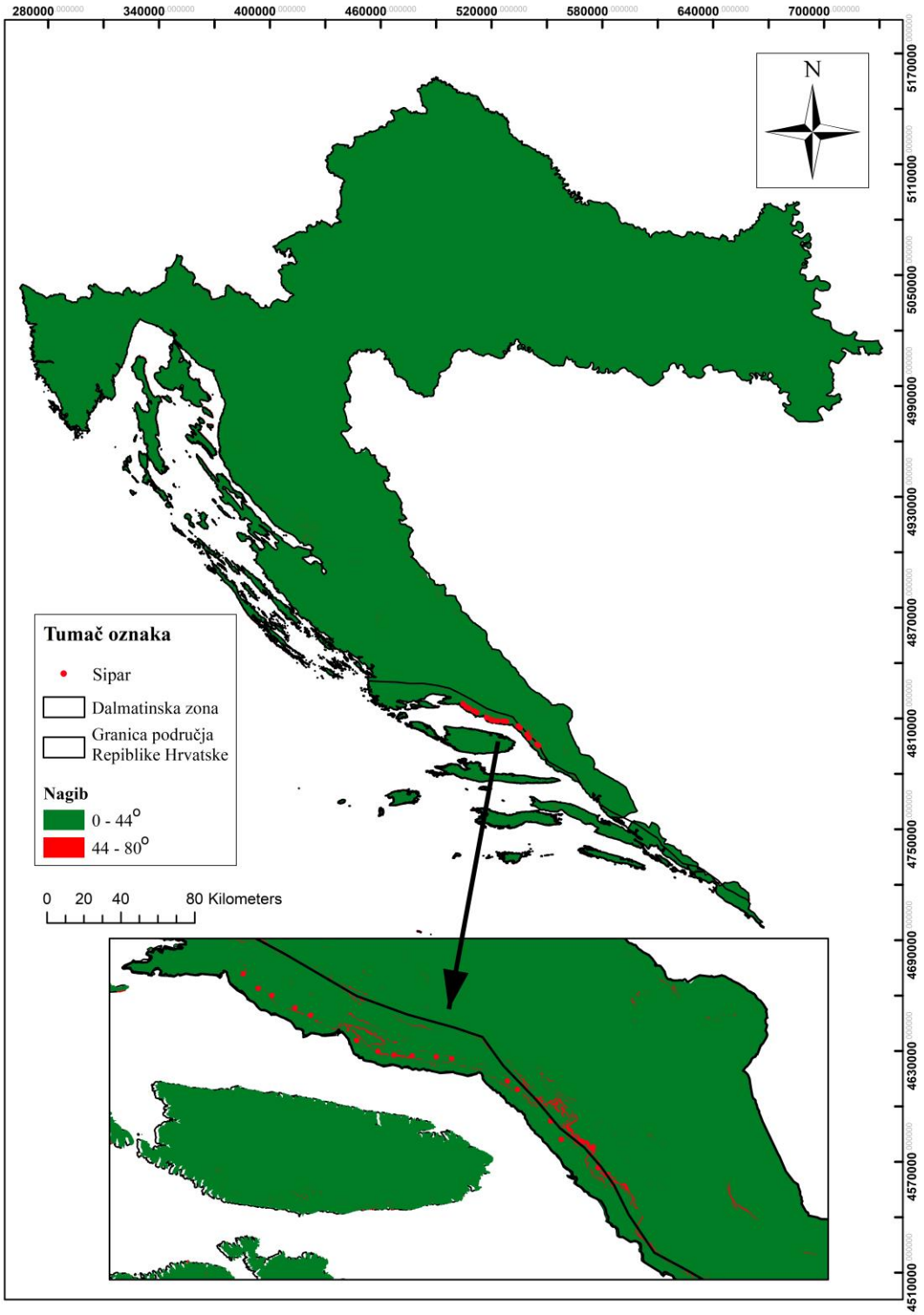
Slika 4.7 *Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po inženjerskogeološkim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona izrađeno prema modificiranoj OIGK (Čubrilović i dr., 1967).*



Slika 4.8 *Analiza učestalosti sipara u kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona. Prostorni prikaz kronostratigrafskih jedinica izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009).*



Slika 4.9 *Dijagram zastupljenosti broja pojava sipara po kronostratigrafskim jedinicama unutar geotektonske jedinice Dalmatinska zona izrađeno prema geološkoj karti RH (Hrvatski geološki institut, 2009).*



Slika 4.10 *Prikaz nagiba padina na području geotektonske jedinice* Dalmatinska zona *s zabilježenim pojavama sipara.*

