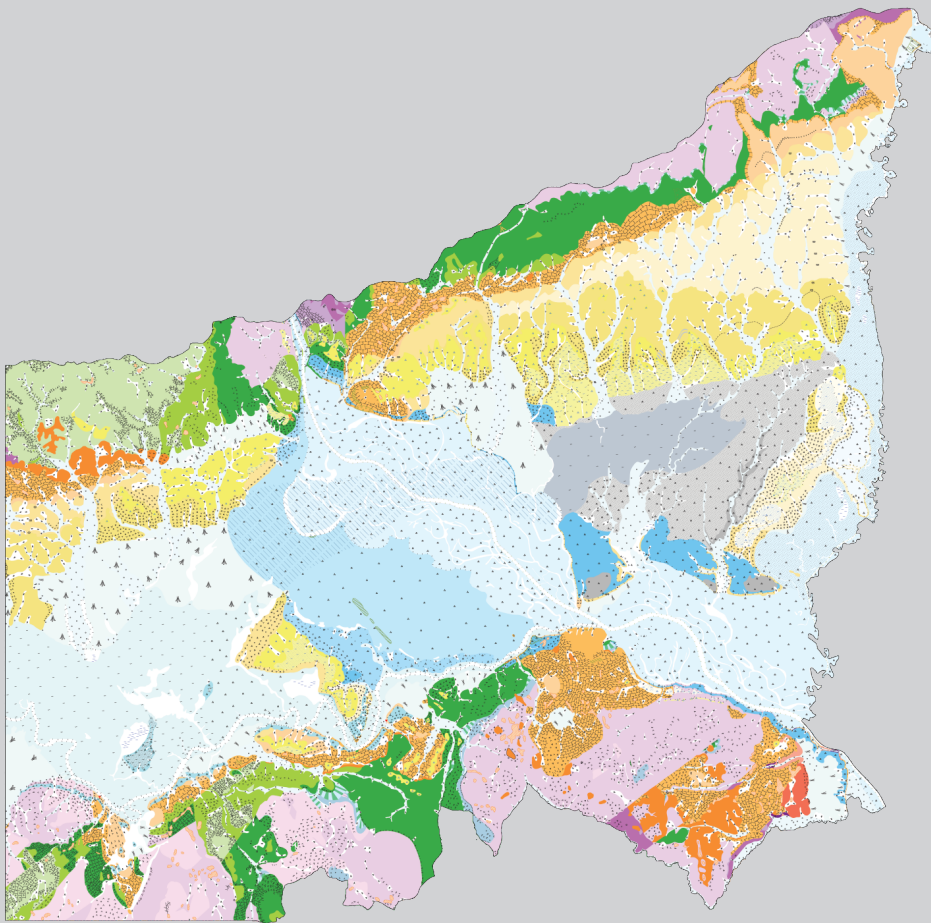


# Geološka karta vzhodnega dela Krške kotline 1 : 25 000

Geological Map of the Eastern Part of the  
Krško Basin 1:25,000

Tolmač  
Explanatory Booklet



Marijan Poljak



**GEOLOŠKA KARTA VZHODNEGA DELA KRŠKE KOTLINE**  
**1 : 25 000**  
**Tolmač**

**Geological Map of the Eastern Part of the Krško Basin**  
**1:25,000**  
**Explanatory Booklet**

©Geološki zavod Slovenije, 2017

Avtor / Author: Marijan Poljak

Izdajatelj / Publisher: Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, Ljubljana, Slovenija

Recenzija / Revised by: Ladislav Placer, Tihomir Marjanac, Ljerka Marjanac

Lektoriranje slovenskega besedila / Slovenian Language Revision: Jaroslav Novak

Lektoriranje angleškega besedila / English Language Revision: Philip Mason

Oblikovanje in priprava za tisk / Graphic Design : Staška Čertalič, Rok Brajković

Tisk / Print: Birografika BORI d.o.o.

Naklada / Number of prints: 70 izvodov / 70 copies

Izid sta omogočila: Geološki zavod Slovenije in Javna agencija RS za raziskovalno dejanost

Publication was supported by: Geological Survey of Slovenia and Slovenian Research Agency

Na Geološki karti vzhodnega dela Krške kotline 1 : 25 000 so predstavljeni zbrani in interpretirani podatki do leta 2010.

Geological map of the Eastern Part of the Krško Basin 1:25,000 represents and interprets data, collected up to the year 2010.



CIP- Kataložni zapis o publikaciji

Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

55(497.433)(084.3.072)

POLJAK, Marijan

Geološka karta vzhodnega dela Krške kotline 1:25.000 : tolmač = Geological map of the eastern part of the Krško basin

1:25.000 : explanatory booklet / Marijan Poljak.- Ljubljana : Geološki zavod Slovenije, 2017

ISBN 978-961-6498-52-4

291869440

**MARIJAN POLJAK**

**AVTOR/AUTHOR**

**GEOLOŠKA KARTA VZHODNEGA DELA KRŠKE KOTLINE  
1 : 25 000**

**GEOLOGICAL MAP OF THE EASTERN PART OF THE KRŠKO BASIN  
1:25, 000**

**TOLMAČ**

**Explanatory booklet**

Geološki zavod Slovenije  
Geological Survey of Slovenia  
Ljubljana, 2017





## ZAHVALA

Posvečeno kolegom iz Uprave za RS za jedrsko varnost: Miroslavu Gregoriču, Egonu Lukacsu, Maksimilijanu Pečniku in Igorju Osojniku, ki so iskreno podpirali izdelavo karte od njenega začetka do njene izdaje.

Urednik  
*Marijan Poljak*

# KAZALO

UVOD .....	9
GEOGRAFSKI PREGLED .....	11
PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV .....	13
GEOLOŠKA ZGRADBA .....	15
SPLOŠNA GEOLOŠKA ZGRADBA .....	15
GEOLOŠKA ZGRADBA KRŠKE KOTLINE .....	19
STRATIGRAFIJA .....	19
Formacije paleozojske, mezozojske in terciarne starosti .....	20
Grödenska formacija (GRF / P <sub>2,3</sub> ) .....	20
Bellerophonjska formacija (BEF / P <sub>3</sub> ) .....	20
Werfenska formacija (WF / T <sub>1</sub> ) .....	21
»Mendolska« formacija (MF / T <sub>2</sub> <sup>1</sup> ) .....	21
Psevdoziljska formacija (PF / T <sub>2,3</sub> ) .....	22
Formacija Glavnega dolomita (GDF / T <sub>3</sub> <sup>2,3</sup> ) .....	24
Dachsteinska formacija (DAF / T,J) .....	25
Izvirna formacija (IF / J <sub>2,3</sub> ) .....	26
Biancone formacija (BCF / J,K) .....	27
Krška grupa formacij .....	28
Formacija Gora (GOF / K <sub>1,2</sub> ) .....	28
Krška formacija (KF / K <sub>2</sub> <sup>2-4</sup> ) .....	30
Velikotrnska formacija (VTF / K <sub>2</sub> <sup>4,5</sup> ) .....	31
Govška formacija (GF / M <sub>2</sub> ?) .....	33
Laška formacija (LF / M <sub>4,5</sub> ) .....	34
Posavska grupa formacij .....	38
Drnovska formacija (DRF / M <sub>6,7</sub> ) .....	38
Bizeljska formacija (BZF / M <sub>7</sub> <sup>1,2</sup> ) .....	40
Formacija Raka (RF / M <sub>7</sub> <sup>2</sup> ) .....	41
Aloformacije kvartarne starosti .....	43
Aloformacija Globoko (AFGB / Pl,Q) .....	43
Krška alogrupa .....	45
Aloformacija Brezina (AFBZ / Q <sub>1</sub> <sup>2</sup> ?) .....	45
Aloformacija Sotla (AFST / Q <sub>1,2</sub> ) .....	46
Aloformacija Krka (AFKR / Q <sub>1,2</sub> ) .....	47
Aloformacija Sava (AFSV / Q <sub>1,2</sub> ) .....	48
Aloformacija Dobrava (AFDB / Q <sub>1,2</sub> ) .....	50
Formacijsko neopredeljeni kvartarni sedimenti .....	52
Starejši aluvij v terasah (al-t) .....	52
Starejši aluvij (al) .....	52
Recentni aluvij (al – rc) .....	52
Jezersko-močvirski sedimenti (j) .....	52
Proluvij (pr) .....	52

Koluvij (kol) .....	53
Vršaj (vš) .....	53
Eluvij (el) .....	54
Rdeča jerina (terra rossa) (ts) .....	55
TEKTONIKA .....	56
DINARSKE STRUKTURE .....	56
Gube .....	58
Prelomi .....	59
STRUKTURE POSAVSKIH GUB .....	60
Strukture zgodnjeneogenske starosti .....	60
Strukture poznoneogenske starosti .....	62
SREDNJEMADŽARSKE (BALATONSKE) STRUKTURE .....	66
Primarne Balatonske strukture .....	66
Sekundarne balatonske strukture .....	67
RECENTNA TEKTONSKA AKTIVNOST .....	70
ANTROPOGENI RELIEF .....	72
PRAZGODOVINA .....	72
RIMSKO OBDOBJE .....	73
SREDNJI VEK .....	74
MODERNA DOBA .....	74
POTRESNE ZNAČILNOSTI .....	76
ZGODOVINSKI PREGLED .....	76
MAKROSEIZMIČNI PODATKI .....	78
INSTRUMENTALNI PODATKI .....	80
POVZETEK – GEOLOŠKI RAZVOJ OZEMLJA .....	82
SUMMARY .....	88
LITERATURA .....	94
OBJAVLJENA .....	94
NEOBJAVLJENA .....	102



## UVOD

Geološko kartiranje Krške kotline v delovnem merilu 1 : 5 000 je bilo leta 1996 del obsežnih interdisciplinarnih raziskav za oceno potresne nevarnosti na lokaciji Jedrske elektrarne Krško. Od leta 1997 dalje pa je bilo to del programa Geološke karte Slovenije v merilu 1 : 50 000, in sicer Geološke karte Krške kotline v končnem merilu 1 : 25 000.

Zaradi narave te geološke karte, so bili poleg terenskih geoloških podatkov na voljo tudi podatki, pridobljeni v okviru drugih namenskih in komplementarnih raziskav, kot so geofizikalne, geomehanske, seizmološke, geodetske in ostale raziskave, ter podatki, pridobljeni z vrtanjem. Vsi ti so omogočili zanesljivejšo interpretacijo površinske in globinske geološke zgradbe raziskanega ozemlja. Na območju Krške kotline so namreč v času geološkega kartiranja potekale še obsežne raziskave in gradbena dela na velikih infrastrukturnih objektih, kot so Savske hidroelektrarne (HE), Dolenjska avtocesta (AC), Odlagališče nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO) in ostale. Izsledki naštetih raziskav so služili za sprotno kontrolo interpretacije geološke zgradbe ozemlja – tako pri izdelavi geološke karte kakor tudi za potrebe navedenih projektov.

Poleg zgoraj navedenega temelji Geološka karta Krške kotline tudi na izsledkih Osnovne geološke karte SFRJ v merilu 1 : 100 000 in sicer njenih listov: Celje (Buser, 1978), Rogatec (Aničić in Juriša, 1985a), Novo mesto (Pleničar et al., 1976) in Zagreb (Šikić et al., 1978). Uporabljene so bile delovne karte v merilu 1 : 25 000 ter številne laboratorijske analize vzorcev. Te so dopolnjene z dodatnimi analizami, izvedenimi za potrebe nove karte. Na podlagi vsega naštetega je bila interpretirana stratigrafska in strukturna zgradba raziskanega terena. Pri tem je stratigrafska interpretacija izvedena po litostratigrafskem, oziroma formacijskem principu, po katerem so izdelane tudi geološke karte nove generacije v Sloveniji (Jurkovšek et al., 1996; Jurkovšek, 2010). Pri izdelavi karte in tolmača je posebno poudarjena strukturno-tektonska zgradba ozemlja z recentno tektonsko in seizmično aktivnostjo – glede na njeno veliko pomembnost v aplikativnem smislu.

Na območju Krške kotline so pomembni tudi znatni antropogeni posegi v prostor, ki izvirajo iz prazgodovinskega in zgodovinskega obdobja in iz današnjega časa. Ti posegi so pogosto spremenili relief, tako da ga lahko včasih napačno interpretiramo kot naravnega. Zato so na karti antropogene reliefne oblike označene ločeno in jih je potrebno upoštevati pri analizi in interpretaciji geološke zgradbe ozemlja, posebej v t.i. neotektonskem obdobju, v tem primeru v kvartarju.

Del tolmača opisuje tudi seizmične značilnosti in sicer položaj in opis potresov na širšem in ožjem območju raziskanega ozemlja. Ti so pomembni za boljše razumevanje in razlago recentne tektonske in posebej seizmotektonske aktivnosti.

Terensko geološko kartiranje v merilu 1 : 5 000 so izvedli (po abecednem vrstnem redu): Matevž Demšar, Matevž Novak, Marijan Poljak, Igor Rižnar in Tomaž Verbič. Urednik karte je Marijan Poljak.

Pri pisanju poglavja o antropogenem reliefu v tolmaču karte je kabinetno in terensko sodeloval še Uroš Bavec, tekstualni del je dopolnil tudi Philip Mason, poglavje o seizmičnih značilnostih je v celoti napisal Mladen Živčić.

Laboratorijske analize vzorcev za potrebe karte so naredili (po abecednem vrstnem redu): Bernarda Bole, Meta Culiberg, Špela Goričan, Katica Drobne, Luka Gale, Ivan Gušić, Valentina Hajek-Tadesse, Bogomir Jelen, Bogdan Jurkovšek, Tea Kolar-Jurkovšek, Polona Kralj, Helena Mervič, Mirjana Miknić, Danica Miletić, Bojan Ogorelec, Jernej Pavšič, Dragomir Skaberne, Dragan Stanković, Živadina Škerlj, Luka Šribar in Mirka Trajanova. Radiometrične datacije kvartarnih sedimentov so bile opravljene v različnih laboratorijih v tujini.

Recenzenti karte in tolmača so Ljerka in Tihomir Marjanac ter Ladislav Placer. Poglavje o seizmičnih značilnostih ozemlja je pregledal Peter Suhadolc, poglavje o antropogenem reliefu Philip Mason, geografski opis ozemlja pa Rada Rikanović. Lekturo slovenskega teksta karte in tolmača je opravil Jaroslav Novak, angleškega pa Philip Mason.

Poleg recenzentov so pri terenskem oziroma kabinetnem delu s svojimi izkušnjami in pripombami sodelovali še Ljubo Babić, Miloš Bavec, Bogomir Celarc, Luka Gale, Špela Goričan, Ivan Gušić, Valentina Hajek-Tadesse, Bogdan Jurkovšek, Mirjana Miknić, †Bojan Ogorelec, Dragomir Skaberne in drugi. Vsem se za sodelovanje iskreno zahvaljujem.

Digitalni zajem podatkov karte je po standardnem postopku izvedel Tomaž Kopitar. Kartografijo sta izrisala in prilagodila merilu Staška Čertalič in Rok Brajković. Barvni standard za karto in litološki stolpec je bil upoštevan po International Chronostratigraphic chart (Cohen, 2015). Izjema so kvartarne litostratigrafske enote, za katere je bila izbrana modra in modrosiva barva. Prav tako se je urednik karte odločil, da bo za kartografski izris linij in točkovnih elementov uporabil zelo kvalitetno izdelan kartografski standard, ki je bil v osnovi narejen za izdelavo geološke karte v merilu 1 : 50 000 ter je bil pri izrisu kartografije prilagojen na merilo 1 : 25 000. Karta je bila v celoti, od zajema do tiska, izdelana v programu AutoCad.

Izdelavo Geološke karte Krške kotline sta v različnih obdobjih neposredno ali posredno s svojimi agencijami financirali Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ministrstvo za okolje in prostor in Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo ter Geološki zavod Slovenije.

### **Opomba avtorja**

V skladu s strokovnimi pravili so v besedilu imena fosilnih vrst in rodov pisana v kurzivi. Poleg tega smo se v odločili, da poševno pišemo tudi tuje besede oz. izvirne in uveljavljene strokovne termine in citirane stavke v tujem jeziku.

Poševna pisava je uporabljena tudi za splošne oz. neopredeljene strokovne termine, kot na primer za *lapor*, ki je tako naveden v nekaterih internih poročilih; tam kjer je le-ta sedimentološko natančno opredeljen kot na primer karbonatni meljevec, je uporabljena navadna pisava.

Imena že uveljavljenih in novo opredeljenih formacij so pisana z veliko začetnico imena ostalih pa tako, kot kot so jih imenovali in pisali ostali avtorji.

Geološka karta s prilogami in Tolmač sta dostopna v pdf obliki na internetni strani Geološkega zavoda Slovenije ([www.geo-zs.si](http://www.geo-zs.si)).

Tam je v pdf obliki dostopna geološka karta (Verbič, 2008) z nekoliko drugačno interpretacijo kvartarnih sedimentov dela območja, ki ga pokriva Geološka karta vzhodnega dela Krške kotline 1 : 25 000.

## GEOGRAFSKI PREGLED

Raziskano ozemlje obsega vzhodni del Krške kotline z njenim obrobjem, ki ga gradita Krško hribovje oz. gričevje (Senegačnik, 2012) in Orlica z Bizeljskim gričevjem na severu ter Gorjanci na jugu. Obsega 480 km<sup>2</sup> površine. Meja raziskanega ozemlja poteka večinoma po grebenih omenjenih gora, na Gorjancih pa je ta obenem tudi državna meja med Slovenijo in Hrvaško. Vzhodna meja ozemlja je reka Sotla, po kateri prav tako poteka državna meja. Krška kotlina se običajno deli na več delov, in sicer: Šentjernejsko polje, Krakovo, Krško-Brežiško polje, Dobravo in Kapele, raziskani teren pa zajema celotne ali posamezne dele navedenih območij.

Večja mesta v Krški kotlini so Krško, Brežice in Kostanjevica. Naziv Krško se je prvotno uporabljal samo za srednjeveško mesto na desnem bregu Save, medtem ko se je novejše naselje na levem bregu Save imenovalo Videm. Gosta poselitev je danes značilna za južna pobočja Krškega hribovja in Orlice, redkejša pa za severna pobočja Gorjancev. Vsa večja in manjša mesta so povezana z gosto mrežo pokrajinskih in medkrajevnih prometnic.