4.2 Analiza erozije (jaruga)

Analiza erozije je provedena na razini cijele Republike Hrvatske odnosno u preostalim geotektonskim jedinicama koje pripadaju Panonskom bazenu, a to su: Pred-krš i Bosanski fliš, Jadarsko-kopaonička navlaka, Južne Alpe, Zapadno Vardarska-ofiolitna zona, područje Save, Tisza, južna granica Meliate. Razlog tome jest, što je zastupljenost ove pojave puno raširenija nego sipari koji su analizirani unutar tri geotektonske jedinice. Za analizu jaruga koristio se inventar klizišta digitaliziran prema Osnovnoj inženjerskogeološkoj karti SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967). Također je rađena analiza pomoću geološke karte RH M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009) kako bi se vidjelo u kojim se kronostratigrafskim jedinicama pojavljuju jaruge (slika 4.11 i slika 4.12).

Na temelju digitalizacije jaruga prema OIGK-a, na području Hrvatske zabilježeno je 167 pojava jaruga kao erozijskih oblika. U tablici 4.1 prikazane su sve geotektonske jedinice, a u svakoj je zabilježen određeni broj jaruga. Da bi se mogao izbrojati broj jaruga po geotektonskoj jedinici, cijela linija kojom je prikazana jaruga mora biti unutar pojedine geotektonske jedinice. Iz tog razloga ukupan broj jaruga koji je naveden umanjen je za 22, što znači da je u tablici 4.1 prikazano ukupno 145 pojava jaruga. Jaruge su zabilježene u svim geotektonskim jedinicama osim u Dalmatinskoj zoni gdje nema niti jedne. Najveći broj pojava jaruga, 44 pojave (oko 30,35% od ukupnog broja pojava) zabilježen je u geotektonskoj jedinici Jadranska ploča. Po pojavi jaruga slijedi geotektonska jedinica Tisza s 28 pojava jaruga (oko 19,31%), te geotektonska jedinica Visokog krša u kojoj se pojavljuje 20 jaruga (oko 13,79%) te područje Save s 17 jaruga (11,72%). Osim jaruga, po svakoj geotektonskoj jedinici zabilježene su naslage u kojima se te jaruge pojavljuju. Na temelju tablice 4.1 uočava se da su jaruge zastupljene u svim vrstama stijena: magmatskim, metamorfnim i karbonatnim, te u velikom broju naslaga: fliškolikim, klastičnim, aluvijalnim, jezerskim, deluvijalnim, eolskim naslagama različite geološke starosti.

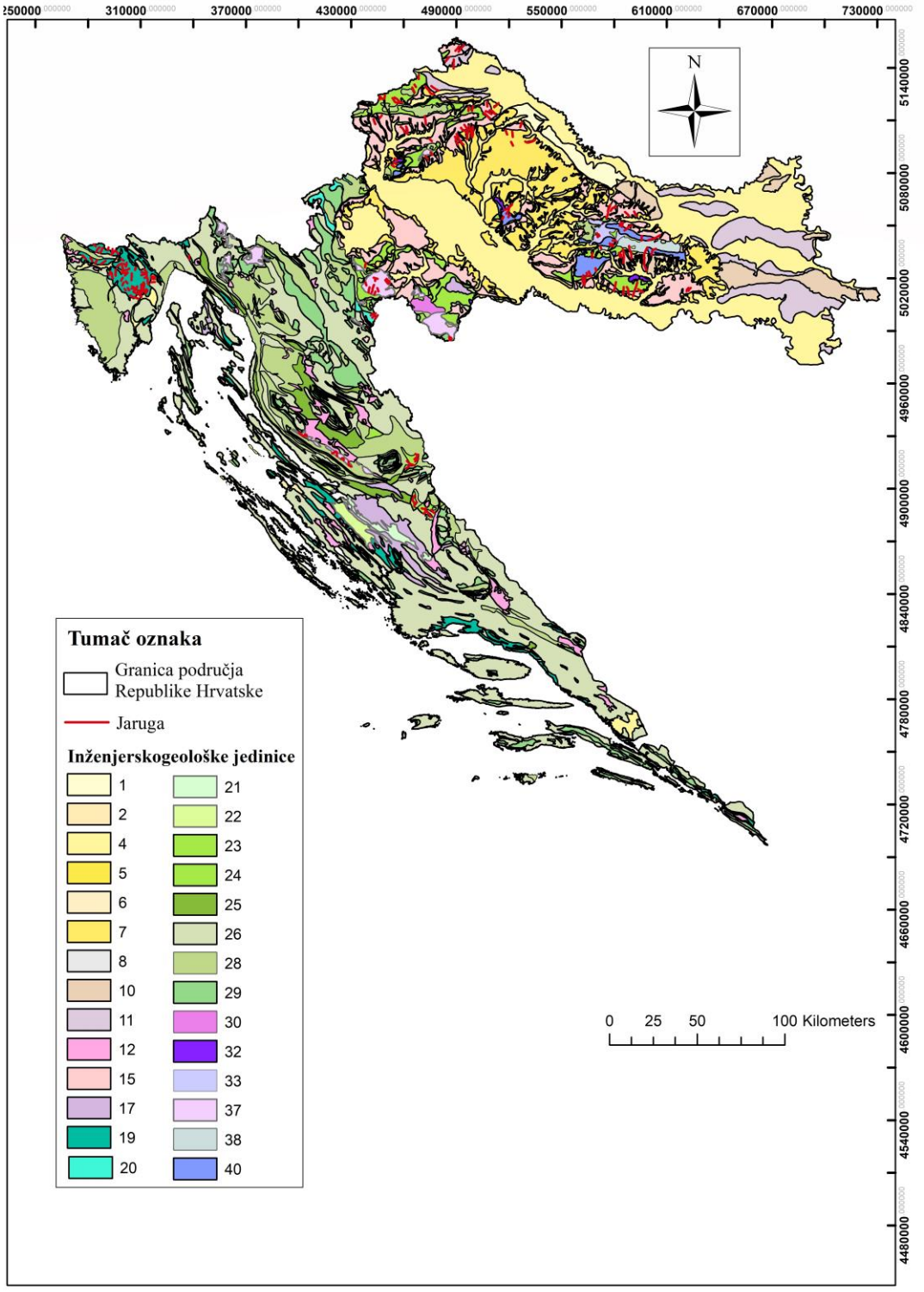
Tablica 4.1 Zastupljenost jaruga po svakoj geotektonskoj jedinici i naslage u kojima se jaruge pojavljuju.

Geotektonske jedinice	Broj jaruga, (%)	Oznaka	
		Kronostratigrafske jedinice	Inženejrskogeološke jedinice
Zapadno Vardarska - ofiolitna zona	6, (4,14%)	$J_{2,3}$	4
		Pl,Q	7
		M_7	15
		aQ_2	23
		$M_{5,6}$	32
		M_4	
		Ol, M_1	
		T_3	
		aQ_1	
		lQ_1	
Tisza	28, (19,31%)	Pk	4
		$M_{2,3}$	10
		M_4	15
		Pl	23
		$M_{5,6}$	33
		O,S,D	38
		M_7	40
		lQ_1	
		aQ_2	
		D,C,P	
		T_1	
		Pl,Q	