Hidrografska mreža Krške kotline z obrobjem je zelo razvejana. Glavne reke so Sava, Krka in Sotla. Krka in Sava imata številne pritoke, njihova porečja pa obsegajo Krško hribovje in Orlico na severu ter Gorjance na jugu. vzdolž vseh rek so široke poplavne ravnice, za reko Savo pa je značilen tudi širok, prepletajoči se in meandrasti rečni tok, ki jo uvršča v t.i. *anastomozni* tip reke (Verbič & Berič, 1993–1994).

Geomorfologija ozemlja je v glavnem pogojena z njegovo litološko sestavo in v manjši meri s strukturno zgradbo. Tako sta osrednja masiva Orlice in Gorjancev zgrajena iz mezozojskih karbonatnih kamnin, kjer je razvit kraški relief. Značilnost tega ozemlja so tudi globoke in strme potočne doline, kot so npr. Dramlja na Orlici ali Bregana na Gorjancih, ki so vsekane globoko v karbonatne kamnine in so tudi strukturno pogojene. Celotno Krško hribovje, južno pobočje Orlice, ki je znano tudi kot Bizeljsko gričevje in severno pobočje Gorjancev je zgrajeno iz kredno-neogenskih klastičnih kamnin, kar se jasno odraža tudi v reliefu ozemlja. Ta je namreč močno razčlenjen z gosto hidrografska mrežo, ki se odraža kot številne potočne doline, ki so deloma tudi strukturno pogojene. V reliefu Krškega hribovja izstopata globoki soteski reke Save od Brestanice do Krškega in reke Sotle na Orlici od Bistrice do Bizeljskega, ki sta vrezani v karbonatne kamnine. Obe lahko opredelimo kot t. i. *antecedentni* dolini. Podobno dolino je izoblikovala reka Sava med Gorjanci in Medvednico od Bregane do Samobora, vendar je ta tukaj dokaj široka in zapolnjena z rečnimi naplavinami. Značaj navedenih dolin kaže na kvartarno aktivnost ozemlja in sicer na dviganje Krškega hribovja, Orlice in Gorjancev relativno glede na Krško kotlino, ki se pogreza in posledično v svojem osrednjem delu omogoča odlaganje tudi do 200 metrov debele skladovnice kvartarnih sedimentov. Pri tem je treba poudariti, da to dviganje in pogrezanje ni v pomenu geografskega razumevanja morfogeneze danega ozemlja, ki opredeljuje Krško kotlino kot *tektonsko udorino* in Gorjance kot *gorski čok* (npr. Melik, 1959), temveč je to posledica gubanja.

Značilnost južnega pobočja Krškega hribovja in Orlice so še številni plazovi, ki se najpogosteje pojavljajo na stikih karbonatnih in klastičnih kamnin; v tem primeru sta to miocenski apnenec in *laporovec*. K nastajanju plazov poleg tega pripomore še strukturna zgradba ozemlja z vpadom plasti, ki je pogosto enak naklonu pobočij. Poleg recentih, so na raziskanem ozemlju ugotovljeni tudi fosilni plazovi, največji med temi je veliki kamninski plaz na severnem pobočju Šentviške gore nad Čatežem ob Savi, ki je zgodnjeholocenske starosti (Poljak & Ribičič, 2005).

Osrednji del Krške kotline je zapolnjen z naplavinami reke Krke, Save in Sotle ter njihovih pritokov. To je pretežno rečni prod in podrejeno pesek, v manjši meri, kot npr. v Krakovskem gozdu in v Dobravi, pa so odloženi tudi drobnozrnati močvirski oziroma jezerski sedimenti, kot sta melj in glina. Vsi ti gradijo več kvartarnih erozijsko-akumulacijskih rečnih teras. Geomorfologija Šentjernejskega polja in Krakovskega gozda je delno pogojena tudi z velikim Šentjernejskim in Škocjanskim vršajem. Oba se odražata kot položni pahljaji, ki se litološko, torej po sestavi, razlikujeta od primarnih sedimentov reke Krke.

V Krški kotlini je naravni relief, posebej hidrografska mreža, spremenjen tudi zaradi človekovih posegov. To je v prvi vrsti regulacijsko korito reke Save od Krškega do Brežic. Prvotno je imela Sava izrazit meandrasti



tok, ki je bil v 19. in 20. st. antropogeno spremenjen (Verbič & Berič, 1993-1994; Šebek, 2009). Regulirano je bilo tudi korito reke Sotle od Bizeljskega do Obrežja, ki je ravno tako presekalo številne naravne meandre ter delno korito reke Krke od Kostanjevice do Čateža. Na območju Krakovskega gozda in Dobrave so bila izvedena tudi obsežna melioracijska dela z namenom izsuševanja poplavnih in močvirnih področjih za pridobitve obdelovalne zemlje. Največji antropogeni posegi v Krški kotlini so vsekakor novo akumulacijsko jezero za HE Krško in HE Brežice na reki Savi.

## PREGLED DOSEDANJIH RAZISKAV

Celovit pregled starejše geološke literature, ki se nanaša na raziskano ozemlje je podan v tolmačih listov OGK SFRJ 1 : 100 000: Rogatec (Aničič & Juriša, 1985b), Celje (Buser, 1979), Novo mesto (Pleničar & Premru, 1977) in Zagreb (Šikić et al., 1979). V novejšem času pa so strokovne in znanstvene objave povezane največ z obsežnimi interdisciplinarnimi raziskavami, povezanimi z gradnjo večjih infrastrukturnih objektov na tem območju. Podatki, pridobljeni v okviru le-teh, so zbrani v glavnem v številnih internih poročilih; njihova uporaba in objava sta določeni s posebnimi pravili; tako so pomembnejši od teh tukaj samo navedeni, predstavljajo pa koristno informacijo o obstoječih raziskavah in pridobljenih podatkih.

Največji del geoloških in drugih neobjavljenih strokovnih poročil je povezan z Nuklearno elektrarno Krško (NEK); nanašajo se na obdobje njene gradnje ter na poznejše ocene varnega obratovanja. Z geološkega stališča so pomembnejše študije, ki so bile izvedene v pripravljalni fazi graditve NEK, in sicer: Premru & Marinčič (1971), Kuščer (1974), Arsovski et al. (1975) in druge. Poznejše raziskave, izvedene po zgraditvi elektrarne, se nanašajo v glavnem na oceno potresne nevarnosti na lokaciji NEK. To so obsežne interdisciplinarne raziskave, ki so obsegale geološko kartiranje (Kuščer, 1993; Poljak et al., 1995; Verbič, 1994; 1995; Poljak, 1996; Rižnar, 1996; Verbič, 1996; Demšar, 1996; Toman, 1996; Poljak, 1997a; 1997b; Verbič in Rižnar, 1997; Rižnar, 1998; 1999; Poljak, 1999; 2000; 2001), geofizikalne raziskave (Brezigar et al., 1993; Gosar et al., 1994; Gosar in Živanović, 1995; Živanović & Poljak, 1995; Živanović, 1996; Živanović et al., 1998; Persoglia ed., 2000), seizmološke raziskave (Hržič, 1995), paleoseizmološke raziskave (Verbič, 1996; Poljak et al., 1999; 2000; Bavec, M. et al., 2003) in geodetske meritve (Poljak, ed., 1995; Vodopivec, ed., 1997; 1998; 2001 in dr.). Ocena potresne nevarnosti na lokaciji NEK pa je bila izvedena v letih 1992- 1994 (Fajfar & Lapajne, J., eds., 1994) in 2002- 2004 (Swan, ed., 2004).

Drugi večji sklop obsežnih in interdisciplinarnih raziskav je povezan z gradnjo drugega jedrskega objekta na tem območju, in sicer Odlagališča za nizko in srednje radioaktivne odpadke na območju Krške in Brežiške Vrbine. Te obsegajo geološko kartiranje, geofizikalne in geomehanske raziskave ter raziskovalno vrtnanje (npr. Brenčič, ed., 2006; Car et al., 2006; Celarc et al., 2009; in dr.).

Obsežne so bile tudi raziskave za zgraditev Spodnjosavskih elektrarn HE Blanca, HE Brežice in HE Mokrice, v osemdesetih letih prejšnjega stoletja (Drobne, ed., 1984a; 1984b in 1986), ter za nove HE Boštanj, HE Blanca, HE Krško, HE Brežice in HE Mokrice. V okvirju le-teh so bile izvedene geološke, geofizikalne in geomehanske raziskave ter izvrtane številne raziskovalne vrtine. Podatki o geološkem kartiranju na območju HE Boštanj, HE Blanca in HE Krško so podani v poročilih: Bavec, M. et al. (2004a; 2004b) ter Bavec, M. et al. (2005). Za potrebe izgradnje HE Brežice so bile tudi izvedene številne interdisciplinarne raziskave in številne vrtine, ki so podane v poročilu iz leta 2004 (Vukadin ed., 2014).

Za oskrbo prebivalstva s pitno vodo so bile izvedene na Brežiškem polju številne vrtine, med njimi tudi najgloblja vrtina v kvartarnih sedimentih Mi-2/82, in sicer do globine 335 metrov (Petauer, 1983-1986; 1992).

Globoke vrtine do predterciarne podlage so bile izvedene pretežno kot raziskovalne ali kaptaže za pridobivanje termalne vode. Številne so na območju izvira Topličnik pri Kostanjevici (Ivanković, 1972; 1973) in na območju Čateških toplic (Nosan & Ivanković, 1973). Poleg njih so izvrtane še posamezne globoke vrtine na južnem delu Krške kotline in sicer Li-1/86 (Verbovšek et al., 1986a), Si-1/86 (Verbovšek et al., 1986b), ČV-1/92 (Petauer, 1992), AFP-1/95 (Božović, 1995), PDt-03 (Poljak & Rajver, 2006) in VC-1/09 (Petauer & Hiti, 2009).

Raziskave za nafto in plin v Krški kotlini so se začele že v petdesetih letih prejšnjega stoletja, ko je bilo izvedenih več globokih profilov refleksijske seizmike (Geofizika, 1959) ter njihova poznejša interpretacija (Kaloper, 1984; Djurasek, 1995). Nadaljevale so se v osemdesetih letih, ko je bilo izvedeno obsežno geološko kartiranje Orlice (Žnidarčič & Čerina, 1986) in Krškega hribovja (Poljak et al., 1987). Sem lahko uvrstimo tudi obsežne geofizikalne raziskave in globoko vrtnanje (vrtina DRN-1/89), ki je bilo izvedeno v okvirju iskanja potencialne lokacije za podzemno skladiščenje plina v Sloveniji (Kranjc et al., 1990).

Raziskave mineralnih surovin so povezane pretežno z izkoriščanjem kremenovih peskov na območju Globokega (Dimkovski, 1971), Bizeljskega (Lapajne, V., 1976) in Rake (Šolar, 1990). Prav tako so pomembne raziskave na območju rudnika rjavega premoga Globoko (Jerše, 1981a; 1981b; Jerše & Marin, 1984; Poljak et al., 1985), podatke o teh pa je zbral Markič (1999). V okviru naštetih je bilo izvrtanih tudi 70 vrtin in narejen raziskovalni jašek v dolžini 5 kilometrov (Marin et al., 1988; 1989; Marin & Markič, 1989).

Novejše raziskave so povezane z gradnjo Dolenjske avtoceste čez Krško kotlino. Te so obsegale številna geomehanska in hidrogeološka plitva vrtanja ter geološko spremljavo gradbenih del (Poljak & Toman, 2003; Poljak & Bavec, M., 2004a; 2004b; Bavec, M. et al., 2004).

Največje število novejših objavljenih del pa izhaja iz geološkega kartiranja. O splošni geološki zgradbi so pisali Verbič & Berič (1993-1994), Premru (1996), Dozet & Stojanovič (1998), Dozet et al. (1998), Dozet & Aničič (2000), Aničič & Dozet (2000), Verbič et al. (2000), Verbič (2002; 2004; 2005; 2008), Poljak et al. (2002), Poljak & Rižnar (2005), Rižnar (2005; 2006), Bavec, M. et al. (2011), Trajanova & Poljak (2015) in drugi.

Podatke o različnih paleontoloških raziskavah so objavili Pavšič (1981; 1994), Stevanović & Škerlj (1985), Rižnar et al. (2002), Mikuž (2003; 2005), Horvat (2004) Horvat et al. (2010) in Vesel-Lukič et al. (2014).

Rezultate radiometričnih datiranj kvartarnih sedimentov so objavili Poljak & Milanič (2011), Poljak et al. (2013) in Cline et al. (2014).

Številne objave so povezane tudi s hidrogeologijo, posebej z geotermijo Krške kotline, in sicer: Nosan (1959; 1973), Ivanković & Nosan (1973), Verbovšek (1989), Rajver (2001) in Rajver & Ravnik (2003). Podatke o raziskavah mineralnih surovin in sicer premoga, glin in kremenovih peskov na območju Globokega sta objavila Markič & Rokavec (2002), ter Rokavec & Mirtič (1997a; 1997b).

Rezultati novejših geofizikalnih raziskav, pridobljeni s seizmičnim refleksijskim snemanjem, so objavljeni v člankih: Poljak & Gosar (2001), Gosar (1996; 1998; 1999), Gosar et al. (2005) in Acciano et al. (2003; 2014). Podatke pridobljene s geoelektričnimi meritvami na območju Čateških Toplic in Urbine so objavili Lapajne, J. (1975a; 1975b) in Rajh et al. (2014).

Rezultate geodetskih meritev (nivelmana, terestrične mreže in GPS) na območju Krške kotline so objavili Kogoj (1997), Koler & Breznikar (1999), Vodopivec & Kogoj (1999) ter Savšek et al. (2011), za širše območje pa Poljak et al. (2006), Vodopivec et al. (2007), Weber et al. (2010) in drugi.

Seizmične in seizmotektonske značilnosti Krške kotline in širšega ozemlja so podane v člankih: Poljak & Živčič (1995), Poljak et al. (2000; 2010), Lapajne, J. & Fajfar (1997) in Sirovich et al. (2014).

Objave geoloških podatkov, povezane z gradnjo Dolenjske avtoceste so publicirane v: Mikuž (2003), Poljak & Ribičič (2003), Bavec, M. & Poljak (2005), Otoničar & Cimerman (2006) ter Horvat et al. (2010). Arheološka najdišča odkrita pri gradnji AC so opisana v člankih: Mason (2003a; 2003) in Prešern, ed. (2003).

# GEOLOŠKA ZGRADBA

## SPLOŠNA GEOLOŠKA ZGRADBA

Geološka zgradba raziskanega ozemlja temelji na regionalnem geodinamskem razvoju, ki ga pretežno določa tektonika litosferskih plošč. Njihova dinamika skozi geološki čas pogojuje t. i. paleogeografski razvoj ozemlja in med drugim tudi nastanek in medsebojni odnos različnih sedimentov in kamnin, torej stratigrafijo. Posledica navedene geodinamike so tudi strukturne spremembe ali deformacije sedimentov in kamnin v geološkem obdobju, torej tektonika. Oboje predstavlja podlago za prikaz geološke zgradbe raziskanega ozemlja tudi v tem tolmaču, in sicer v skladu z najnovejšimi dognanji, tako v regionalnem merilu (Gradstein et al., 2012), kakor tudi na območju Slovenije (Pleničar et al., eds., 2009).

Na sliki 1. je prikazan današnji položaj paleogeografskih enot na ozemlju Slovenije, ki izvirajo iz časa mezozoika, v severovzhodni Sloveniji pa položaj paleogeografskih enot iz kenozojskega obdobja.

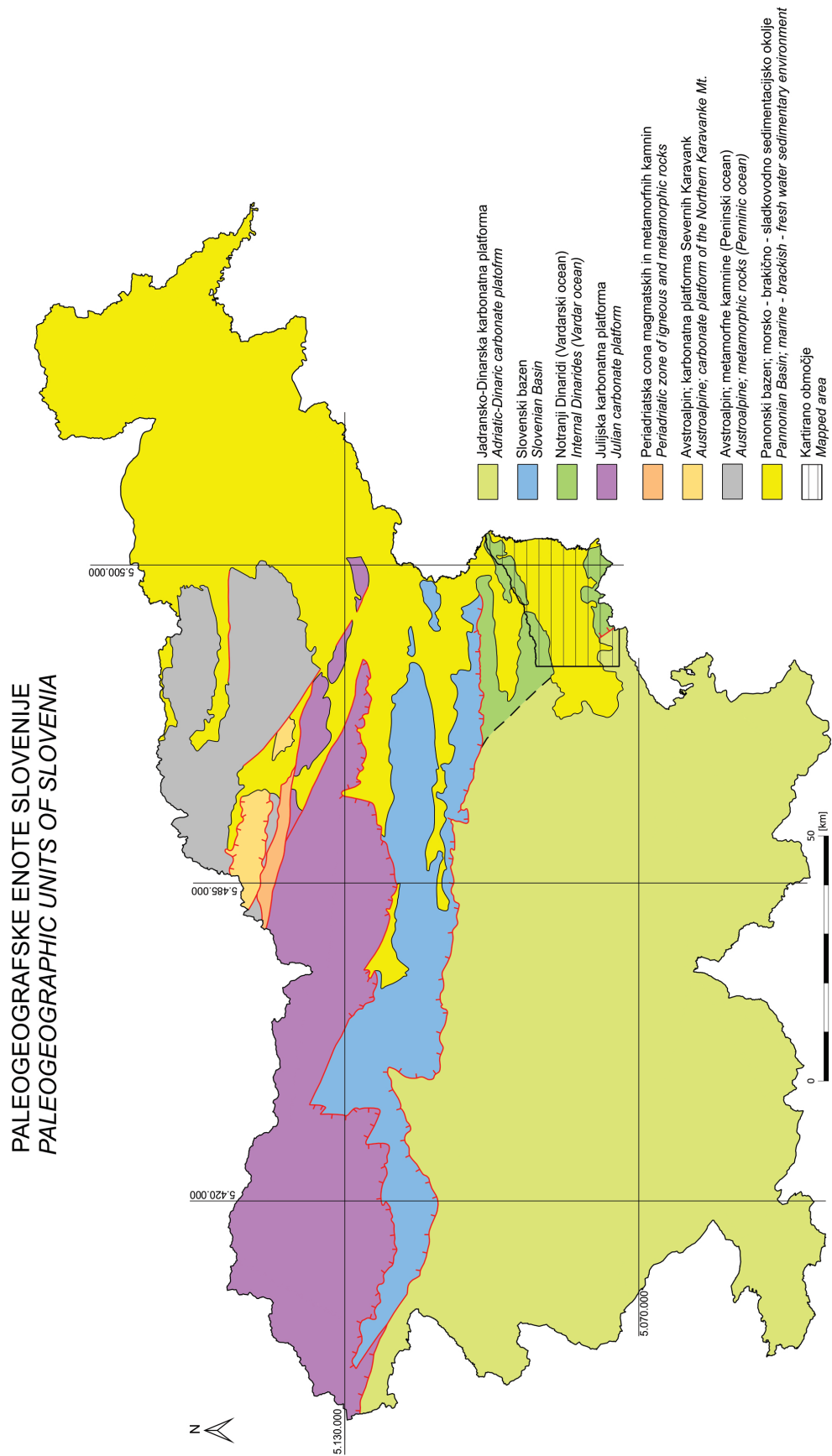
Jadransko-Dinarska karbonatna platforma predstavlja skupaj z Julijsko del enotne Slovenske karbonatne platforme in označuje prvotni razpad celovitega kopna Pangea-e ter nastanek plitvomorskega prostora Tetide (*Tethys*) ob koncu paleozoika oziroma perma (*PaleoTethys*). Razpad enotne karbonatne platforme na Dinarsko in Julijsko se je zgodil v mezozoiku, najprej v srednjem triasu, nato ponovno v srednji juri, ko se je formiral vmesni Slovenski jarek ali bazen, kjer so nastajali globokomorski sedimenti (*NeoTethys*). Ta se nadaljuje proti jugovzhodu v Notranje Dinaride, ki označujejo globokomorsko območje Vardarskega oceana kot dela celotne Tetide. V spodnji kredi se Slovenski jarek skupaj z Vardarskim oceanom začne zapirati; nastajali so klastični, večinoma turbiditni sedimenti, ki imajo značilnosti fliša in ki postopoma prekrijejo celotno Dinarsko karbonatno platformo, kar se zaključi v spodnjem terciarju oziroma ob koncu eocena. Julijska karbonatna platforma je obstajala samo do konca spodnje jure, ko se je potopila in so se na tem prostoru odlagali globokomorski sedimenti Slovenskega jarka do konca krede.

Severovzhodni del Slovenije, severno od Periadriatskega lineamenta, ki ga označuje pas metamorfno-magmatskih kamnin, pripada Avstroalpinu in sicer njegovemu srednjemu do zgornjem delu (Tollmann, 1963). V času mezozoika, od spodnje jure do spodnje krede, predstavlja to območje rob Peninskega oceana, kjer so se odlagali globokomorski sedimenti. Ti so bili pozneje, zaradi dviganja ozemlja, erodirani in so ohranjeni v mlajših sedimentih samo v sledovih (Krenmayr, ed., 2000).

Panonski bazen, ki zajema območje severovzhodne Slovenije, pripada Centralni Paratetidi, ki je nastala v terciarju, Panonski bazen *sensu stricto* pa je nastal v času neogena, ko so nastajali morski, brakični in sladkovodni sedimenti, ki prekrivajo različne mezozojske paleogeografske enote. V sedimente Paratetide (*Paratethys*), ki se deli na Paleoparatetido, Mesoparatetido in Neoparatetido, se na splošno uvrščajo tisti iz stratigrafskega razpona oligocen – miocen (npr. Nagymarosy & Müller, 1988).

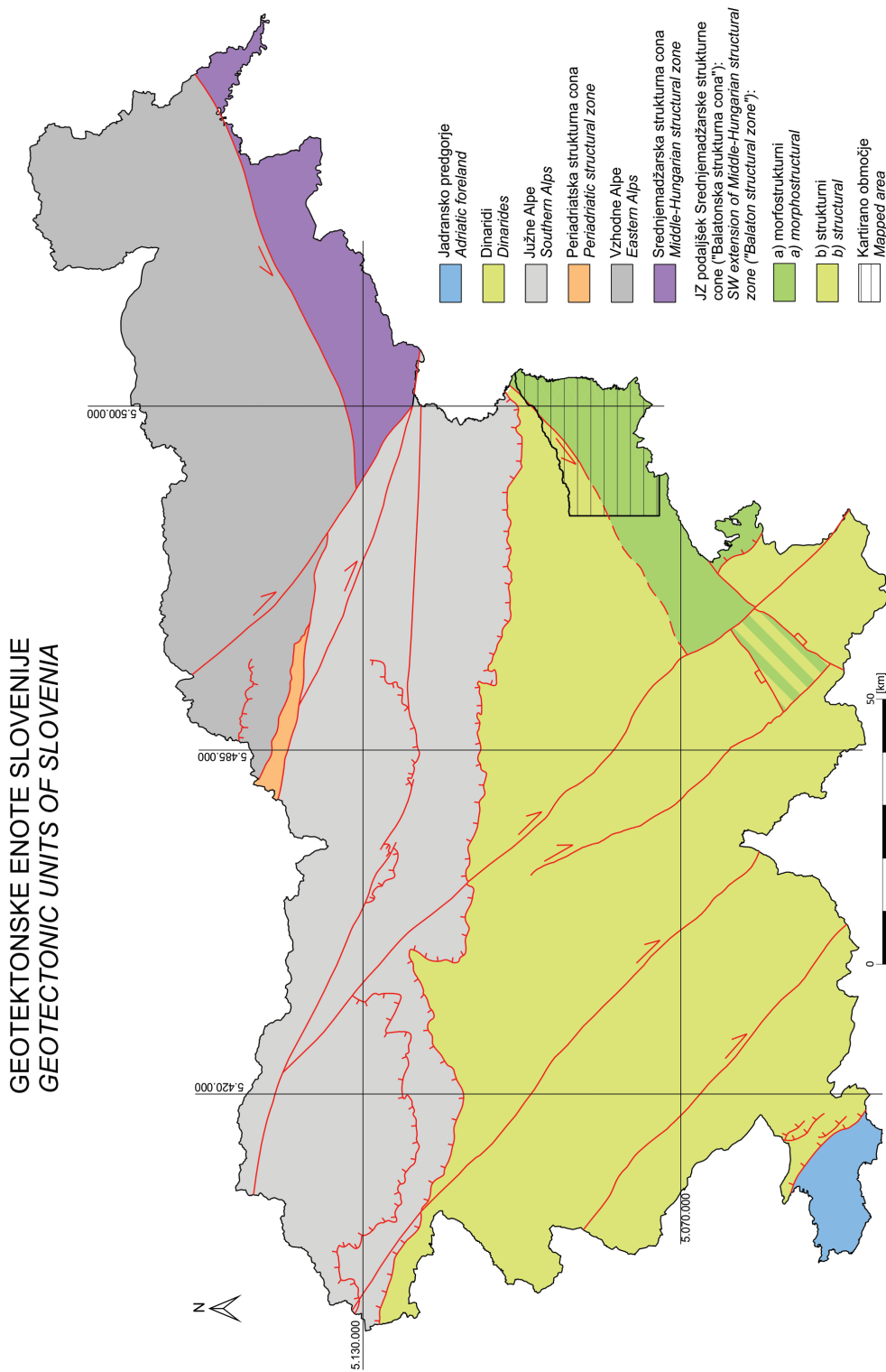
Na sliki 2. je prikazan današnji položaj geotektonskih enot na ozemlju Slovenije iz časa mezozoika in kenozoika, ki je predvsem posledica geodinamike litosferskih enot v regionalnem merilu.

Skrajni jugozahodni del ozemlja Slovenije pripada Jadranskemu predgorju in označuje osrednji, slabo deformirani del Jadranske mikroplošče. Naslednji so Dinaridi *sensu lato*, ki skupaj z Južnimi Alpami predstavljajo severni do severovzhodni, močno deformirani rob Jadranske mikroplošče. Njen severni del je v stiku z Evroazijsko ploščo, kot posledica kolizije obeh plošč so nastale Alpe. Vzhodni in jugovzhodni del Jadranske mikroplošče je v stiku s Tisino mikroploščo, kot posledica kolizije teh plošč pa so nastali Dinaridi (npr. Nicholich et al. eds., 2003; Brückl et al., 2010; Šumatovac et al., 2014). V osrednji Madžarski je stik med Tisino (*Tisza*) mikroploščo in Evroazijsko ploščo znan kot *Srednjemadžarska strukturna cona*, ki jo delno prekriva t.i. prostrani *ALCAPA terran* (Vožar, ed., 2010). Srednjemadžarska cona se nadaljuje proti jugozahodu v Južne Alpe in Dinaride na Hrvaškem in v Sloveniji, vendar ne kot kolizijska litosferska cona, temveč kot strukturna cona, ki je v slovenski strokovni literaturi znana kot *Balatonška strukturna cona*. V jugovzhodni Sloveniji se ta do Žužemberškega preloma odraža kot morfostrukturna, naprej proti jugozahodu, do Želimejskega preloma, pa samo kot strukturna cona.



Slika 1. Položaj paleogeografskih enot na ozemlju Slovenije

Figure 1. Position of paleogeographic units on the territory of Slovenia



Slika 2. Položaj geotektonskih enot na ozemlju Slovenije.

Figure 2. Position of geotectonic units on the territory of Slovenia.

Glede na to, da so v podlagi kenozojskih sedimentov starejše mezozojske geotektonske enote, je Panonski bazen samo pogojno geotektonska enota, Panonski bazen kot celota pa je t. i. *back-arc* bazen (npr. Horváth & Berchemer, 1982), ki ima ekstenzijski značaj in kot takšen pogojuje nastanek velike debeline pretežno neogenskih sedimentov.

Raziskano ozemlje leži torej v paleogeografskem smislu na prehodu iz Zunanjih v Notranje Dinaride, v geotektonskem pa na meji Južnih Alp in Dinaridov, pri čemer zajema tudi del Balatonske strukturne cone.

## GEOLOŠKA ZGRADBA KRŠKE KOTLINE

### STRATIGRAFIJA

Stratigrafija raziskanega ozemlja je opisana po formacijskem principu, po katerem je formacija temeljna kartirana litostratigrafska enota. Geološki slovar Ameriškega geološkega inštituta (Neuendorf et al., eds., 2005) opredeljuje formacijo kot: »*A body of rocks identified by lithic characteristics and stratigraphic position, it is prevailing but not necessarily tabular, and mappable at the Earth's surface or traceable in the subsurface.*« (»Skupek kamnin, ki so prepoznavne po sestavi in stratigrafskem položaju in ki so odložene pretežno, vendar ne nujno horizontalno, ter sledljive na Zemljinem površju in pod površino«), kar je tudi definicija Severnoameriške komisije za stratigrafsko imenovanje (*North American Commission on Stratigraphic Nomenclature* - NACSN) iz leta 1983. Torej je osnovna značilnost formacije njena litoška prepoznavnost na terenu. Vendar je Dimitrijević (1979) v svoji diskusiji o izdelavi Tematske geološke karte SFRJ že prej predlagal, da se v definicijo formacije vnese tudi njena geneza, kar je bilo sprejeto v poznejših Navodilih za izdelavo Tematske geološke karte SFRJ (*Nacrt uputstva za izradu tematske geološke karte SFRJ – Savezni geološki zavod*, 1985). Nova definicija formacije je bila torej naslednja: »*Formacija je stenska masa sa jedinstvenim sedimentološkim karakteristikama, koja predstavlja produkt jedinstvene depozicije sredine u određeno vreme.*« (»Formacija je skupek kamnin, ki ima enotne sedimentološke značilnosti in ki predstavlja produkt enotnega sedimentacijskega okolja v določenem času«). To značilnost formacije so povzeli tudi Jurkovšek et al. (1996), ki navajajo, da formacije označuje: » ... njihova litoška homogenost ter enotne sedimentološke in paleoekološke značilnosti.« (Ibid., str. 25).

Po formacijskem principu je opisana tudi stratigrafija kvartarnih sedimentov. Pri tem je osnovna litostratigrafska enota aloformacija, ki je po zgoraj navedenem slovarju (Neuendorf et al., 2005): »*A mappable stratiform body of sedimentary rocks that is defined and identified on the basis of its bounding discontinuities.*« (»Prepoznaven skupek sedimentnih kamnin, ki so definirane s svojim mejnimi nezveznostmi«), kar je tudi definicija NACSN iz leta 1983. V slovenski prostor je pojem aloformacija uvedel Verbič leta 1995 in opredelil kvartarne sedimente Krške kotline kot aloformacije.

Na Geološki karti Krške kotline v merilu 1 : 25 000 so litostratigrafske enote predkvartarne starosti opredeljene kot formacije; nekaj formacij je združenih v skupino ali grupo, znotraj nekaterih so kot formacijske enote nižjega reda, opredeljeni tudi členi in plasti. Pri tem so uporabljena imena, ki so že regionalno uveljavljena, kot npr. *Glavni dolomit (Hauptdolomit)* ali pa lokalno kot npr. *Laška formacija*. Nekaj litostratigrafskih členov je na novo imenovanih. Pri kronostratigrafskem označevanju neogenskih kamnin in sedimentov Panonskega bazena je uporabljena klasifikacija za Centalno Paratetido, po kateri je neogen razčlenjen na egerij, eggenburgij, ottangij, karpatij, badenij, sarmatij, panonij in pontij (Steininger et al., 1988). Pri tem je treba omeniti, da je po najnovejših predlogih pontij del panonija *sensu lato* (npr. Magyar et al., 1999; Piller et al., 2007). Vendar je le-ta tukaj ohranjen, ker so bile paleontološke analize in določbe za potrebe karte narejene po klasifikaciji, ki vključuje tudi pontij,

Litostratigrafske enote kvartarnih sedimentov so opredeljene kot aloformacije ter aločleni kot enote nižjega reda, nekaj aloformacij pa je uvrščenih v enotno alogrupo. Izhodišče za njihovo opredelitev je podal Kuščer (1993) ter pozneje Verbič (Verbič, 1994; 1995; 2002; 2004; 2005 in 2008). Aloformacije Krške kotline so bile pozneje nekoliko dopolnjene in modificirane v skladu z novjšimi podatki glede njihove geneze, petrografske sestave in starosti (Poljak & Milanič, 2012; Poljak et al., 2013 ; Cline et al., 2014).

Glede imenovanja litostratigrafskih enot moramo poudariti, da je to neformalno, ker le-te ne zadovoljujejo vseh kriterijev, predpisanih v navodilih NACSN iz leta 1983. Formalno imenovanje bo mogoče po ustanovitvi nacionalne komisije za stratigrafijo, ki bo poenotila in določila imena formacij in aloformacij na celotnem območju Slovenije.



## Formacije paleozojske, mezozojske in terciarne starosti

### Grödenska formacija (GRF / P<sub>2,3</sub>)

V to formacijo je uvrščena skladovnica različnih terestričnih kamnin, ki se kot celota loči od svoje talnine in krovnine. Ime je povzeto po klasični litološko in stratigrafsko ekvivalentni kamninski seriji, imenovani po dolini Gröden (Val Gardena) na Južnem Tirolskem.

Kamnine Grödenske formacije so odkrite pri Bregani v jugovzhodnem delu raziskanega terena. Njihova talnina tukaj ni vidna, medtem ko na severnem pobočju Orlice pri Bizeljskem ležijo normalno na t.i. *permokarbonskih* klastičnih skladih (Aničić & Juriša, 1985a; 1985b). Njihovo normalno krovmino predstavlja pri Bregani dolomit Bellerophonske formacije.

Grödenska skladovnica je sestavljena iz nepravilnega menjavanja konglomerata, peščenjaka in meljevca. Po sestavi so to silikatne kamnine brez karbonatne komponente. Prod je v glavnem kremenov z dodatkom temnega roženca in sericitno-kremenovega meljevca. Vezivo je muskovitno-sericitno z malo limonitnega cementa (M. Trajanova). Sestava peščenjaka in meljevca je podobna, vendar je v meljvcih večja količina glinenih mineralov. Splošna značilnost skladovnice je, da v njenem spodnjem delu prevladuje siva barva kamnin, v zgornjem pa rjava, rdeča in vijoličasta.

Natančne starosti kamnin Grödenske formacije na raziskanem terenu ni bilo mogoče določiti. Uvrščene so v srednji do zgornji perm na podlagi korelacije s širšim Alpsko-Dinarskim prostorom, in tudi po starosti palinomorfov iz grödenske skladovnice pri Žirovskem vrhu, ki so bili uvrščeni v wordij do kapitani, torej v srednji perm (Jelen et al., 1981).

Vidna debelina grödenskih skladov znaša pri Bregani okoli 300 metrov.

### Bellerophonska formacija (BEF / P<sub>3</sub>)

Ime formacije je povzeto po klasični Bellerophonski formaciji Južnih Alp. Njen litostratigrafski ekvivalent v Sloveniji sta *žažarska formacija* (Ramovš, 1958) in *karavanska formacija* (Buser et al., 1988). Prvo sestavlja pretežno apnenec, drugo pa dolomit. Na raziskanem terenu v dolini potoka Bregane je Bellerophonska formacija zastopana samo v dolomitnem razvoju, vendar se na območju Samoborskega gorovja, južno od raziskanega terena, omenja tudi njen dolomitno-apnenčev razvoj (Šikić et al., 1979). Bellerophonski dolomit raziskanega ozemlja leži normalno na klastitih Grödenske formacije, navzgor pa je pokrit s karbonatnimi kamninami spodnjetrojske Werfenske formacije.

Dolomit je plastovit do masiven. Barva je pretežno siva do temnosiva, ponekod tudi svetlosiva in svetlorumena. Mineralna sestava vzorcev pri Mokriškem gradu je naslednja: dolomit, v sledovih kalcit in kremen, avtigeni in detritični pirit ter sericit. Alokemi so klasti in plastiklasti dolomita, mikritna osnova je rekristalizirana v mikrosparit. Navzoči so mikrofosili, in sicer rekristalizirane alge konture. Kamnino lahko imenujemo mikrosparitna dolomitna mikrobreča (B. Bole).

V bazi dolomita so na stiku s talnino (Grödensko formacijo) navzoči manjši prodniki kremena. V zgornjem delu skladovnice na stiku z normalno krovmino (Werfensko formacijo), kar je dobro vidno v strugi reke Save pri Obrežju, je dolomit brečast ali satast (*rauhwacke*), njegova tekstura pa kaže tudi znake paleo-zakrasevanja.