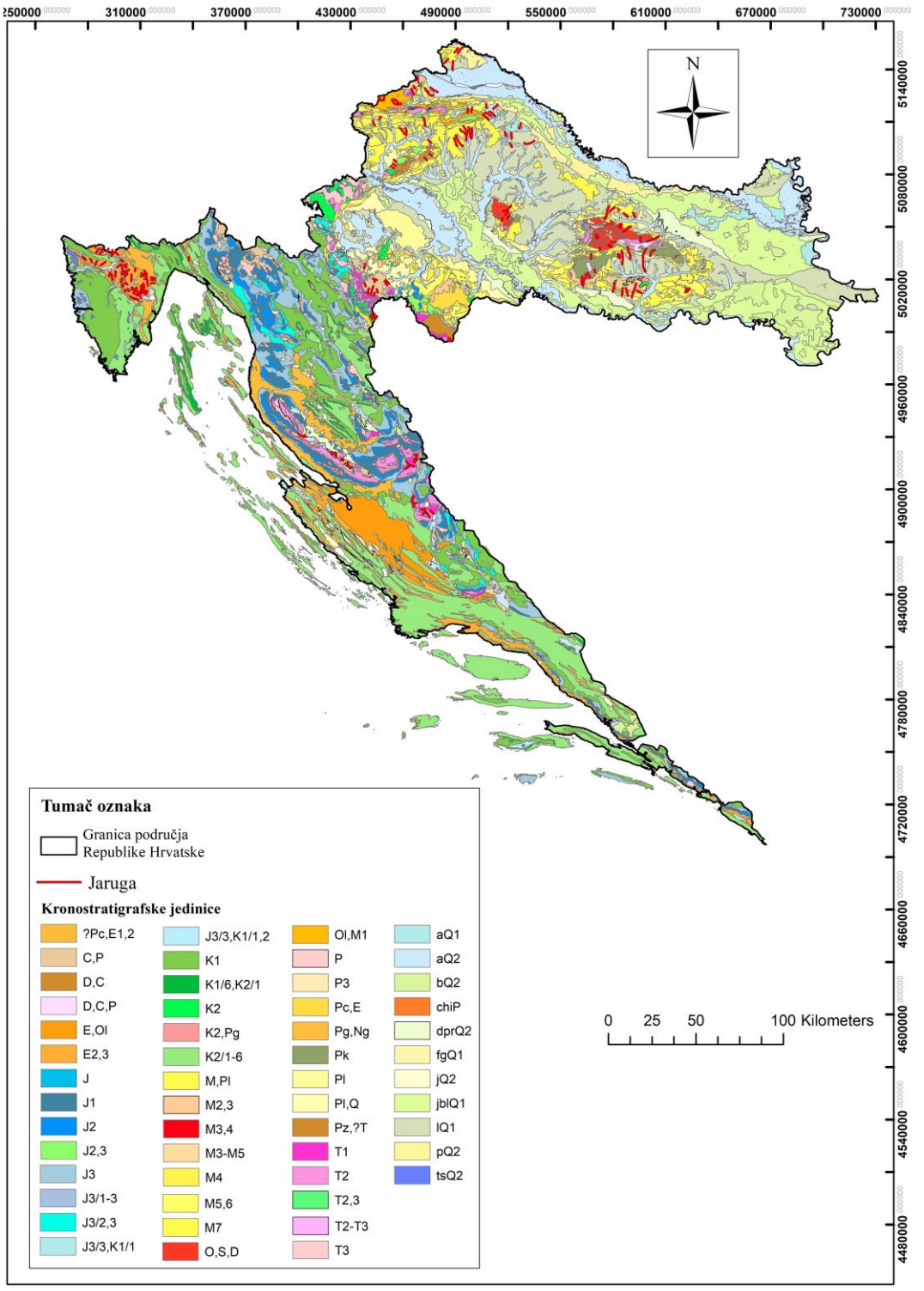
Geotektonske jedinice	Broj jaruga, (%)	Oznaka	
		Kronostratigrafske jedinice	Inženejrskogeološke jedinice
Područje Save	17, (11,72%)	K2	4
		M2,3	7
		M5,6	15
		M7	23
		lQ1	32
		dprQ2	40
		aQ2	
		M4	
		O,S,D	
		aQ1	
Jadarsko-kopaonička navlaka	4, (2,76%)	M7	7
		lQ1	15
		Pz,?t	23
		M2,3	24
		M4	32
		M5,6	37
		J2,3	
		K2	
Pred-krš i Bosanski fliš	12, (8,28%)	D,C	15
		T1	24
		Pl,Q	29
		C,P	37
		aQ2	

Geotektonske jedinice	Broj jaruga, (%)	Oznaka	
		Kronostratigrafske jedinice	Inženejrskogeološke jedinice
Južna margina Meliata	2, (1,38%)	pQ_2	4
		lQ_1	11
		M_7	15
Južne Alpe	12, (8,28%)	lQ_1	4
		M_7	7
		aQ_2	11
		$M_{2,3}$	15
		$M_{5,6}$	23
		Pl,Q	28
		T_2	
		T_1	
		M_4	
		Ol, M_1	
		aQ_1	

Geotektonske jedinice	Broj jaruga	Oznaka	
		Kronostratigrafske jedinice	Inženejrskogeološke jedinice
Jadranska ploča	44, (30,35%)	$E_{2,3}$	4
		?Pc, $E_{1,2}$	19
		aQ_2	26
		$K_{2/1-6}$	
Visoki krš	20, (13,79%)	T_1	12
		T_2	19
		aQ_2	24
		Pg, Ng	26
		J3	28
		dprQ2	37
		C,P	
		J1	
		?Pc, $E_{1,2}$	
		$K_{2/1-6}$	
		$E_{2,3}$	



Slika 4.11 *Osnovna inženjerskogeološka karta SFRJ (Čubrilović i dr., 1967) – prikaz prostornog rasporeda inženjerskogeoloških jedinica i jaruga*



Slika 4.12 *Geološka karta RH (Hrvatski geološki institut, 2009) – prikaz prostornog rasporeda kronostratigrafskih jedinica i jaruga*

5. DISKUSIJA

Analiza pojava sipara provedena je za tri geotektonske jedinice: nedeformirani dio Jadranske ploče, Visoki krš i Dalmatinska zona na temelju zabilježenih pojava sipara s ne digitalizirane OIGK (Čubrilović i dr., 1967). Digitalizacijom pojava sipara kao točkastog podatka utvrđivane su samo naslage u kojima se sipar izvorno pojavljuje odnosno gdje je moguća pojava procesa odronjavanja.