Starosti dolomita Bellerophonske formacije na raziskanem ozemlju ni bilo mogoče ugotoviti, korelacija s sosednjim terenom pa kaže na njegovo zgornjepermsko starost. V Samoborskem gorovju, južno od potoka Bregana, je namreč v apnenčevih vložkih dolomita najdena foraminiferna in alga mikrofosilna združba z vrstami: *Gymnocodium bellerophontis*, *Atractyloipsis lastensis*, *Tubiphytes obscurus*, *Pachyphyloia reicheli*, *Hemigordius harltoni* in druge, ki so zgornjepermske starosti (Šikić et al., 1979).

Debelina Bellerophonskega dolomita je pri Mokricah okoli 350 metrov.

### **Werfenska formacija (WF / T<sub>1</sub>)**

V to formacijo so uvrščene pretežno plitvomorske karbonatne in podrejeno klastične kamnine, ki so odkrite v koritu reke Save in v dolini potoka Bregana v jugozahodnem delu terena. Ime Werfen je v starejši geološki literaturi sicer kronostratigrafski naziv za spodnji trias, vendar se isti ponekod v Alpah, uporablja tudi kot formacijska enota (npr. Assereto et al., 1973).

Na raziskanem ozemlju leži Werfenska formacija domnevno diskordantno na Mokriškem dolomitu, sam stik v koritu reke Save pa je nekoliko tektoniziran, vendar brez vidnega premika plasti. V normalni stratigrafski krovlini je dolomit srednjetriasne (anizijske) starosti. Neposredni stik obeh formacij je sicer v dolini Breganskega potoka domnevno tektonski in pokrit z neogenskimi sedimenti, vendar je ta, kot normalen, dobro viden in podrobno opisan na severnem pobočju Orlice (Aničič, 1990). Glavni del Werfenske skladovnice se na raziskanem terenu sestoji iz apnenca. Kremenov peščenjak, ki se pojavlja kot manjši izdanek v zgornjem delu skladovnice v dolini potoka Bregane je izdvojen kot formacijska plast.

Werfenski apnenec je najboljše viden v koritu reke Save pri Obrežju, kjer sta vidni njegova normalna talnina in krovlnina. Na stiku z Bellerophonskim dolomitom najdemo tankoplastnati sparitni apnenec z mikroklasti sparitnega dolomita, v stratigrafskem zaporedju pa sledi tankoplastnati rdeči oosparitni apnenec in na koncu sivi tankoplastnati biosparitni do biomikritni t. i. *mikrogastropodni apnenec*. Ta vsebuje tudi terigene primesi v obliki kremenovih in plagioklaznih *zrnc*, opazna je tudi diagenetska silifikacija kamnine (I. Gušič).

#### ***Peščenjak (peš)***

Predstavlja plast ali lečo v zgornjem delu apnenčeve skladovnice. Odkrit je kot manjši izdanek pri Breganskem selu. Leži normalno na sivem biointramikritnem apnencu, stik s krovniškim anizijskim dolomitom pa je tukaj tektonski. Predstavlja laminirani drobnozrnati kremenov peščenjak z veliko sljudnatih mineralov. Pravega prostorskega položaja peščenjaka ni mogoče rekonstruirati zaradi majhnega izdanka. Na Orlici, kjer peščenjak izdanja v večjem obsegu, pa ta prehaja navzgor normalno v anizijski dolomit (Aničič in Juriša, 1985a).

Starost celotne Werfenske formacije je določena po konodontni mikropaleontološki združbi. Sivi sparitni apnenec, ki leži neposredno na Bellerophonskem dolomitu v koritu Save in v dolini Dolinskega potoka, je sterilni. V rdečem oosparitnem apnencu, ki je v stratigrafskem zaporedju približno en meter nad prejšnjim, pa je določena vrsta *Pachycladina obliqua* Staesche in rod *Handrontina* sp. V sivem sparitnem do mikritnem apnencu, ki leži nad oolitnim, so določeni *Pachycladina obliqua* Staesche, *Hadrodontia* sp. in *Ellisonia* sp., pri čemer vrsta *Pachycladina obliqua* določa starost skladovnice v sp. smithij – sp. spathij (Kolar-Jurkovšek, 1996c; 2003b; 2011). Glede na to, domnevamo da obstaja stratigrafska vrzel v času spodnjega dela spodnjega triasa v induanu. V istem sivem apnencu so posamezne plasti sestavljene iz lumakele mikrogastropodov, ki so povezani z mikritnim vezivom. Kot bioklasti se pojavljajo še posamezna zrna krinoidov (I. Gušič).

Debelina skladov Werfenske formacije je, brez odkrite normalne krovnine, ocenjena na 250 metrov. Debelina samega peščenjaka na izdanku pri Bregani znaša nekaj metrov; zaradi tektonskega stika s krovnišo (anizijskim dolomitom) njegove prave debeline ni mogoče zanesljivo ugotoviti.

### **»Mendolska« formacija (MF / T<sub>1</sub><sup>2</sup>)**

»Mendolska« formacija je termin, prevzet iz Južnih Alp, in sicer po *mendolskem dolomitu* (*Mendola dolomit*) srednjetriasne starosti. V Sloveniji ta termin sicer ni v uporabi, po drugi strani pa ravno tako ni njegovega ustreznega formacijskega imena, zato je navedena litostratigrafska enota podana v narekovaju. Na raziskanem ozemlju to formacijo sestavlja v celoti dolomit, ki leži konkordantno na Werfenski formaciji, navzgor pa ga prekrivajo, ponekod delno diskordantno, kamnine Psevdoziljske formacije. Na površino izdanja Mendolski dolomit na Orlici, v Krškem hribovju in na vzhodnem delu Gorjancev. Dolomit, ki izdanja v zahodnem delu Krškega hribovja in je na karti samo delno zajet, je v to formacijo uvrščen po

podatkih lista Novo mesto OGK 1 : 100 000 (Pleničar et al., 1976) in posredno po stratigrafski legi pod Psevdoziljsko formacijo. V njenem zgornjem delu se pojavlja namreč črni mikritni apnenec, v katerem je določena naslednja konodontna in foraminiferna mikrofavna: *Nodobacularia vujisici* Urošević & Gazdzicki, *Ophthalmidium exiguum* Koehn-Zaninetti, *Nodophthalmidium anae* Gheorghian, *Glomospirella* sp., *Ophthalmidium* in *Ammodiscus* sp., ki določa ladinjsko-karnijsko starost apnenca (Kolar-Jurkovšek, 2003a).

Glavna značilnost Mendolskega dolomita je dobro izražena plastnatost ter temnosiva barva. Poleg glavnega minerala dolomita se v sledovih pojavlja tudi pirit. Med alokemi prevladujejo peleti, ooidi in klasti dolsparita, vezivo pa je mikrodolosparitno in dolosparitno; torej ga lahko imenujemo intraoopel-sparitni dolomit (Bole, 2011). V zgornjem delu skladovnice so ponekod breče in brečasti konglomerati. Klasti v njih so relativno dobro zaobljeni, veliki so v povprečju nekaj centimetrov. Cement je sparitni kalцит, ki je ponekod rahlo rdeče barve. Po nastanku so to intraformacijske medgrebenske in predgrebenske breče (Kralj et al., 1995), ki kažejo tudi znake poznejšega zakrasevanja (rjavordeče boksitno vezivo). Breče so najbolj izražene na vrhu Grmada na Sremiču, kjer se v opuščnem kamnolomu na severni strani hriba vidi tudi erozijska diskordanca med mendolskim dolomitom in Psevdoziljsko klastično skladovnico.

Starost »Mendolske« formacije je poleg njene superpozicijske lege, določena tudi na podlagi mikrofavne. Pri Pečicah in Osredku na Orlici je v dolomitu bila določena naslednja mikrofosilna združba: *Meandrospira dinarica* Kochansky-Devidé & Pantić, *Diploremina astrofimbriata* Kristan, *Glomospirella semiplana* Kochansky-Devidé & Pantić, *Earlanditina oberhauseri* Salaj, *Glomospirella irregularis*, *Glomospirella sinensis* in druge (Aničić in Juriša, 1985b; Aničić & Dozet, 2002). V dolomitu na Sremiču so najdene foraminifere iz rodu *Glomospira* sp. in *Glomospirella* sp. ter vrsta *Glomospirella vulgaris* Ho, ki ima stratigrafski razpon spodnji trias – anizij (L. Gale). V dolini Breganskega potoka se v enakem temno sivem dolomitu pojavljajo številni radolariji, spikule spužv, ter drobne involutine in glomospire. Od teh je določena vrsta *Pilamina* cf. *densa* Pantić (I. Gušić), ki kaže na verjetno anizijsko starost.

Debelina Mendolskega dolomita znaša na Orlici, kjer sta vidni njegovi talnina in krovina, okoli 300 metrov.

### **Psevdoziljska formacija (PF / T<sub>2,3</sub>)**

Psevdoziljsko formacijo gradijo na raziskanem ozemlju globokomorske karbonatno-klastične kamnine. Na splošno je navedena formacija na slovenskem ozemlju zelo heterogena in je le redko identična s klastičnimi Teller-jevimi (1889) *psevdoziljskimi skladi* iz Posavskih gub, ki jih je detajlno opisal tudi Grad leta 1969. Tudi v Krški kotlini z njenim obrobjem so navedene kamnine nekoliko različne, v primerjavi s tistimi z ostalih paleogeografsko enakovrednih terenov Slovenskega bazena in Notranjih Dinaridov. Menimo, da je zaradi majhnih litoloških razlik uvajanje lokalnega imena nepotrebno.

Kamnine Psevdoziljske formacije so najbolj odkrite na hribu Sremič pri Krškem in na Kunšperški gori severno od Bizeljskega; posamični manjši izdanki se pojavljajo tudi na Gorjancih zahodno od Bregane. Na severni strani Sremiča je dobro viden erozijsko-diskordanten stik anizijskega dolomita in ladinjske karbonatno-klastične skladovnice, ki navzgor normalno prehaja v Glavni dolomit (*Hauptdolomit*) norijsko-retijske starosti. Na Kušperški gori sta prav tako odkriti talnina in krovina Psevdoziljske formacije, vendar brez očitnih diskordanc. Pokazatelji obstoja stratigrafske vrzeli so domnevno lahko emerzijske breče anizijskega dolomita v talnini ladinjskih plasti. V zgornjem delu Psevdoziljske skladovnice sta izdvojena dva formacijska člena, ki se pojavljata na celotnem raziskanem ozemlju in sicer apnenec in dolomit.

V spodnjem delu Psevdoziljske formacije se pogosto pojavljajo rdečkasti do sivi tanko plastnati mikritni apneneci z rožencem. V prej navedenem kamnolomu pri Brestanici predstavlja prvo plast klastične formacije črni dolsparit oz. zrnati kristalni dolomit s številnimi limonitiziranimi zrnici pirita. Dolomitizacija kamnine je poznodiagenetska, prvotne strukture pa niso ohranjene (B. Bole). Navzgor sledijo črni nekarbonatni skrjavli glinavci, ki se izmenjujejo s tankimi plastmi temnosivih kalkarenitov. Znotraj le-te je na hribu Sremič 1- 2 metra debela plast sivordečega mikritnega apnenca z roženci in z redkimi amoniti. Poleg amonitov so prisotni še fragmenti nedoločljivih tankolupinastih školjk ter ostrakodi in radiolariji. Rahla okremenitev je poznodiagenetska in je zajela predvsem lupine moluskov, ponekod se kaže tudi v obliki do 100 mikrometrov velikih avtigenih kristalov kremenca (Ogorelec, 1996). Podoben apnenec pri Vranskem je Teller (1907) imenoval *vranski apnenec*. Na hribu Sremič je znotraj skladovnice, pod amo-

nitnim apnencem tudi plast ali leča zelenega pelitnega dacitno-riolitnega tufa. Glavne sestavine tufa so drobnozrnata osnova in posamezna zrna kremenca, glincev (najverjetneje plagioklazov) ter biotita, ki je večinoma kloritiziran. Drobnozrnata osnova je bila prvotno steklasta, pozneje pa je spremenjena v glinene minerale, sericit in mikrokristalni kremen. V kamnini so tudi ksenomorfnna zrna neprosojnih kovinskih mineralov (verjetno Fe-Ti oksidi), ki so prepereli in limonitizirani (P. Kralj). V zgornjem delu Psevdoziljske skladovnice so večinoma črni skrjavci glinavci, ki jim v krovnini sledijo črni apnenci z rožencem ter kot končni člen, črni drobno zrnati dolomiti.

Starost psevdoziljskih skladov, oz. Psevdoziljske formacije je v starejši geološki literaturi določena pretežno na podlagi makrofavne. Tako je v klasični razpravi Teller-ja (1889) na območju Posavskega hribovja omenjena bogata, v glavnem školjčna makrofavna, v Samoborskem gorovju južno od raziskanega ozemlja pa Salopek (1936) navaja v podobni skladovnici bogato cefalopodno makrofavno. Fosile obeh skupin uvrščata navedena avtorja v spodnji ladinij. V okviru izdelave Geološke karte Krške kotline je od makrofavne najden na območju hriba Sremič nad Vidmom v *vranskem* apnencu le amonit iz rodu *Protrachyteras*, ki ga je B. Jurkovšek opredelil kot zgornjeanizijskega do spodnjeladinijskega. Natančnejša stratigrafska starost klastičnega dela formacije je zato na raziskanem ozemlju določena na podlagi konodontne mikrofavne.

Konodontne združbe so najdene v paleontološkem profilu na hribu Sremič v vložkih apnencev v spodnjem in srednjem delu skladovnice. V sivordečem mikritnem apnencu z rožencem, ki leži neposredno na anizijskem dolomitu Orliške formacije so določene vrste: *Neogondolella transita* Kozur & Mostler, *Neogondolella* sp. *Paragondolella alpina* Kozur & Mostler in *Cratognathodus kochi* Huckriede, ki sodijo v spodnji ladinij. V srednjem delu v sivorjavem mikritnem apnencu z amonitno makrofavno pa so določene vrste *Neogondolella constricta* cornuta Budurov & Stefanov, *Neogondolella* sp. in *Budurovignathus* sp., ki so zgornjeanizijske do spodnjeladinijske starosti (Kolar-Jurkovšek, 1996a).

Debelina klastičnega dela Psevdoziljske formacije znaša na raziskanem terenu največ 300 metrov.

#### *Apnenec (PF / T<sub>2,3</sub> – apn)*

Na celotnem raziskanem terenu se klastična skladovnica zaključuje s tankoplastnatim črnim apnencem z rožencem, v katerem so ponekod navzoče tanke, do nekaj centimetrov debele plasti črnega karbonatnega do nekarbonatnega skrjavca glinavca. Apnenec je kalцит s primesjo različnih mineralov glin in zrnca pirita. Med alokemi so prisotni do 2 milimetra veliki intraklasti mikrita, pelmikrita in biomikrita ter fosili: alge, radiolariji, ostrakodi, školjčne lupine ter ploščice ehinodermov. Vezivo med alokemi je deloma izpran mikrit, ki ga nadomešča sparitni cement, ter glinasti nekarbonatni material. Kamnino lahko opredelimo kot biointramikrit (Bole, 2011).

Starost apnenca je določena po konodontni in algo-foraminiferni združbi. V črnem mikritnem apnencu so v zgornjem delu klastične skladovnice na območju hriba Sremič določene konodontne vrste *Neogondolella polygnathiformis* (Budurov & Stefanov), *Gladiogondolella malayensis* Nogami, *Gladiogondolella tethydis* (Huckriede), *Epigondolella mostleri* Kozur, *Neospathodus* sp. in *Enantiognathus* sp., ki določajo starost apnenca kot ladinijsko do zgornjetriasno (langobard-tuval). Poleg konodontne mikrofavne se v apnencih pojavljajo še redke foraminifere (npr. *Duostomina* sp.), ostrakodi, fragmenti skeletnih alg (kodijaceje), kokuče neskeletnih alg, ploščice ehinodermov in tanke lupinice različnih moluskov (Kolar-Jurkovšek, 1996a).

V apnencu na območju Orlice je najdena bogata mikrofavna, ki jo sestavljajo foraminifere *Turglamina carnica* Dager, *Lituolacea* sp, *Duostomina* sp. in *Trochammina* sp. (v klastu), ploščice krinoidov, spikule, radiolariji, ostrakodi, drobci lupinice školjk ter inkrustacije alg. Konodontno mikrofavno predstavljajo številni, vendar nepopolno ohranjeni fragmenti, ki domnevno pripadajo predstavnikom rodu *Epigondolella* sp., ki je norijske starosti (Kolar-Jurkovšek, 1996c). Ta določitev pomeni, da se Psevdoziljska formacija nadaljuje ponekod verjetno tudi v norij, vendar je to potrebno potrditi tudi na širšem območju.

Debelina apnenca znaša v povprečju 30 do 40 metrov.

### **Dolomit (PF / $T_{2,3}$ - dol)**

V krovlini črnega apnenca leži več deset metrov temnosivega do črnega srednjeplastnatega drobnozrnatega dolomita. Ta prehaja navzgor v Glavni dolomit, vendar je meja med obema makroskopsko vidna in določljiva in sicer je Glavni dolomit večinoma debelo plastnat in izrazito svetle barve.

Črni dolomit je odkrit v celotni debelini na zahodnem pobočju Sremiča in na Kunšperški gori na Orlici. Po teksturi je tanko do srednjeplastnat, po strukturi pa homogen in ga sestavljajo drobnozrnati dolomikritni intraklasti, ki so povezani z dolomikritnim do sparitnim vezivom. V sledovih so najdeni še glineni minerali in zrnca avtigenega pirita.

Starost črnega dolomita je določena posredno, in sicer po njegovi legi med karnijskim apnencem Psevdoziljske formacije in norijsko-retijskim Glavnim dolomitom. Zaradi njegove črne barve in teksturno-strukturnih značilnosti je opredeljen kot poseben člen, ki predstavlja najvišji del celotne Psevdoziljske formacije in ima stratigrafski razpon zg. anizij – karnij, z možnim prehodom v norij.

Debelina dolomita znaša 40 do 50 metrov.

### **Formacija Glavnega dolomita (GDF / $T^{2,3}$ )**

Glavni dolomit gradi osrednji del površja Orlice in Gorjancev, ter vzhodni del Krškega hribovja. Leži normalno na temnem dolomitu Psevdoziljske formacije, v njegovi normalni krovlini pa je Dachsteinski apnenec. Ta odnos se najbolje vidi na širšem območju Krškega in sicer na zahodnem pobočju Sremiča, vključno s sotesko reke Save. Ime formacije je prevzeto po terminu, uveljavljenem v geološki literaturi; *Hauptdolomit* ali *Dolomia Principale* iz Južnih Alp.