Na temelju analize na području geotektonske jedinice Jadranska ploča utvrđeno je da nema niti jedne pojave sipara. Mogući razlozi zbog kojeg nema pojave sipara su: različiti preduvjeti klizanja kao na primjer manje nadmorske visine naspram ostalih geotektonskih jedinica, drugačiji klimatski uvjeti, te tektonika koja je prema geološkoj karti RH puno slabije izražena u odnosu na geotektonske jedinice Visoki krš i Dalmatinska zona. Nagib na ovome području je većinom u kategoriji od 0-44°, tek neznatna površina od 0.02% ima nagib padina veći od 44° što ukazuje da je teško moguća pojava odrona na ovome području.

Na temelju analiza za područje geotektonske jedinice Visoki krš zabilježena je najveća pojava broja sipara (68). Najveći broj sipara po OIGK zabilježen je u sljedećim inženjrskogeološkim jedinicama: kriptokristalasti vapnenac (26) s 43 pojave sipara što je oko 62% od ukupnog broja pojava. Zatim 10 pojava u vapenančkim brečama (25) (oko 14%) i 10 pojava sipara u kriptokristalastim dolomitima i vapnencima (28) (oko 14%). Prema OIGK najveći broj sipara zabilježen je u sljedećim kronostratigrafskim jedinicama: rudistnim vapnencima ($K_{2/1-6}$), s 26 pojava sipara što je oko 38% posto od ukupne pojave, te 11 u donjo-krednim vapnencima i dolomitima (K_1) (oko 16%). Uspoređujući ove dvije karte jedina sličnost je što se najveći postotak pojava sipara nalazi u stijenskom materijalu, a razlika je u tome što je puno veći broj naslaga uključen u analizi kronostratigrafskih jedinica nego inženjerskogeoloških, te je time u puno drugačije raspoređen postotak pojave sipara po jedinicama. Potvrda da je moguć proces odronjavanja na lokacijama gdje su zabilježene pojave sipara je i nagib koji na tim lokacijama koji iznosi između 44 - 80°.

Analizom pojave sipara na području geotektonske jedinice Dalmatinska zona utvrđeno je 17 pojava sipara. Prema OIGK, najveći broj sipara (15) zabilježen je u inženjerskogeološkoj jedinici kriptokristalastog vapnenca (26) što je oko 88% od ukupne pojave sipara. Prema OIGK, najveći broj sipara (9) zabilježeno je u sljedećim kronostratigrafskim jedinicama: rudistni vapnenac ($K_{2/1-6}$) što je 53% od ukupne pojave sipara, te 6 pojava sipara zabilježeno

je u deluvijalno-proluvijlanim naslagama ($dprQ_2$) (oko 35%). Lokacije pojave sipara se nalaze na području gdje nagib iznosi približno između 44-80°. Pojava sipara odnosno mogućeg procesa odronjavanja na ovome području mogu se povezati s rezultatima koji su dobiveni istraživanjem strmih pokosa u blizini grada Omiša (Sečanj i dr., 2017) čime se pokazuje da dobiveni rezultati su odgovarajući. I u ovoj geotektonskoj jedinici najveći broj sipara zabilježen u stijenskom materijalu, ali s drugačije raspoređenim odnosima sipara po inženjerskogeološkim i kronostratigrafskim jedinicama.