Glavni dolomit je makroskopsko pretežno svetlosivi dolosparit, podrejeno dolomikrit, debeloplastnat do masiven, debelina plasti znaša v povprečju nekaj deset centimetrov. Mikroskopsko je v dolomitu ugotovljena manjša količina kalcita in mineralov glin. Alokeme sestavljajo intraklasti dolomikrita in dolosparita, posamezni ooidi in različni bioklasti, ki jih predstavljajo skeleti apnenčevih alg, lupine moluskov, mikrogastropodi in foraminifere. Vezivo je rekristalizirani mikrosparitni dolomit, lokalno izpran in nadomeščen z znatim dolomitom, dolomitizacija je zgodnjediagenetska (Ogorelec, 1996). Vzorci dolomita iz najvišjega dela skladovnice na stiku s kredno formacijo Gora so po sestavi enakomerno zrnati, sestavljeni iz dolomitnih in redkih kremenovih zrn in brez vidne prvotne kamninske strukture. To kamnino pa je zajela tudi poznodiagenetska dolomitizacija (Kralj et al., 1995).

Na območju Orlice je v aktivnem kamnolomu severno od Bizeljskega odkrito več deset metrov zgorjetriasne dolomitne skladovnice. Makroskopsko je vidno menjavanje svetlosivih in temnosivih plasti dolomita, ki predstavljajo pretežno stromatolitne sekvence. V dolomitu so v sledovih kalcit, pirit in minerali glin. Alokemi so intraklasti (dolosparit in dolomikrit), peleti, ooidi in organski detritus. Bioklasti so rekristalizirane alge, foraminifere, ostrakodi, redki gastropodi in školjčne lupine. Osnova je dolomikritna, ponekod rahlo izprana in nadomeščena z dolosparitom, dolomitizacija je zgodnjediagenetska (Bole, 2011).

V zgornjem delu dolomitne skladovnice se ponekod pojavljajo plasti in leče apnenca. Te so odkrite predvsem na Trški gori nad Krškim. Barva apnenca je svetlosiva, tu pa tam tudi bledordeča. Rdečo barvo kamnini daje rdeča karbonatna glina, ki se pojavlja v korozijskih votlinah. Tekstura kamnine je homogena, v korozijskih votlinah so tudi zapolnitve sparitnega kalcita. Alokeme tvorijo do 3 milimetrov veliki mikritni in pelmikritni intraklasti ter različni bioklasti. To so kopicke neskeletnih alg, redke bentoške foraminifere (*Duostominidae* in druge), kopicke in ploščice ehinodermov. Osnova je mikritna, delno nadomeščena z drobnozrnatim sparitom in v precejšnji meri s sparitom. Posebna značilnost apnenca je, da kaže znamenja paleozakrasevanja (Ogorelec, 1996).

V zaključnih plasteh Glavnega dolomita se ponekod pojavljajo monomiktne, verjetno emerzijske, dolomitne breče in brečasti konglomerati. Te gradijo 2-3 centimetrov veliki odlomki drobnozrnatega dolomita. Vezivo je kalcitno, pogosto ga spremlja tudi organska snov s piritnimi zrci. Breča je slabo sortirana, nekaj kosov je rahlo zaobljenih, večina je ostrorobih. Na južnem pobočju Gorjancev (Žumberka) so te opredeljene kot formacijski člen Gmajna (Bukovac et al., 1995), ki označuje lokalno emerzijo.

Starost Glavnega dolomita je določena primarno po njegovi superpozicijski legi med Psevdoziljsko in Dachsteinsko formacijo ter po fosilni vsebini. Na Trški gori je določena tudi foraminifera *Triassina hantkeni* Majzon, ki je značilna za norij in retij, na Orlici pa »*Trochammina*« *almtalensis* Koehn – Zaninetti, ki se pojavlja v razponu anizij- retij in *Aulotortus friedli* (Kristan–Tollman), ki pa se pojavlja v razponu ladinij- retij (L. Gale). Glede na to, da je starost talninske Psevdoziljske formacije zgornji anizij- karnij do vključno tuvala, lahko sklepamo, da je Glavni dolomit norijsko-retijske starosti.

Debelina Glavnega dolomita znaša na raziskanem ozemlju največ 1.000 metrov.

### **Dachsteinska formacija (DAF / T,J)**

Dachsteinska formacija zajema plitvomorske apnenice z redkimi lečami dolomita in dolomitiziranega apnenca triasno-jurske starosti, ki ležijo konkordantno na Glavnem dolomitu, navzgor pa so prekriti z različnimi globokomorskimi kamninami jursko-kredne starosti. Na površini je Dachsteinski apnenec odkrit na Gorjancih in na Orlici, v Krškem hribovju pa samo kot manjše krpe. Ime formacije je prevzeto po uveljavljenem geološkem terminu *Dachsteinkalk*, ki izvira iz kraja Dachstein v avstrijskih Alpah, natančneje v Severnih apneniških Alpah. Formacijo smo razdelili na dva člena: Dachsteinski apnenec *sensu stricto*, ki je zgornjetriasne, in Krkin apnenec, ki je spodnjajurske starosti. Teh dveh členov zaradi litološke podobnosti na terenu ni bilo mogoče vedno razlikovati med seboj. Na ozemlju Gorjancev sta zato na karti združena, na območju Bizeljskega pa je Krkin apnenec posebej izdvojen.

#### ***Dachsteinski apnenec (DAF / T<sub>3</sub><sup>2,3</sup> – Da)***

Dachsteinski apnenec je na površini odkrit na Gorjancih od Kostanjevice do Čateža v jedrih *dinarskih* antiklinal. Njegova normalna talnina ni odkrita, navzgor pa prehaja, brez makroskopsko vidne spremembe, v Krkin apnenec. Oba prekrivajo različne karbonatno-klastične kamnine jurske in kredne starosti.

Dachsteinski apnenec je praviloma dobro plastnat, debelina plasti pa dosega 1 meter in več. Barva je svetlosiva, ponekod tudi temnosiva. Po strukturi je v glavnem *packstone* z različnimi lito- in bioklasti.

Litoklaste predstavljajo isti tipi apnenca, bioklaste pa v glavnem megalodontne školjke in ostali organski detritus. Vezivo je mikritno do sparitno. Pogosto so vidni stromatoliti ter loferitne sekvence. V zgornjem delu skladovnice apnenec se pojavljajo tudi plasti dolomita ali dolomitiziranega apnenca. Na območju Golega Vrha južno od Kostanjevice je znotraj apnenca večja leča dolomita, ki ima vse litološke značilnosti Glavnega dolomita v talnini.

Starost Dachsteinskega apnenca določajo školjke iz rodu *Megalodon*, ter različne apnenčeve alge in foraminifere. Od slednjih so navzoče številne drobne lagenide, posamezni primerki rodu *Aulotortus* sp. in vrsta *Deccapoolina schaeferae* Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret, ki je značilna za norij in retij (I. Gušić; L. Gale).

Glede na to, da Dachsteinski apnenec ni mogoče zanesljivo ločiti od Krkinega apnenca, znaša njegova približna debelina okoli 200 metrov.

#### ***Krkin apnenec (DAF / J<sub>1</sub> – Kr)***

To ime je uvedel Dozet (1993) za spodnjeliasne plasti med Krko in Zagradcem, ki jih je imenoval *Krka limestone*. Na navedenem območju ležijo ti neposredno na Glavnem dolomitu ali na Dachsteinskem apnencu zgornjetriasne starosti, v njihovi krovlini pa so *litolidni* apneneci srednjeliasne starosti. Avtor jih je glede na okolje sedimentacije razdelil v tri člene: *supratidal*, *intertidal* in *subtidal*.

Na raziskanem terenu južnega pobočja Gorjancev so od teh najbolj prepoznavne apnenčeve emerzijske breče, ki so ekvivalent *supratidal*-nega člena in označujejo mejo med zgornjim triasom in liasom. Klasti v brečah so različni tipi Dachsteinskega apnenca, vezivo pa je rjavordeči limonitizirani *mudstone*, ki najverjetneje predstavlja fosilno *terra rosso*. Navzgor sledijo različne sekvence stromatolitnega in loferitnega razvoja plitvomorskih apnenec, ki so lahko akvivalent *intertidal*-nega in *subtidal*-nega člena.



V emerzijskih brečah na območju Gorjancev je določena mikrofossilna združba, ki določa spodnjeljursko starost kamnine. To so drobne valvulinide (*Siphovalvulina* sp.), lituolide (*Ammobaculites* sp.), glomospirne foraminifere (*Earlandia dunningtoni* Elliott) in tekstularide (I. Gušić; L. Gale). Podobna fosilna mikrozdružba se pojavlja tudi v višjih delih skladovnice, ki je domnevno spodnjelijasne starosti. Fosilna združba, ki bi ustrezala srednjemu liasu, tukaj ni bila najdena. Prav tako niso najdene litiotidne školjke, ki so vodilne za srednji lias, zato celotna apnenčeva skladovnica, ki leži na Dachsteinskem apnencu, pripada najverjetneje samo spodnjem liasu.

Na južnem pobočju Gorjancev so Bukovac et al. (1995) opredelili zgornjetriasno-spodnjeljursko skladovnico apnencev kot enotno litostratigrafsko enoto in jo imenovali Rajiči člen.

Na raziskanem ozemlju je Krkin apnenec posebej izdvojen samo na južnem pobočju Orlice severno od Bizeljskega, kjer je zastopan z apneno brečo, ki je sestavljena iz klastov Dachsteiskega apnenca in rdečega matriksa, ki predstavlja dobro litificirano vezivo. Te breče verjetno pripadajo *supratidal*-nemu členu Krkinega apnenca spodnjelijasne starosti.

Ocenjena debelina Krkinega apnenca znaša približno 200 metrov.

### **Izvirska formacija (IF / J<sub>2,3</sub>)**

V to formacijo so uvrščene globokomorske kamnine srednje- do zgornjeljurske starosti, ki so sestavljene iz silificiranih karbonatnih breč in kalkarenitov ter iz pelagičnih apnencev z roženci. Formacijo je opredelil Rižnar (2005) in jo imenoval po kraju Izvir na severnem vznožju Gorjancev. Izvirska formacija je ekvivalent *tolminske formacije* (Rožič, 2009) iz Slovenskega bazena, ki ima stratigrafski razpon spodnja- do zgornja jura (toarcij – tithonij).

Kamnine Izvirske formacije na raziskanem ozemlju izdajajo na Gorjancih, kjer ležijo diskordantno na apnencih Dachsteiske formacije ali na Glavnem dolomitu in izven raziskanega ozemlja na zahodnem delu Krškega hribovja pri Sevnici. V krovlini Izvirske formacije so praviloma skladi Biancone formacije.

Apnenci Izvirske formacije so na splošno močno okremenjeni in vsebujejo tanke plasti črnega steklastega roženca. Apnenec je po sestavi biomikrit in je močno silificiran. Roženec je mikrokristalen, v njem se vidijo konture posameznih radiolarijev in spikul spongij. Po novejših analizah je ugotovljeno, da poreklo kremenice ni magmatsko, kakor je bilo prvotno domnevano (Šikić et al., 1979), temveč je roženec biogenetski (Skobe et al., 2013).

Starost Izvirske formacije je določena na podlagi radiolarijev. V zgoraj navedenem članku (Skobe et al., 2013), ki obravnava lokaliteto Izvir, navajajo avtorji relativno redko radiolarijsko združbo z vrstami: *Eucyrtidiellum nodosum* Wakita, *Halidictya ? hojnosi* Riedel & Sanfilippo in *Tetraditryma corralitosensis* (Pessagno), ki uvršča te plasti v stratigrafski razpon bajocij- spodnji kimeridgij. Na drugih lokalitetah na Gorjancih in sicer na širšem območju hriba Cirknik, je v apnencih z rožencem, ki ležijo neposredno na Glavnem dolomitu, določena naslednja radiolarijska združba: *Hexasaturnalis minor* (Baumgartner), *Hexasaturnalis nakasekoi* Dumitrica & Dumitrica–Jud, *Dicerosaturnalis angustus* (Baumgartner), *Eucyrtidiellum ptycum* (Riedel & Sanfilippo) in *Ristola altissima* (Rüst). Ta določa stratigrafski razpon apnencev od bathonija do spodnjega tithonija (Š. Goričan). Torej lahko uvrstimo kamnine Izvirske formacije v srednjo- do zgornjo juro.

### **Breče (IF / J<sub>2,3</sub> – Br)**

V bazi Izvirske formacije so ponekod prisotne roženčeve in karbonatne breče ter kalkareniti, ki so opredeljeni kot poseben formacijski člen. Isti detritični debelo zrnati material se pojavlja tudi v posameznih sekvencah v stratigrafsko višjih delih skladovnice, kjer jih je Babić (1974) opredelil kot turbiditne sekvence. Klasti v brečah so sestavljeni iz različnih plitvomorskih mikritnih apnencev z algami, foraminiferami, ehinodermi, fragmenti školjk itd. Drobno zrnati material v turbiditnih sekvencah je sestavljen iz prvotnih karbonatnih muljevcev z dodatkom kremenca in mineralov glin s pelagičnimi školjkami, foraminiferami iz rodu *Protoglobogerina* sp. in radiolariji, kar kaže na globokomorsko sedimentacijo *in-situ*. Pri tem je treba omeniti, da so plasti Izvirske formacije na stiku z njihovo podlago običajno močno tektonizirane, kar se

dobro vidi v opuščenem kamnolomu pri kraju Izvir, kjer je roženčeva breča na stiku z Glavnim dolomitom na novo opredeljena kot kataklazit. Brečo namreč sestavljajo ostrorobi nezaobljeni klasti roženca, cement je kalcitni z avtigenim kristaljenim kalcedonom, kar nakazuje (tektonsko) drobljenje kamnine na samem mestu (P. Kralj).

Starost Izvirskih breč je po analogiji s Slovenskim bazenom (Rožič, 2009) lahko tudi spodnjajurska, natančneje toarcijska, česar pa na raziskanem ozemlju ni mogoče zanesljivo dokazati.

Debelina apnenca in breče celotne Izvirske formacije znaša 40 do 50 metrov, debelina bazalne breče pa samo nekaj metrov.

### **Biancone formacija (BCF / J,K)**

Ime formacije je le eno od obstoječih (npr. *majolica*, *aptiški apnenci* in druga), ki so vsa uveljavljena v geološki literaturi, označujejo pa iste globokomorske sklade jursko- kredne starosti. Klasična Biancone formacija na Južnem Tirolskem je sicer kredne starosti, vendar se na prostoru Slovenskega jarka začne odlagati že v zgornji juri.

Na raziskanem ozemlju izdajajo kamnine Biancone formacije na Gorjancih, Orlici in v Krškem hribovju. Ležijo konkordantno na skladih Izvirske formacije ali diskordantno na triasnih apnencih in dolomitih. V Krškem hribovju, zahodno od raziskanega terena, izdajajo skladi Biancone formacije v celotni debelini skupaj s svojo talnino in krovino. Sestavljeni so iz sivih do rdečih ploščastih mikritnih apnencev s tankimi plastmi in gomolji roženca. Po sestavi je apnenec rahlo silificiran biomikrit s kalpionelami, radiolariji in drugimi pelagičnimi fosili. Silifikacija se kaže v obliki posameznih kremenovih zrn, velikih do 80 mikrometrov. Del kremenca je detritičnega, del pa avtigenega. Poleg kremenca se pojavljajo še zrnca pirita, velika do 30 mikrometrov in različni minerali glin. Delež karbonatne komponente v apnencu je med 88 in 96 % (Ogorelec et al., 1996).

V zgornjih plasteh skladovnice, vendar ne povsod, apnenec prehaja v temno rdeči do vijolčasti skrilavi karbonatni ali nekarbonatni meljevec do glinavec. Njegova debelina znaša v povprečju nekaj metrov. V zgornjem delu skladovnice se ponekod, npr. na območju Cirnika na Gorjancih, pojavljajo tudi plasti srednjezrnatih klastičnih apnencev (kalkarenitov) z roženci.

Starost t. i. *aptiških* apnencev severovzhodnege dela Gorjancev je podrobno določil Babić (1974) na podlagi kalpionel. Te je razdelil v štiri biocone, in sicer: *Crassicollaria*, *Calpionella* (*Calpionella alpina* in *Calpionella eliptica*), *Calpionellopsis* in *Calpionellites*. Prva in del druge biocone je zgornjetithonijske, druga in tretja berriasijske do valanginijske in četrta valanginijske starosti.

Šikić et al. (1979) poleg kalpionelid (*Callponella alpina*, *Calpionella eliptica* in *Tintinnopsella carphatica*), navajajo v Biancone formaciji še druge fosilne ostanke in sicer radiolarije, spikule spongij, ostanke skeletov sakokom, fragmente ehinodermov, prereze aptihov, embrione amonitov in pelagične foraminifere. Na podlagi navedenega uvrščajo celotno skladovnico v stratigrafski razpon tithonij – berriasijski z mogočim prehodom v valanginij.

Starost kamnin Biancone formacije je bila na južnem pobočju Orlice določena tudi na podlagi nanoflore. Določene so vrste: *Watznaueria barnesae*, *Nannoconus* sp., *Mlicrantholithus obtusus*, *Parhabdolithus embergeri*, *Micrantholithus* sp., *Cruciellipsis cuvillieri*, *Glaukolithus diplogrammus*, *Wacnaueria communis*, *Lithraphidites bolli*, *Tetralithus* sp. in *Nannoconus steinmanni*, ki uvrščajo skladovnico v stratigrafski razpon valanginij – zgornji barremij (Aničić in Juriša, 1995b).

Na območju Cirnika je v okviru izdelave karte, v mikritnih apnencih in kalkarenitih določena radiolarijska združba z vrstami *Holocryptocanium barbui* Dumitrica, *Cryptamphorella conara* (Foreman), *Sethocapsa uterculus* (Parona) in *Hemicryptocapsa capita* Tan, ki uvrščajo ta del skladovnice v stratigrafski razpon zg. valanginij – sp. aptij (Š. Goričan).

Debelina Biancone formacije je na raziskanem ozemlju različna in znaša največ do 50 metrov.



## Krška grupa formacij

Krška grupa ali skupina formacij je opredeljena na podlagi podobnega načina nastanka in podobnih, vendar med seboj nekoliko različnih litoloških značilnosti posameznih litostratigrafskih enot oz. formacij. Navedena skupina ima skoraj v celoti turbiditni značaj, za razliko od kamnin Izvirske in Biancone formacije, kjer so sedimenti nastajali v globokem morju *in-situ* in samo delno kot turbiditi. V Krško grupo formacij so uvrščeni t. i. *flišoidni*, *krški* in *velikotrnski skladi* spodnje- do zgornjekredne starosti, ki so opredeljeni kot posamezne formacije. To so formacija Gora ter Krška in Velikotrnska formacija. Ime celotne skupine je poimenovana po Krškem hribovju, kjer so vse tri formacije najbolj odkrite.

### Formacija Gora (GOF / K<sub>1,2</sub>)

Formacija Gora je novo opredeljena, in sicer po kraju Gora v Krškem hribovju, kjer so skladi te formacije odkriti v celotni debelini. V geološki literaturi je za podobne kamnine na širšem ozemlju Slovenije, natančneje v Slovenskem jarku zahodne Slovenije, v uporabi ime *fliš* (Buser, 1989) ali *flišoidne plasti* (Rožič, 2005), slednje po izvirnem nazivu *formation flischoides* (Cousin, 1970; Caron & Cousin, 1972). Navedeni avtorji utemeljujejo termin flišoiden namesto fliš zaradi odsotnosti zrnate klastične komponente, in sicer: »*Tout ensemble ne forme pas un flysch typique – il n'y a pas de grès par exemple – aussi préférons nous l'appeler »formation flyschoide inférieure«*» - Caron & Cousin, 1972, str. 44. (»Zaporedje ne tvori pravega fliša – peščenjaka na primer ni – zato ga raje imenujemo »spodnja flišoidna formacija«). Naziv *flišoidna formacija* je uporabil tudi Rižnar (2005) za klastične kredne plasti na Gorjancih. Vendar navedene kamnine v Krškem hribovju, Orlici in na Gorjancih pripadajo v paleogeografskem in v geotektonskem smislu Notranjim Dinaridom in so del t. i. *bosanskega fliša*, ki ga tako označujejo avtorji že v 19. st. (npr. Lipold, 1858) ter tudi pozneje, v 20. st. (npr. Aubouin, 1973; Aubouin et al., 1970). Formacija Gora je litološko še najbolj podobna spodnjemu delu skladovnice bosanskega fliša, ki je znan kot *Vranduk formacija* (Aubouin et al., 1970; Hrvatović, 2005), vendar je ta nekoliko starejša, in sicer zgornjejurske do spodnjekredne starosti. Pas bosanskega fliša se nadaljuje tudi proti severozahodu na prostor hrvaških Notranjih Dinaridov, kjer je opredeljen kot turbiditni facies (Šparica, 1981). V novejšem času je ta razdeljen v več formacij. To so *formacija Oštrc* na Ivanščici, *formacija Bistra* na Medvednici in *formacija Kravljak* na Gorjancih oz. Žumberku. Pri tem je prva barremijsko- albijske, druga aptijsko- albijske in tretja albijsko- cenomanijske starosti (Zupanič et al., 1981; Lužar-Oberiter et al., 2012). Njihova osnovna litološka značilnost pa je prisotnost litoklastov in mineralov, ki izvirajo tako iz Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, kakor tudi iz vzdignjenih delov ofiolitnega pasu Notranjih Dinaridov (Šimunić et al., 1976; Šparica, 1981; Lužar et al., 2008.)

Opisane kamnine glede na navedeno predstavljajo fliš v osnovnem pomenu besede, z vsemi turbiditnimi karakteristikami, ki označuje zapiranje oceanskega prostora Tetide in dviganje njegovih robnih delov in posledično erozijo ter sedimentacijo klastičnih sedimentov iz morske police (šelf) v globljemorsko okolje. Skladi formacije Gora so, poleg na Krškem hribovju, odkriti še na Orlici in na Gorjancih. Ležijo normalno na Biancone formaciji ali diskordantno na jursko- triasni podlagi. V večjem delu terena, posebej na Gorjancih, se v bazi turbiditne skladovnic pojavljajo karbonatne breče, ki so izdvojene kot poseben formacijski člen.

V Krškem hribovju je turbiditna skladovnica formacije Gora odkrita v celotni debelini pri vasi Gora, kjer sta vidni njeni talnina in krovina. V spodnjem delu skladovnice, ki leži neposredno na Glavnem dolomitu, prevladujejo nekarbonatne muljaste kamnine s podrejeno količino kalkarenitov z rožencem, v zgornjem pa kalkareniti, ki prevladujejo nad karbonatnimi muljastimi kamninami.

Muljaste kamnine spodnjega dela skladovnice lahko opredelimo kot meljaste glinavce in glinavce (Skaberne, 1996). Ti so črne, temno sive, rdeče in zelene barve, po teksturi pa so izrazito skrilavi. Sestojе se iz kremenca, kalcita, muskovita/ilita, klorita, Ca-montmorilonita in goethita, pri čemer prevladujejo muskovit/ilit, montmorilonit in kremen (Zupanič, 1974). V plasteh so ponekod navzoči dobro zaobljeni, nekaj centimetrov debeli prodniki plitvomorskih apnencev s spodnjekredno, jursko in triasno mikrofosilno združbo. Muljevci se menjavajo s plastmi ali lečami sivega kalkarenita s tankimi lečami ali gomolji črnega steklastega roženca. Kalkarenite sestavljajo bioklasti in litoklasti, vezivo pa je mikritno. Litoklasti

so sestavljeni iz različnih tipov pltvomorskih apnencev (mikriti, pelmikriti, biomikriti, oospariti in spariti) z mikrofosilno vsebino. Bioklasti so posamezne foraminifere in fragmenti debelolupinastih moluskov. Tekstura so značilno turbiditne z dobro vidno gradacijo zrnivosti, z vzporedno, vijugavo ali navzkrižno laminacijo itd. (Skaberne, 1996). Pogosti so tudi sinsedimentacijski zdrsi (*slump*) metrskih do več deset metrskih razsežnosti (Poljak et al., 1987).

V zgornjem delu skladovnice prehajajo kalkareniti v svetlo sive do svetlo rjave *lapornate apnenice* in sicer kalklutite. Ti se menjavajo s plastmi skrila vege karbonatnega meljevca (*laporja*). Ta vsebuje poleg drobnih litoklastov tudi organski drobir, ki ga sestavljajo pelagične foraminifere, nanoplankton in kalcitizirane radiolarije. Apnenci in karbonatni meljevci kažejo tudi vse prej opisane turbiditne značilnosti.

Zgornji del skladovnice formacije Gora je odkrit tudi na severni strani Krškega hribovja pri vasi Arto (Poljak et al., 1987) Mineralna sestava je podobna tisti na Gori s to razliko, da so med minerali navzoči še biotit, muskovit in pirit. V litoklastih so prisotne še miliolide, orbitoline, ostrakodi, chrisalinide in druge. Ponekod je del klastov zajela poznodiagenetske silicizacija, pri kateri so nastali do 120 mikrometrov veliki avtigeni kremenovi kristali (Ogorelec et al., 1996).

Klastična spodnjekredna skladovnica je odkrita tudi na južnih pobočjih Orlice. Tukaj leži na Glavnem dolomitu ali na Biancone formaciji, navzgor pa prehaja v Krško formacijo. Tekstura in struktura turbiditnih plasti sta podobni ali enaki tisti v Krškem hribovju.

Na Gorjancih je zaporedje spodnjekrednih klastitov nekoliko drugačno. V vzhodnem delu Gorjancev ležijo spodnjekredne turbiditne plasti neposredno na triasni podlagi ali na Biancone formaciji, v zahodnem pa na bazalnih brečah in konglomeratih, ki so prav tako spodnjekredne starosti.

Starost klastičnih opisanih plasti je določena po mikropaleontološki vsebini in sicer po algah, foraminiferah, radiolarijah in nanoplanktonu.

Na ozemlju, ki ga zajema list Rogatec OGK SFRJ sta Aničić in Juriša (1985a; 1985b) na podlagi nanoplanktona in foraminiferne mikrofavne uvrstila navedeno skladovnico v stratigrafski razpon aptij – cenomanij.

V Krškem hribovju so bili najdeni pri vasi Gora še številni fragmenti orbitolin in pelagične foraminifere iz rodu *Rotalipora* ter vrsta *Ticinela roberti* (Gandolfi); na tej podlagi je celotna skladovnica uvrščena v stratigrafski razpon (aptij ?) – albij- cenomanij (Poljak et al., 1987).

V okviru izdelave Geološke karte Krške kotline 1 : 25 000 so v spodnjem delu skladovnice na Gori, ki leži neposredno na Glavnem dolomitu, v kalkarenitih kot bioklasti določene foraminifere iz rodu *Orbitolina*, ki so značilne za aptij in albij. Te zaradi neustreznih presekov niso natančneje določljive, vendar ne kažejo znakov, da bi bile presedimentirane iz starejših plasti. Poleg navedenih vsebujejo še posamezne foraminifere kot *Involutina* sp., *Spiriloculina* sp. in miliolide ter drobci moluskov in ehinodermov (L. Šribar).

Na profilu Gora je določen tudi nanoplankton, in sicer vrste: *Watznaueria barnesae* (Black), *Ephrolithus floralis* (Stradner), *Cyclagelosphaera deflandrei* (Manivit), *Cyclagelosphaera margerelii* (Noel), *Praediscospaera cretacea* (Arkhangelsky) in *Biscutum constans* (Gorka), ki kažejo na nižji del zgornje krede (J. Pavšič). Isti avtor je na širšem prostoru Krškega hribovja določil tudi vrste: *Flabelites biformanis* Thierstein, *Vagalapilla matalosa* (Stover), *Rucinolithus irregularis* Thierstein, *Ephrolithus floralis* (Stradner) in *Chiastozygus litterarius* (Gorka), ki so značilne za aptij, albij in cenomanij. Nanoplanktonske združba pri Blanci pa kaže na zgornje aptijsko do cenomanijsko starost klastičnih plasti (Buser & Pavšič, 1978).

Š. Goričan je iz rožencev na Gori določila naslednjo radiolarijsko združbo: *Holocryptocanium barbui* Dumitrica, *Cryptamphorella conara* (Foreman), *Dicerosaturnalis trizonalis* (Rust), *Stichomitra japonica* (Nakaseko & Nishimura), *Stichomitra* sp., *Arhaeodyctiomitra* sp., *Thanarla* sp. in *Diacanthocapsa* sp., ki imajo stratigrafski razpon zg. aptij – albij.

V vrtini Drn-1/89 (Kranjc et al., 1990) ležijo v neposredni talnini neogenskih (ottnangijskih) klastitov plasti formacije Gora, ki so po pelagičnih foraminiferskih vrstah iz rodu *Whiteinella* uvrščene v stratigrafski razpon cenomanij do turonij (Šribar, 1990).

Na podlagi opisane fosilne vsebine smo uvrstili formacijo Gora v stratigrafski razpon zg. aptij – cenomanij. Debelina turbiditnega dela formacije Gora brez breč znaša največ 300 metrov.

### Breče (GOF / K<sub>1,2</sub> - Br)

Na zahodnem delu Gorjancev, zahodno od Kostanjevice, ležijo spodnjekredne breče in konglomerati neposredno na Glavnem dolomitu ali na Dachsteinskem apnencu, v osrednjem delu pretežno na Biancone formaciji, v vzhodnem pa kot posamezne manjše krpe karbonatnega konglomerata neposredno na Glavnem dolomitu.

Breče ali brečasti konglomerati so polimiktne sestave; sestavljajo jih srednje do dobro zaobljeni fragmenti različnih plitvomorskih do globokomorskih apnencev in dolomitov triasno–jursko-spodnjekredne starosti ter temni roženci jurske starosti. Velikost klastov je različna, v povprečju znaša nekaj centimetrov, posamezni klasti pa so veliki tudi do nekaj deset centimetrov. V apnenčevih klastih v zahodnem delu Gorjancev so najdeni fosili *Calpionella alpina* Loprenz, *Tintinnopsella* sp., *Calpionellites* sp., *Thaumatoporella parvovesiculifera* (Rainer), *Duotaxis metula* Kristan, *Siphovalvulina* sp., *Reofax* sp., *Dentalina* sp., *Trocholina* sp., litulide, orbitoline, sferaktinide, radiolariji, spikule spužev in ploščice ehinodermov (I. Gušić; L. Gale). Vsi ti pripadajo različnim tipom apnencev stratigrafskega razpona zg. trias – sp. kreda, ki izvirajo iz Jadransko-Dinarske karbonatne platforme ali iz njenega šelfnega roba. Vezivo je pretežno glinasto.

Na južnem pobočju Krškega hribovja, Orlice in v vzhodnem delu Gorjancev so ohranjene posamezne izolirane krpe spodnjekrednih bazalnih konglomeratov. Ti so sestavljeni iz dobro zaobljenih prodnikov različnih apnencev in dolomitov, ki so povezani z mikritnim ali sparitnim kalcitnim vezivom. V klastih so določeni fosili: *Siphovalvulina colomi* Bou Dagher-Fadel, Rose, Bosenca & Lard, *Trocholina* cf. *oberhauseri*, *Andersenalina* sp. *Triasina* sp., *Vulvulammina* sp., dasikladaceje in dr., ki pripadajo kamninam v stratigrafskem razponu zg. trias – sp. kreda (I. Gušić; L. Gale).

Karbonatno brečo uvrščamo v bazalni del turbiditne skladovnice. Klasti breč so pogosto piritizirani, »... kar kaže na subaersko preperevanje pred končnim transportom v globlje morje« (L. Gale). Na globljemorsko okolje sedimentacije kaže tudi muljasto vezivo s pelagičnimi foraminiferami in filamenti, ki jih formirajo tankolupinaste školjke. Domnevamo, da je bil pri turbiditnem transportu klastičnega materiala iz šelfa v bazen erodiran nekonsolidirani sediment Izvirske in Bianconske formacije in je sediment formacije Gora odložen ponekod neposredno na triasno podlago.

Debelina breč in konglomeratov znaša do največ 300 metrov.

### Krška formacija (KF / K<sub>2</sub><sup>2-4</sup>)

Krško formacijo je opredelil Rižnar (2005) po *krških skladih (Gurkfelder Schichten)*, (Lipold, 1858) kredne starosti iz širšega območja Krškega. Krške sklade iz raziskanega terena lahko primerjamo s t. i. *scaglio rosso* italijanskih Apeninov, ki ima na izvorni lokaliteti večji stratigrafski razpon in sicer zgornja kreda - paleocen. Lateralni globokomorski ekvivalent krških skladov v Slovenskem bazenu so t. i. *podsa-botinske plasti* in *volčanski apnenci*. Prve imajo stratigrafski razpon zgornji turonij – senonij, drugi pa zgornji turonij – santonij, oz. coniacij – spodnji maastrichtij (Pleničar et al. eds., 2009).

Kamnine Krške formacije ležijo na raziskanem ozemlju praviloma konkordantno na formaciji Gora, zahodno od Kostanjevice, na severnem pobočju Gorjancev, pa diskordantno na emerzijskih brečah Dachsteinske formacije, kar je domnevno posledica postopne širitve Slovenskega bazena proti Jadransko-Dinarski karbonatni platformi (npr. Babić, 1974; Pleničar & Premru, 1975; Pleničar et al., 1981). Prehod iz formacije Gora v Krško formacijo je postopen preko rdečih glinavcev, katerih debelina znaša nekaj metrov. Ti se po barvi in litološki sestavi razlikujejo od svoje sivorjave podlage in so uvrščeni v Krško formacijo.

Kamnine Krške formacije so skupaj s svojo talnino in krovino v celoti odkrite pri vasi Arto na severni strani Krškega hribovja (Poljak et al., 1987). Spodnji del skladovnice se začne z menjavanjem tankih rdečih do sivih plasti biomikritnega in lapornatega biomikritnega apnenca s plastmi karbonatnega peščenjaka oz. biokalkarenita. Fosili v biomikritnem apnencu so pelagične foraminifere, kalcisfere in pitonele ter kalcitizirani radiolariji. Karbonatni peščenjak sestavljajo do 0.3 milimetre veliki zaobljeni litični drobcji mikritnega in pelmikitnega apnenca, med katerimi so pomešani fosili in sicer: globotrunkane, globigerine, ploščice ehinodermov in lupine moluskov. V nekaterih drobcjih so prepoznavne tudi orbitoline. Cement v kalkarenitu je drobnozrnati sparit, ohranjena je tudi mikritna osnova. Rdečo barvo kamnini daje limonitizirani

pirit. V zgornjem delu se v plasteh pojavljajo gomolji roženca temno sive barve. Kremen roženca je mikrokristalen s konturami radiolarijev, silicizacija je poznodiagenetska (Ogorelec et al., 1996). Debelina opisanega dela skladovnice je 55 metrov.

Navzgor sledi dokaj homogena skladovnica rdečega do sivega tankoplastnatega biomikritnega apnenca, med katerim se pojavljajo posamezne plasti biokalkarenita. V vseh plasteh so prisotne tudi redke plasti ali gomolji roženca. Med plastmi apnenca so ponekod tanke plasti nekarbonatnega glinavca in muljevca. Plasti apnenca pripadajo lapornatemu biomikritu z 92 do 96 % karbonatne komponente. Fosili so pelagični; večji del jih predstavljajo globigerine, ki so pogosto silificirane, globotrunkane, kalcifere in kalcitizirani radiolariji (Ogorelec et al., 1996). Debelina tega dela skladovnice znaša 115 metrov.

V stratimetrijskem profilu v kamnolomu pri Šutni, ki obsega 78 metrov spodnjega dela skladovnice Krške formacije je bilo ugotovljeno turbiditno menjavanje mikritnega do biomikritnega, močno okremenjenega apnenca in kalkarenita, ki vsebuje plasti ali gomolje roženca. Apnenec je siv do svetlo rdeč, tankoplastovit do ploščast s tankimi interkalacijami zelenega skrillavega karbonatnega muljevca. Rentgenska analiza vzorcev iz celotnega profila kaže, da so apnenci sestavljeni iz 80 – 85 % kalcita, 7 – 10 % kremenca, 5 – 10 % muskovita/ilita in 3 % pirit, muljevci pa iz 72 % kalcita, 12 % kremenca, 10 % ilita/montmorilonita in 6 % klorita (Poljak et al., 1987).