Pojave jaruga analizirane su cijelo područje republike Hrvatske za sve geotektonske jedinice (slika 3.1). Jaruge su prikazane kao linijski objekti digitalizirani s OIGK i analizirana je njihova prisutnost u inženjerskogeološkim i kronostratigrafskim jedinicama (tablica 4.1). Na temelju analize utvrđena je pojava u svim geotektonskim jedinicama osim u geotektonskoj jedinici Dalmatinska zona. Uzimajući u obzir samo geotektonske jedinice koje se pojavljuju na području Panonskog bazena, jaruge se pojavljuju većinom u metamorfnim, magmatskim i karbonatnim stijenama, aluvijlanim, klastičnim i jezerskim naslagama. Također što se starosti tiče naslage se većinom pojavljuju u naslagama neogensko-kvartarne starosti, a stijene su većinom paleozojske i mezozojske starosti. U preostale dvije geotektonske jedinice (Jadranska ploča i Visoki krš) jaruge se najviše pojavljuju u fliškolikim naslagama paleogenske starosti na području Jadranske ploče gdje je i zabilježen najveći broj jaruga (44 ili 30,35% od ukupne pojave). Manji broj jaruga zabilježen je u brečama i karbonatnim naslagama na području Visokog krša (20 ili 13,79% od ukupne pojave). Razlog zbog kojeg nije uzeto u obzir 22 pojave jaruga je taj što se te jaruge nalaze na granici između dvije geotektonske jedinice te ih računalni program *ArcGIS Desktop* pomoću dodatka *ArcToolbox/Spatial Join* broji dva puta te oduzima ili dodaje ovisno o korištenoj metodi. U ovome slučaju je korištena metoda *Within* čime se broje samo oni linijski objekti koji se promatraju unutar određenog poligona te iz tog razloga je oduzet broj jaruga za 22 od ukupnog broja pojava. Rješenje za ovaj problem nije nađen u okviru ovog rada. Bez obzira na ne analizirani broj jaruga, promatrano je u kojim se naslagama pojavljuju te izuzete pojave sipara te ovisno o geotektonskoj jedinici te naslage su dodane u tablicu 4.1.

Analizom pojava sipara i jaruga uočava se da postoje nedostaci i to ponajviše u ulaznim podacima. Kod Osnove inženjerskogeološke karte SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) problem se javlja u tome što je karta zastarjela, dosta sitnog mjerila i simboli koji označavaju pojedinu pojavu ne prikazuju preciznu lokaciju te pojave nego se odnose na puno

šire područje i zahvaćaju veći broj naslaga nego što bi možda u stvarnosti bilo. Geološka karta Republike Hrvatske M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009) s koje su dobiveni podaci o kronostratigrafskim jedinicama iako je relativno nova također je sitnog mjerila, a i rađena je okvirno za generalni prikaz stijena i tala na području Hrvatske, te zbog toga se ne može govoriti o potpunoj preciznosti podataka. DMV razlučivosti 20 metara ima jako malu rezoluciju iz čega proizlazi da strmi pokosi nisu dovoljno dobro zastupljeni, te zbog toga nagib nije prikazan po većem broju razreda. Da bi se dobili razredi kutova nagiba padina potrebno je analize provoditi na DMV-u veće razlučivosti. Bez obzira na sve navedeno, ovakve analize su dobar početni korak zato jer se dobiva uvid u prostorni prikaz klizišta u odnosu na različite faktore (tip naslaga, namjena zemljišta, nagib, litologija, vodene površine i sl.) te služe pri izradi nekih kompleksnijih projekata kao što su procjene podložnosti, hazarda ili rizika klizišta. Takve procjene su izuzetno korisne za širok spektar struka, te nadležnim institucijama i upravama koje to mogu koristiti za adekvatno planiranje namjene zemljišta, izradu prostornih planova, zaštita prometnih infrastruktura, kulturne baštine i ljudskih života.

6. ZAKLJUČAK

Na području Republike Hrvatske zadnjih desetljeća zabilježena je sve veća pojava klizišta u stijenskoj masi, odnosno odrona. Zbog toga postoji potreba za procjenom podložnosti, hazarda i rizika od odrona

Cilj ovog rada bio je utvrditi u kojim se naslagama pojavljuju pojave sipara i jaruga gdje je kao rezultat dobiveno u kojim je sve naslagama moguć proces odronjavanja i erozije gledano za svaku geotektonsku jedinicu na području Hrvatske. Za analizu sipara utvrđivane su izvorišne naslage u kojima sipar nastaje, te su prikazane kao točke. Jaruge su analizirane kao linijski podatak, kako bi se došlo do saznanja u kojim naslagama dolazi do njihove pojave. Digitalizacijom sipara i jaruga dobiveni su podatci o naslagama u kojima se odvijaju procesi odronjavanja i erozije. Za analizu ovih dviju pojava korištene su digitalizirana Osnovna inženjerskogeološka karta SFRJ (OIGK) M 1:500.000 (Čubrilović i dr., 1967) i geološka karta RH M 1:300.000 (Hrvatski geološki institut, 2009). Inventar klizišta i prostorni raspored inženjerskogeoloških jedinica digitaliziran je s OIGK. Pomoću geološke karte RH prikazan je prostorni raspored kronostratigrafskih jedinica. Određen je kritični kut nagiba padina pomoću DMV-a iznad kojeg je moguća pojava odrona prema formuli iz poglavlja 3.4 te on iznosi 44°. Također, analizom DMV-a, rezolucije 20x20m utvrđeni su i kutovi nagiba padina prilikom kojih dolazi do odrona i oni iznose između 44-80°.