V profilu so bile določene številne pelagične foraminifere iz rodu *Globotruncana*, ki določajo santonijsko- kampanijsko starost plasti. To so: *Globotruncana coronata* Bolli, *Globotruncana lapparenti* Bolli, *Globotruncana ex. gr. lapparenti* Bolli, *Globotruncana angusticarinata* Gandolfi, *Globotruncana fornicata* Plummer, *Globotruncana buloides* Vogler, *Globotruncana tricarinata* (Queraou), *Globotruncana arca* (Cushman), *Globotruncana cf. arca* (Cushman), *Globotruncana cf. conica* White ?, *Globotruncana cf. calcarata* Cushman, *Globotruncana sp.* in *Praeglobotruncana citae* (Bolli). Poleg foraminifer je najden tudi nanoplankton in sicer vrste: *Watznaueria barnesae* (Black), *Eiffelithus eximius* (Stover) in *Stradneria crenulata* Bramlette & Martini (Poljak et al., 1987).

V stratimetrijskem profilu pri vasi Arto je Lj. Šribar določila naslednje vrste foraminifer: *Globotruncana sigali* Reichel, *Globotruncana helvetica* Bollii, *Globotruncana coronata* Bollii in *Globotruncana lapparenti* Bollii ter jih uvrstila v stratigrafski razpon cenomanij – senonij (Poljak et al., 1987).

Vodilne foraminifere iz rodu *Globotruncana* so bile določene tudi na drugih lokalitetah na Gorjancih. V spodnjih delih skladovnice so navzoče vrste: *Marginotruncana sigali* (Reichel), *Marginotruncata cf. schneegansi* (Sigal), *Marginotruncata renzi-sinuosa* (Gandolf)–Porthault, *Muricohedbergerella holmdelensis* (Olson), *Macroglobigerinoides »caseyi«* (Bollii, Loeblich & Tappan) in *Macroglobigerinoides bollii* (Pesagno), v zgornjem pa vrste: *Globotruncana lapparenti* Brotzen, *Globotruncana linneiana* (d'Orbigny) in *Globotruncana sp.* Prva foraminiferna združba ima stratigrafski razpon turonij – spodnji santonij, druga pa santonij – maastrichtij (D. Stanković).

Na podlagi navedenega smo uvrstili Krško formacijo v stratigrafski razpon turonij – spodnji kampanij. Debelina Krške formacije znaša največ 250 metrov.

### **Velikotrnska formacija (VTF / K<sup>4,5</sup>)**

Velikotrnsko formacijo je opredelil Rižnar (2005) po Lipold-ovih (1858) *velikotrnskih skladih*, (*Grossdorner Schichten*), ki so imenovani po vrhu Veliki Trn v Krškem hribovju. Na tem območju so kamnine Velikotrnske formacije odkrite v največjem obsegu. Ležijo konkordantno na Krški formaciji, vendar tudi diskordantno na triasni podlagi, kar je vidno na širšem območju Planine v zahodnem delu Krškega hribovja. Na Gorjancih so odkrite na širšem območju Kostanjevice, kjer ležijo normalno na Krški formaciji. V bazi Velikotrnske formacije so ponekod breče in konglomerati, ki prehajajo v kalkarenite. Ta bazalni del skladovnice je opredeljen kot poseben formacijski člen. Sledijo mu karbonatni turbiditi, v katerih so ponekod večje leče in plasti konglomerata.

V Krškem hribovju in na Gorjancih leži klastična turbiditna skladovnica na bazalnih brečah in konglomeratih. V njenem spodnjem delu prevladujejo sivi do rjavi debeloplastnati *lapornati apnenci* (kalklutiti). Ti se navzgor menjavajo s tanjšimi ali debelejšimi plastmi sivega do rjavega *laporja* in *laporovca* oziroma

karbonatnega meljevca, ki prevladujejo v zgornjem delu skladovnice. V Krškem hribovju so ponekod v zaključnem delu skladovnice debele plasti breče in konglomerata. Ta je po sestavi karbonatni in polimiktni. Prodniki so debeli do nekaj centimetrov in srednje do dobro zaobljeni. Sestojajo se pretežno iz različnih plitvomorskih apnencev s kredno mikrofavno, pogosti so tudi klasti z rudisti, ki ponekod predstavljajo tudi samostojne bioklaste, vezivo pa je sparitni kalcit.

Na prej opisanem profilu Arto leži turbiditna Velikotrnska skladovnica neposredno na Krški formaciji. Odkrito je 45 metrov njenega spodnjega dela. V bazi so debeloplastnati apnenci, ki se navzgor menjavajo s tankimi plastmi karbonatnega skrilavega glinavca. Apnenc je po sestavi večji del *lapornat* biomikrit, posamezne plasti predstavlja intrabiomikrit do biokalkarenit. Klasti v kalkarenitu so mikritni s številnimi pelagičnimi foraminiferami, kot so globigerine in globotrunkane ter kalcisfere, kalcitizirani radiolariji, spikule spongij in ploščice ehinodermov. Navzoča so še zrnca kremenca in pirita. Delež karbonatne sestavine v apnencu je med 88 in 94 %, ostalo so glineni minerali, med katerimi prevladujejo minerali tipa muskovit/ilit. V zgornjem delu skladovnice, ki se pojavlja kot posamezni izdanki do vrha Krškega hribovja, do Velikega Trna, je vidno menjavanje kalkarenita, kalklutita in karbonatnega meljevca do glinavca, z dobro izraženimi turbiditnimi sekvencami (Ogorelec et al., 1996).

Velikotrnski skladi Gorjancev se nadaljujejo tudi na južno stran (Žumberak), kjer so znani kot *Vivodinski fliš* (npr. Zupanič, 1981; Devidé-Nedéla, 1982), po kraju Vivodina vzhodno od Metlike. Podrobne sedimentološko-petrografske analize so pokazale, da ima ta skladovnica značaj karbonatnih turbiditov z relativno velikim deležem nekarbonatov. Turbiditne sekvence se običajno začnejo s kalciruditom, sledi kalkarenit in nato *lapornati apnenci* in *laporji*. V zgornjem delu celotne skladovnice prevladujejo drobnnozrnate kamnine in sicer areniti in lutiti. Litoklasti so različni plitvomorski apnenci jurske, spodnje in zgornje kredne starosti ter različni bioklasti. V drobnnozrnatih arenitih in lutitih prevladujejo organski detritus ter planktonske foraminifere. Razmerje karbonatnih in nekarbonatnih delcev je v vseh sekvenci približno enako, in sicer v povprečju 50 : 50 %. Glavni delež nekarbonatov predstavljajo kremen, glinenci ter litoklasti bazičnih magmatsko-metamorfni ter sedimentnih klastičnih kamnin in roženca. Od težkih mineralov pa so prevladujoči spinel, rutil, cirkon, turmalin, granat ter redki drugi, ki so navzoči samo v sledovih (Zupanič, 1981; Crnjaković, 1987).

*Vivodinski fliš* na širšem območju Metlike je raziskoval tudi Brajković (2014). Opredelil je tri glavne turbiditne sekvence, in sicer: bazalne breče, menjavanje kalkarenita z *laporjem* ter *lapor* v zaključnem delu skladovnice. Klasti v brečah in kalkareniti so plitvomorski kredni apnenci v stratigrafskem razponu zgornji barremij – spodnji kampanij. Vezivo je pretežno kalcitni sparit. V srednjem delu skladovnice se pojavljajo tudi terigena zrna nekarbonatnih litoklastov ter posamezni minerali kot monokristalni kremen in glavkonit, ter v sledovih cirkon. V zgornjem delu skladovnice se pojavljajo še minerali muskovit in biotit.

Starost velikotrnske skladovnice, oz. velikotrnske formacije je na raziskanem terenu določena s pomočjo pelagičnih foraminifer in nanoplanktona. V zahodnem delu Krškega hribovja, zahodno od Rake, zunaj raziskanega ozemlja, leži bazalni del Velikotrnske skladovnice neposredno na anizijskem dolomitu. V vezivu karbonatne breče so določene foraminifere: *Marginotruncata marginata* (Reuss), *Globotruncana lapparenti* (Brotzen), *Globotruncana hilli* (Pessagno), *Contusotruncana fornicata* (Plummer), *Macroglobigerinoides bollii* (Pessagno), *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg) in *Heterohelix reussi* (Cushman). Te kažejo na zgornje santonijsko–spodnjekampanijsko starost plasti (D. Stanković). V zaključnem delu skladovnice pri Velikem Trnu pa je določen nanoplankton, ki pripada coni *Micula mura*, ki označuje zaključni del krede (zgornji maastrichtij) (J. Pavšič). Na južni strani Gorjancev (Žumberka), na širšem območju Vivodina so Nedela-Devide et al. (1982), na podlagi bogate mikrofossilne vsebine (foraminifer iz rodu *Globotruncana*) opredelili starost kot zgornjemastrichtijsko. Bolj proti jugovzhodu je v flišni skladovnici določena tudi paleocenska mikrofossilna združba (Bukovec et al., 1984a; 1984b). Vse naštetu kaže na postopno širitev flišnega bazena, kar so že prej opisali tudi Pleničar in Premru (1975), Babić (1976) ter Pleničar et al. (1981).

Debelina turbiditnega drobnnozrnatega dela Velikotrnske formacije znaša največ 350 metrov.



### **Breče (VT / K<sub>2</sub><sup>4,5</sup> – Br)**

V bazi velikotrnskih skladov so breče in konglomerati, ki prehajajo v kalkarenite. Debelozrnate kamnine so sestavljene iz slabo do dobro zaobljenih fragmentov različnih apnencev, povezanih s sparitnim do mikritnim vezivom. Velikost klastov doseže ponekod do več deset centimetrov. Poleg različnih plitvomorskih apnencev zgornjetriasne, spodnjejurske in spodnjekredne starosti so prisotni tudi številni veliki klasti rdečega apnenca, ki pripadajo *krškim skladom*. Ti imajo pogosto teksturo *plastiklastov*, torej so bili erodirani in presedimentirani v svoji nekonsolidirani fazi. V vezivu breč in konglomeratov so prisotne številne globotrunkane, globigerine in globorotalie. Določene so v vrste: *Marginotruncana marginata* (Reuss), *Globotruncana lapparenti* Brotzen, *Globotruncana hilli* Pesagno, *Conzusotruncata fornicata* (Plummer), *Macroglobigeroides bollii* (Pesagno), *Heterohelix globulosa* (Ehrenberg) in *Heterohelix reussi* (Cusman), ki določajo starost breče kot zgornji santonij – spodnji kampanij (D. Stanković).

Na južnem pobočju Gorjancev pri Metliki je v vezivu bazalnih breč najdena planktonska foraminifera *Globotruncana stuartformis* Dalbiez, ki ima stratigrafski razpon zgornji kampanij – maastrichtij (Brajković, 2014). To kaže na postopno napredovanje *velikotrnskih skladov* na Jadransko-Dinarsko karbonatno platformo v času zgornje krede in pozneje v spodnjem paleogenu. To potrjujejo tudi izdanki fliša pri Ozlju, južno od reke Kolpe, v katerih je v bazalnih plasteh najdena paleocensko-eocenska foraminiferna združba in sicer: *Discocyclina seuensi*, *Goborotalia angulata*, *Globotruncalia puncanata*, *Globigerina triloculinoidea* ter številni paleogenski nanoplankton (Bukovac et al., 1984a; 1984b).

Breče in konglomerati so bili odloženi na šelfnem robu karbonatne platforme ter preneseni s turbiditnimi tokovi v bazen, kar dokazuje pelagična favna v njihovem vezivu. Pri tem transportu je bil erodiran tudi nekonsolidirani del starejših globokomorskih sedimentov, zato so ponekod breče in konglomerati Velikotrnske formacije odloženi neposredno na triasno kamninsko podlago.

Debelina celotne skladovnice breč, konglomeratov in kalkarenitov znaša od 0 do največ 150 metrov.

### **Govška formacija (GF / M<sub>2</sub> ?)**

Govška formacija je najstarejša terciarna (neogenska) litostratigrafska enota na raziskanem ozemlju. Imenovana je po klasičnih *govških plasteh* Posavskih gub (Kuščer, 1967). Sestavljene so iz heterogene skladovnice kopenskih sedimentov in sicer proda, peska in gline s premogom. Prod je ponekod sprijet s karbonatnim vezivom v konglomerat. Ti sedimenti in kamnine so odkrite na južnem pobočju Krškega hribovja in na severnem pobočju Gorjancev, v osrednjem delu Krške kotline so ugotovljeni v številnih globokih vrtinah. Povsod ležijo diskordantno na predterciarni podlagi, navzgor pa so prav tako v diskordantnem odnosu do krovninskih badenijskih plasti. Glede na njihov prostorski položaj in sedimentne teksture jih lahko opredelimo kot fosilne aluvialne sedimente prepletenege rečnega toka z lateralnimi močvirji in jezeri.

Skladovnica se sestoji iz nepravilnega menjavanja silikatno- karbonatnega proda in peska; ponekod se pojavljajo tudi leče sive peščene gline s premogom. Sestava proda je heterogena; karbonatni prodniki so sestavljeni iz plitvomorskih apnencev mezozojske in paleogenske starosti, silikatni pa pretežno iz kremena in roženca (Trajanova, 2011b). Analiza težkih mineralov vzorcev iz vrtine Drn-1/89 je pokazala, da prevladujejo neprosojni Fe-minerali, kot so Fe-Ti ilmenit in leukosan (do 70 %), v manjši meri pa so navzoči tudi rutil in titanit, cirkon, turmalin, granat, epidot, coisit, stavrolit, disten, amfibolii, pirokseni in klorit ter magnetit in pirit, ki izvirajo iz magmatskih in metamorfnihih kamnin. V lahki frakciji pa je največji delež kremena (tudi do 70 %) ter podrejeno glinenci in različni sljudnati minerali, pretežno muskovit (Orehek, 1990). Značilna kamnina, oz. prodnik, je temnosivi do črni skrilavi kremenov peščenjak s primesjo sericita in muskovita. Velikost kremenovih zrn je 0.04 do 0.3 milimetra, velikost muskovitnih in sericitnih zrn pa 0.02 do 0.1 milimetra (Trajanova, 2005). Poglavitna značilnost skladovnice Govške formacije na raziskanem ozemlju je prisotnost karbonatnega proda na območju Gorjancev in njegova odsotnost na območju Krškega hribovja. Velikost klastov je prav tako različna; na Gorjancih so ti povprečno večji in ponekod sprijeti s karbonatnim vezivom v konglomerat, posamezni klasti kremena in roženca so veliki tudi več deset centimetrov, na območju Krškega hribovja pa je povprečna velikost klastov le nekaj centimetrov (Tabela 1).

Starost skladovnice na raziskanem ozemlju ni neposredno določena. Po Kuščerju (1967) so v spodnjem delu *govških plasti* v Posavskih gubah peščeni apnenci z lepidociklinami, od katerih je določena vrsta *Lepidocyclina (Eulepidina) elephantina*, ki je po mnenju avtorja spodnjemiocenske (akvitanjske) starosti. Zgornji del skladovnice je sestavljen večinoma iz proda in peska z makrofavno, ki je uvrščena v burdigal, torej je časovni razpon po klasifikaciji neogena iz Panonskega bazena egerij- karpatij. Buser (1979) navaja v zgornjem delu *govških plasti* v Posavskih gubah bogato makrofavno in makrofloro, ki je uvrščena v helvetij (ottnangij – karpatij). Šikić et al. (1979) uvrščajo spodnjemiocensko klastično skladovnico Gorjancev v spodnji helvetij, t. j. v ottangij, na podlagi korelacije s podobnimi sedimenti na Medvednici, kjer ti ležijo pod morskimi sedimenti zgornje helvetijske oz. karpatijske starosti (Šikić, ed., 1995). Po novejših podatkih biostratigrafske analize podobnih sedimentov na Medvednici (Čorić et al., 2009), pripadajo debelozrnati rečni sedimenti spodnjemu ottangiju, drobnozrnati jezerski sedimenti s premogom pa zgornjemu ottangiju in karpatiju.

Na Gorjancih so v prodnati skladovnici pogosti tudi prodniki dobro litificiranega biokalkarenita z velikimi lepidociklinami, med katerimi sta določeni vrsti *Lepidocyclina (Eulepidina) elephantina* (Silvestri) in *Lepidocyclina (Eulepidina) dilatata* (Michelotti), ki sta uvrščeni v zgornji oligocen (chattij) (K. Drobne). Vendar je razpon navedenih foraminifernih vrst nekoliko večji in obsega tudi akvitanij (zgornji egerij). Zato lahko uvrstimo klastično skladovnico raziskanega ozemlja, ki je litološko podobna *govškim plastem* Posavskih gub, v stratigrafski razpon eggenburgij – karpatij, na podlagi korelacije s sosednjimi območji pa ji pripisujemo domnevno ottangijsko starost.

Debelina sedimentov Govške formacije je različna in znaša v povprečju več deset metrov, v vrtini DRN-1/89 pa je njihova debelina 284 metrov (Kranjc et al., 1990).

### **Laška formacija (LF / M<sub>4,5</sub>)**

Ime formacije je povzeto po *laških plasteh* badenijske starosti v Posavskem hribovju (Kuščer, 1967), ki jih sestavljajo *litotamnijski* ali *litavski apnenec* in *laški lapor*. Enake plasti so na severnem pobočju Gorjancev Rižnar et al. (2002) imenovali čateška *formacija*, vendar je tukaj uporabljeno prvotno ime, torej Laška formacija, medtem ko sta Litotamnijski apnenec in Laški lapor opredeljena kot formacijska člena. V Laško formacijo so uvrščene tudi plasti sarmatijske starosti, t. i. *dolske formacije* (Placer, 1999) zaradi njihove litološke podobnosti z badenijskimi, ker jih na terenu ni mogoče vedno makroskopsko razlikovati med seboj.

Kamnine Laške formacije se pojavljajo na celotnem raziskanem ozemlju. Predstavljajo prvo morsko transgresijo Paratetide na območju Krške kotline in ležijo erozijsko-diskordantno na sedimentih in kamninah Govške formacije ali neposredno na predterciarni podlagi. Na splošno je v bazalnem delu Litotamnijski apnenec, v zgornjem pa Laški lapor, ki ponekod v celoti nadomešča Litotamnijski apnenec.

Glede stratigrafske klasifikacije badenijskega dela skladovnice je uporabljena trodelna razdelitev in sicer na spodnji, srednji in zgornji badenij, ki temelji na paleogeografskih spremembah v Centralni Paratetidi in posledičnih paleoekoloških in paleobioloških razmerah. To je biostratigrafska razdelitev na *Legenidno*, *Spiroplectamina* in *Bulimina/Bolivina* foraminiferno cono (Piller et al., 2007). Sarmatijski del skladovnice pa je tukaj obravnavan enotno in uvrščen v Laško formacijo *sensu lato*.