Analiza sipara se provodila za tri geotektonske jedinice: Jadranska ploča, Visoki krš i Dalmatinska zona. Utvrđivana su samo izvorišna područja materijala sipara koja upućuju na moguće lokacije odvijanja procesa odronjavanja. Na temelju analize utvrđeno je da u geotektonskoj jedinici Jadranska ploča nema niti jedne pojave sipara. U geotektonskoj jedinici Visoki krš utvrđeno je 68 pojava sipara u sljedećim inženjerskogeološkim jedinicama: 43 pojave (oko 62%) zabilježen je u kriptokristalastim vapnencima (26), vapnenačke breče s karbonatnim vezivom (25) u kojima je 10 pojava (oko 14%), kriptokristalasti vapnenci i dolomiti (28) s 10 pojava (oko 14%). Najveći broj sipara utvrđen je u sljedećim kronostratigrafskim jedinicama: 26 pojava (oko 38%), zabilježen je u naslagama rudistnog vapnenca (K_{2} ⁄$_{1-6}$), a 11 pojava (oko 16%) je u donjo-krednim vapnencima i dolomitima (K_{1}).

U geotektonskoj jedinici Dalmatinska zona utvrđeno je 17 pojava sipara u sljedećim inženjerskogeološkim jedinicama: kriptokristalasti vapnenci (26) postoji 15 pojava (oko

88%), u fliškolikom kompleksu (19) i kriptokristalasti dolomiti postoji po jedno područje izvorišnog materijala (oko 6%). Najveći broj sipara utvrđen je u sljedećim kronostratigrafskim jedinicama: rudistni vapnenci ($K_{2,1-6}$) gdje je zabilježeno 9 pojava (oko 53%), u fliškolikim naslagama ($E_{2,3}$) zabilježeno je 6 pojava sipara (oko 35%), dok u deluvijalno-proluvijalnim naslagama ($dprQ_2$) i debeloslojevitim vapnencima i dolomitima (J_2) postoji po jedna pojava (oko 6%)

Na svim lokacijama gdje se pojavljuju sipari analizirani su kutovi nagiba padina. Za obje geotektonske jedinice (Visoki krš i Dalmatinska zona) utvrđeno je da se pojave sipara nalaze na samom području ili u blizini područja gdje su kutovi nagiba padina između 44-80°. Na temelju toga se može zaključiti da je na tim područjima moguća pojava procesa odronjavanja.

Pojave jaruga su analizirane za cijelo područje Republike Hrvatske u koje su uključene sve geotektonske jedinice: Pred-krš i Bosanski fliš, Jadarsko-kopaonička navlaka, Južne Alpe, Zapadno Vardarska-ofiolitna zona, područje Save, Tisza, južna granica Meliate, Jadranska ploča, Visoki krš i Dalmatinska zona. Ukupno je zabilježeno 167 pojava jaruga, a iz praktičnih razloga analizirano je njih 145. Najveći broj jaruga utvrđen je u sljedeće tri geotektonske jedinice: 44 pojave (oko 30,35%) zabilježeno je u geotektonskoj jedinici Jadranska ploča, 28 pojava jaruga (oko 19,31%) u geotektonskoj jedinici Tisza, te u geotektonskoj jedinici Visoki krš 20 pojava jaruga (13,79%). Analizirajući naslage većina njih se pojavljuje u neogensko-kvartranim naslagama na području Panonskog bazena te u paleogenskim naslagama na području Dinarida i Jadranske ploče.

Provedenim analizama dobiven je prostorni razmještaj geodinamičkih pojava odnosno geodinamičkih procesa za područje Republike Hrvatske. Rezultati analize mogu poslužiti kao ulazni podatak za procjenu podložnosti, hazarda i rizika od odrona. Kako bi rezultati analiza bili pouzdaniji nužno je raspolagati većom količinom prostornih podataka koji su precizni, točni i ažurni.. Procjene podložnosti, hazarda i rizika koje su nastavak ovom istraživanju bile bi od velike koristi pri upravljanju u kriznim situacijama i jedincima samouprave pri donošenju prostornih planovima te bi se mogli očuvati i zaštititi infrastruktura, materijalna dobra, kulturna baština i ljudski životi.

LITERATURA

1. Arbanas, Ž., Udovič, D., Sečanj, M., Đomlija, P., Mihalić Arbanas, S., (2018): *Recentna iskustva u procjeni hazarda i rizika od odrona u stijenskoj masi, 7,* Konferencija Hrvatske platforme za smanjenje rizika od katastrofa, Rijeka, Hrvatska, ukupan br. str. 12

2. Benac, Č., (2013): *Rječnik pojmova u primijenjenoj geologiji i geološkom inženjerstvu,* Udžbenici Sveučilišta u Rijeci, Rijeka, ukupan br. str. 35

3. Cemagref i Arpa, (2008): *Protection de la viabilité alpine*. Završno izvješće. Project Interreg IIIa., str 375.

4. Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43(1), str. 27-29.

5. Čubrilović, P., Palavestrić, Lj., Nikolić, T., Ćirić, B., (1967): *Inženjerskogeološka karta SFR Jugoslavije*, Beograd: Savezni geološki zavod

6. Erak, M., (2018): *Karta podložnosti na klizanje Republike Hrvatske,* Diplomski rad, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, str 35

7. Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z. (2008): *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning,* ENG GEOL 102 3, str. 99–111.

8. Ferrari, F., Giacomini, A., Thoeni, K. (2016): Qualitative rockfall hazard assesment: a comprehensive review of current Parctices. ROCK MECH ROCK ENG 49 7, str. 2865-2922

9. Fookes, P.G, Lee, E.M. & Griffiths, J.S. (2007): *Engineering Geomorphology Theory and Practice*, Whittles Publishing, Dunbeath, Scotland.

10. Highland, L.M., i Bobrowsky, P. (2008): *The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia*, U.S. Geological Survey Circular 1325, str. 129.

11. Krebs, N., Penck, A., (2010): *Die Halbinsel Istrien: Landeskundliche Studie (1907:* Kessinger Publishing, Lepizig

12. Lupia-Palmieri, E. (2006): *Erosion. U: Goudie, A. (ed.): Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, London, Vol. 1, str. 331-336

13. Mihalić Arbanas, S., Sečanj, M., Bernat Gazibara, S., Krkač, M., Begić, H., Džindo, A., Zekan, S., Arbanas, Ž., (2017): *Landslides in the Dinarides and Pannonian Basin – from the largest historical and recent landslides in Croatia to catastrophic landslides caused by Cyclone Tamara (2014) in Bosnia and Herzegovina*, Landslides, 2017./volumen 14/ broj 6, str. 1861 – 1876

14. Mihalić, S., Bernat Gazibara, S., (2015): *Inženjerska geologija; Interna skripta RGN fakulteta*, Zagreb: RGN fakultet

15. Schmid, SM., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K., (2008): *The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units*. Swiss J Geosci 101(1), str. 139–183.

16. Sečanj, M., Mihalić Arbanas, S., Kordić, B., Krkač, M., Bernat Gazibara, S.,: *Identification of rock prone areas 37 on the steep slopes above the Town of Omiš, Croatia*. Proceedings: of World Landslide Forum 4 Ljubljana 38 (2017), Advancing Culture of Living vith Landslidees, Vol. 5 Landslides in different Environments (ur. Mikoš, M., 39 Vilimek, V., Yi, Y., Sassa, K.), str. 481 – 488, Springer International Publishing, Cham, 2017.

17. Selby, M. J. (2005): *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press, Oxford.

18. Tari, V. (2002): *Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonostratigraphic approach*, EGU Stephan Mueller Special Publications 1, European Geosciences Union, str. 223–236

19. Tomljenović, B., Csontos, L., Márton, E., Márton, P., (2008): *Tectonic evolution of the northwestern internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia*. In: Siegesmund S, Fügenschuh B, Froitzheim N (eds) Tectonic aspects of the alpine-Dinaride-Carpathian system, special publications, vol 298. Geological Society, London, str. 145–167

20. Udovič, D., Mihalić Arbanas, S., Arbanas, Ž., Grošić, M., (2013): *Rockfall Hazard*

Management od Traffic Facilities in Croatia, ResearchGate, ukupan br. str. 7

21. Varnes, D.J., (1984)*: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Darantiere,* Pariz: UNESCO Press.

22. Velić, I., Tišljar, J., Matičec, D., Vlahović, I., (1995): *Opći prikaz geološke građe Istre. U radu: Vlahović, I., Velić, I*., Terenski vodič 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Hrvatski Geološki Institut, Zagreb, str. 5–30

23. Wells, N. A. (2006): *Gully. U: Goudie, A. (ur.): Encyclopedia of Geomorphology*, Routledge, London, Vol. 1, str. 503-506.