### ***Litotamnijski apnenec (LF / M<sub>4,5</sub> – Lit)***

Litotamnijski apnenec je splošno ime za organogene plitvomorske grebenske apnenec, ki jih gradijo pretežno rdeče alge litotamnije ter briozoji, korale in ostala grebenska favna. To je predvsem srednjezrnati biosparitni apnenec (*packstone*). Njegova barva je bela, svetlo rumena ali rjava (Skaberne et al., 1996).

Litotamnijski apnenec izdanja na južnem pobočju Krškega hribovja in Orlice ter na severnem pobočju Gorjancev. Bazalni del apnenca je masiven do debelo plastovit, pogosto nastopa tudi bazalni konglomerat. Njegova sestava je odvisna od vrste predbadenijske podlage in je zelo heterogena, odraža pa paleogeografsko okolje v času badenijske transgresije. Navzgor sledi v glavnem dobroplastnati apnenec, ki se ponekod menjava s slabo litificiranim karbonatnim peščenjakom. Pri vasi Silovec je v apnencu večja leča karbonatnega peščenjaka z badenijsko mikrofavno, ki potrjuje starost apnenca kot badenijsko.

Litološka sestava (makroskopska določitev) Lithological content (Macroscopic determination)	Formacija / Formation				Aloformacija / Aloformation
	Govška F. / Govce	Laška F. / Laško (1)	Laška F. / Laško (2)	Raka F./ Raka	Globoška Al. / Globoko
	ut. / weight (%)	zbrusek thin section	zbrusek thin section	ut. / weight (%)	ut. / weight (%)
Siv do rdečkast apnenec Grey to reddish limestone	5	> 90	> 90	-	-
Siv in rumenosiv dolomit Grey to yellowish grey dolomite	10	-	-	-	-
Slabo sprejet polimiktni apnenčev peščeni konglomerat in peščenjak Poorly cemented polymictic carbonate sandy conglomerate and sandstone	40	-	-	-	-
Rumenkasto bel in siv muljevec, preperel Yellowish white and grey mudstone, weathered	3	-	-	-	56
Sericitno-kremenovi peščenjaki do meljevci Quartz – sericite sandstones and siltstones	-	-	-	-	12
Siv sljudnat kremenov konglomerat in peščenjak Grey mica – quartz conglomerate and sandstone	3	-	-	3	-
Rdeč karbonatni muljevec Red carbonate mudstone	1	-	-	-	-
Rdeča in zelena predornina Red and green extrusive rock	-	-	-	0,2	0,1
Tuf in tufit Tuff and tuffite	-	-	-	0,2	5
Granitoid, preperel Granitoide, weathered	-	-	-	1	-
Bel trd kremenov konglomerat in peščenjak Grey well-cemented quartz conglomerate and sandstone	-	-	-	-	6
Rdečkasti in sivi kremenovi peščenjaki Reddish and grey quartz sandstones	-	-	-	1	11
Raznobarvni roženci Cherts of different colours	20	-	~2	5	6
Bel, siv, redko rožnat kremen White, grey, and rarely reddish quartz	15	~1	~1	80	4
Limonitizirani drobci Limonitized detritus	-	-	-	0,5	0,1
Kvarcit Quartzite	?1	-	-	7	-
Gnajs Gneiss	-	-	-	4	-
<b>Opombe Notes</b>	Cementiran, redki klasti karbonatnih kamnin / Cemented, rare clasts of carbonate rocks	Močno prevladujejo bioklasti; (ocenjena količina v %) / Prevailing bioclasts (estimated amount in %)		Vzorca brez karbonatnih prodnikov / Samples without carbonate pebbles	

Tabela 1. Litološka sestava neogenskih prodov v Krški kotlini.

Table 1. Lithological content of Neogene gravels in the Krško Basin.



Po mineralni sestavi tvorijo apnenec v glavnem kalcit in podrejeno dolomit; bioklasti so sestavljeni iz kalcita, sparitni in podrejeno mikritni kalcit pa predstavlja vezivo med klasti. Ponekod so v manjši količini (< 1 %) navzoča zrnca kremenca, celotnega netopnega ostanka pa je do pribl. 20 %. Značilnost kamnine je njena velika poroznost; pore dosežejo tudi do 30 % celotne prostornine (Skaberne et al., 1996). V paleogeografskem smislu predstavlja Litotamnijski apnenec priobalni grebenski facies, ki se je s prostorskim in časovnim napredovanjem transgresije generalno širil od vzhoda proti zahodu Krške kotline.

Litološke značilnosti Litotamnijskega apnenca, ki se na južnem robu Gorjancev menjava s karbonatnim peščenjakom, sta podrobno opisala Otoničar in Cimerman (2006). Groboklastično kamnino sta opredelila kot bioklastični *grainstone/packstone* in rodolitni *rudstone*, ki sta se odlagala na globinah 5-70 metrov, drobnozrnato pa kot mikritne resedimente s pelagičnimi foraminiferami, ki so se odlagali na večjih globinah na zunanji strani šelfa.

Starost Litotamnijskega apnenca ni povsod zanesljivo določena. Šikić et al. (1979) navajajo, da je spodnjebadenijske starosti samo na Medvednici, vzhodno od Krške kotline, drugod pa zgornjebadenijske. Glede na to, da so makrofosili znotraj Litotamnijskega apnenca večinoma nedoločljivi, je torej starost na raziskanem ozemlju določena na podlagi foraminiferne mikrofavne.

Pri vasi Silovec, na severnem delu Krške kotline, je v leči karbonatnega peščenjaka določena foraminifera *Uvigerina venusta venusta* Franzén, vodilna za srednji badenij (Škerlj in Mervič, 1994). Pod lečo peščenjaka je v superpozicijskem zaporedju več deset metrov Litotamnijskega apnenca, ki je lahko tudi spodnjebadenijske starosti. V krovni karbonatnega peščenjaka je Litotamnijski apnenec, v katerem so najdene planktonske foraminifere iz biostratigrafske biocone *Orbulina* z vrstami: *Biapertorbis alteconicus* Pokorny, *Cibicides* sp., *Cassidulina carinata* (Terquem), *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob), *Asterigerinata planorbis* (d'Orbigny), *Alabama* sp., *Elphidium crispum* (Linnè), *Elphidium fichtelianum* (d'Orbigny) in *Orbulina* sp., ki obsegajo srednji do zgornji badenij (Jelen & Rifelj, 1999).

Na južnem delu Krške kotline so Rižnar et al. (2002) ločili v badenijsko-sarmatijskih plasteh dva nivoja. Spodnji karbonatni pripada badeniju, zgornji klastični pripada sarmatiju. Po foraminiferni združbi pripada karbonatni del Bulimina-Bolivina bioconi zgornjega badenija, klastični pa bioconi *Elphidium reginum* spodnjega sarmatija. Pri vasi Koritno je v spodnjem karbonatnem delu, ki leži neposredno na predterciarni podlagi, določena fosilna združba plitvega notranjega šelfa, med katero je tudi vodilna vrsta *Pappina parkeri* (Karrer), ki obsega spodnji in zgornji badenij. V zgornjem klastičnem delu skladovnice foraminiferna združba pripada zgornje badenijski bioconi *Pappina neudorfensis* (Rifelj & Jelen, 2003).

V Laški formaciji je prisotna tudi makrofavna, ki je zaradi slabe ohranjenosti v glavnem nedoločljiva. V Litotamnijskem apnencu je v obstoječi literaturi (Šikić et al., 1979) navedena bogata grebenska favna, ki jo predstavljajo briozoji, korale, polži, ježki, školjke in drugi. Med školjkami prevladujejo ostrige, ki ponekod, npr. pri Prilipah, gradijo debele lumakele.

Debelina Litotamnijskega apnenca je različna. Na območju Bizeljskega je ponekod prisotna samo bazalna plast konglomerata, debela 1-2 metra, na kateri leži Laški lapor, ali pa je le ta odložen neposredno na predbadenijsko podlago. Debelina apnenca se veča od vzhoda proti zahodu in doseže do največ 300 metrov. V osrednjem delu Krške kotline leži povsod pod kvartarnimi in mlajšimi neogenskimi sedimenti, vendar je njena debelina prav tako različna, v vrtini DRN-1/89 znaša npr. le 40 metrov (Kranjc et al., 1990).

### *Laški lapor (LF / M<sub>4,5</sub> – Lap)*

V Laški lapor je uvrščena relativno heterogena skladovnica karbonatnih peščenjakov in meljevcev z vložki kalkarenita in kalrudita ter polimiktih breč in konglomeratov badenijsko-sarmatijske starosti. Slednji so izdvojeni v formacijskem smislu kot plasti ali leče. V primerjavi z Litotamnijskim apnencem je to v glavnem facies globljemorskega okolja.

V spodnjem, badenijskem delu zaporedja, prevladujejo rumenorjavi do svetlosivi tankoplastnati, rahlo sprejeti drobnozrnati kalkareniti do kalsiltiti s primesjo nekarbonatne komponente (Skaberne et al., 1996). Na Janževi gori na območju Bizeljskega, je nekaj metrov debel vložek biokalkarenita do

drobnozrnatega polimiktnega konglomerata, ki predstavlja lokalni debritni tok. Prodniki konglomerata so dobro zaobljeni in jih sestavljajo pretežno plitvomorske mezozojske karbonatne kamnine. V gradbeni jami za HE Brežice je bilo v *laporjih* badenijske starosti odkritih več leč ali plasti debelozrnatih sedimentov, ki jih predstavljajo dobro litificirani karbonatni peščenjaki in konglomerati. V vzorcu debrita na prehodu iz badenija v sarmatij, ki je opredeljen kot kalcirudit do kalkarenit, sestavljajo kamnino bioklasti Litotamnjskega apnenca (pribl. 80 %), ki jih predstavljajo različni grebenski fosili badenijske starosti, drugih klastov, med katerimi prevladuje monokristalni kremen je približno 10 %, kalcitni cement pa zajema okoli 10 % kamnine (Trajanova, 2015; Trajanova & Poljak, 2015) (Tabela 1).

Zgornji del skladovnice, ki pripada sarmatiju, je v Krški kotlini še bolj heterogen zaradi večjega nihanja gladine morja in končno morsko regresijo ob koncu sarmatija. Prevladujejo kamnine, ki jih običajno imenujemo *laporji*, sedimentološko so to sivi tankoplastnati do skrilavi karbonatni melji in meljevci. Pogosti so vložki kalkakarenita s presedimentirano badenijsko favno, nato karbonatnega do kremenovega peščenjaka ter polimiktnega konglomerata. V gradbeni jami za HE Brežice je bilo v sarmatijskem delu skladovnice odkritih več debritnih plasti, ki so litološko skoraj enake tistim iz badenijskega dela skladovnice (Trajanova, 2015). Med plastmi konglomerata se na meji med badenijem in sarmatijem pojavljajo tudi tanke (do največ 5 centimetrov) plasti rjavega premoga, ki lahko nastopajo tudi kot klasti.

Starost Laškega laporja je določena na podlagi foraminiferne mikrofavne, ki pripada spodnjemu, srednjemu in zgornjemu badeniju ter sarmatiju.

Na severnem delu Krške kotline severno od Bizeljskega je v karbonatnem meljevcu, ki leži neposredno na predterciarni podlagi, najdena karpatijsko-spodnjebadenijska planktonska foraminifera *Globigerinoides bisphericus* Todd in spodnjebadenijska *Globorotalia (Fohsella) peripheronda* Blow & Banner ter druge. Zgornjebadenijska foraminiferna združba je ugotovljena v zgornjem delu profila nad kalkarenitno plastjo na Janževi gori, z vodilno vrsto *Pappina neudorfensis* (Tuola). Poleg te je najdena še vrsta *Elphidium hauernum* (d'Orbigny), ki kaže na stratigrafsko bližino sarmatija (Rifelj & Jelen, 2000).

Na Gorjancih pri Podbočju je v karbonatnem meljevcu, ki leži na Litotamnjskem apnencu, najdena med drugimi tudi foraminifera *Pappina neudorfensis* (Tuola), ki je vodilna za zgornji badenij (Škerlj & Mervič, 1994). Bogata foraminiferna združba iz *Bulimina/Bolivina* biocone, ki pripada zgornjemu badeniju, je najdena tudi v gradbeni jami za HE Brežice (Miknić & Hajek-Tadesse, 2014). V profilu pri Beli Cerkvi, zahodno od raziskanega ozemlja, je najdena tudi bogata združba kremenitnih alg, ki pripadajo zgornjemu badeniju in sarmatiju (Horvat, 2004; Horvat et al., 2010).

Pri Raki, na severnem delu Krške kotline, so v Laškem laporju (karbonatni meljevec), ki leži na Litotamnjskem apnencu, najdene foraminifere *Elphidium hauernum* (d'Orbigny), *Elphidium grilli* (Papp), *Elphidium flexuosum* (d'Orbigny), *Elphidium josephinum* (d'Orbigny) in *Prosonion granosum* (d'Orbigny), ki pripadajo sarmatiju (Rifelj, 2001).

Na območju Bizeljskega so v karbonatnih meljevcih, ki ležijo v neposredni talnini panonijskih plasti, najdene sarmatijske foraminifere *Nonion tumidulus* Pishvanova, *Nonion bogdanowiczi* Voloshinova, *Elphidium joukovi* Serova, *Elphidium grilli* Papp, *Protoelphidium ? serenus* (Venglinški), *Fissurina cf. mironovi* (Bogdanowicz), *Articulina* sp. in forma *Semseya lamellata* Franzenau (Miknić in Hajek-Tadesse, 2014). V gradbeni jami za HE Brežice so v plasteh sivega karbonatnega meljevca, ki leži na peščenjakih in konglomeratih, določene foraminifere iz *Anomalinoidea dividens* biocone, ki pripadajo spodnjem sarmatiju (Miknić & Hajek-Tadesse, 2014). Poleg njih so prisotni še sarmatijski ostrakodi ter številni fragmenti alg, briozojev, ježkov, koral in školjk, ki so presedimentirani iz predsarmatijske podlage. Školjke predstavljajo predvsem bioklaste v lokalnih debritnih plasteh.

V južnem delu Krške kotline pri Kostanjevici so v sivem karbonatnem meljevcu, ki leži na Litotamnjskem apnencu, ugotovljene vodilne sarmatijske foraminifere iz rodu *Elphidium* in sicer vrste: *Elphidium aculeatum* (d'Orbigny), *Elphidium antoninum* (d'Orbigny), *Elphidium josephinum* (d'Orbigny), *Elphidium joukovi* (Serova), *Elphidium hauernum* (d'Orbigny) (Rifelj, 2012).

V Laškem laporju badenijsko-sarmatijske starosti je pri gradnji dolenske avtoceste pri Beli Cerkvi v karbonatnem meljevcu sarmatijske starosti najdena tudi bogata makrofavna in makroflora, ki sta jo podrobno opisala Horvat in Mikuš (2003), Horvat (2004) in Horvat et al. (2010). V diatomitu sarmatijske

starosti na isti lokaciji so najdena tudi vretenca delfina iz rodu *Champsodelphis* ali *Acrodelphis* (Mikuž, 2003). Fosilni ostanki delfina vrste *Champsodelphis ? carnolicus* so najdeni tudi na Janževi gori severno od Bizeljskega (Mikuž, 2005).

V vrtini DRN-1/99 pripada Laškemu laporju skladovnica v globinskem intervalu od 580 do 650 metrov, ki je opredeljena kot karbonatni meljevec in meljasti lapor (Skaberne, 1990) v katerem je najdena sarmatijska foraminiferna mikrofavna, in sicer: *Ammonia beccarii* (Linné), *Elphidium crispum* (Linné), *Elphidium fichtelianum* (d'Orbigny), *Asterigerinata planorbis* (d'Orbigny) in druge (Mervič, 1990).

Debelina celotne skladovnice Laškega laporja je skoraj enaka debelini Litotamnjskega apnenca in znaša največ 300 metrov.

### Posavska grupa formacij

V Posavsko grupo ali skupino formacij so uvrščene sorodne, vendar med seboj različne litostratigrafske enote panonijsko- pontijske starosti, ki predstavljajo sedimente Panonskega bazena, oz. jezera *sensu stricto*. Najbolje so odkrite na območju Posavskega hribovja, po katerem je skupina tudi imenovana. Formacijsko ime je bilo prvič uporabljeno v študiji glinastih sedimentov Slovenije (Bavec, M., ed. 2004), vendar kot enotna formacija z več členi, ki so tukaj opredeljeni kot posamezne formacije. Te zajemajo brakične do jezerske sedimente zahodnega roba Panonskega bazena, ki so zaradi svojega proksimalnega položaja v primerjavi glede na njihov osrednji del, bolj heterogeni in nekoliko različni od klasičnih iz osrednjega dela Panonskega bazena in zato posebej imenovani.

Starejša razdelitev na stopnje in podstopnje mlajšega neogena Panonskega bazena je izdelana v glavnem na podlagi makrofavne, po kateri so npr. panonijske plasti imenovane kot *spodnje kongerijske* (po školjki rodu *Congerina*), pontijske pa kot *zgornje kongerijske* (Hornes, 1870). Poznejše razdelitve na območju Panonskega bazena so prav tako biostratigrafske, tako da se panonijski sedimenti delijo npr. na *croatica* (po polžu *Radix croatica*) in *banatica* (po školjki *Congerina banatica*), pontijski pa na *abichi* (po školjki *Paradachna abichi*) in *rhomboidea* (po školjki *Congerina rhomboidea*) plasti (Jenko, 1944; Ožegović, 1944). Ta razdelitev je bila uporabljena tudi na Osnovni geološki karti SFRJ, list Zagreb (Šikić et al., 1978; 1979). Na Geološki karti Krške kotline je biostratigrafska opredelitev panonijsko-pontijskih plasti, zaradi relativno redkih najdb makrofavne, narejena predvsem na podlagi ostrakodne mikrofavne (Škerlj & Mervič, 1994; 1995; Hajek-Tasesse, 2007a; 2007b; Miknić & Hajek-Tadesse, 2014). Pri tem je treba omeniti še, da se v najnovejših stratigrafskih klasifikacijah oziroma njihovih predlogih, uvršča pontij v panonij *sensu lato* (npr. Piller et al., 2007), kar je na raziskanem ozemlju uporabljeno le v najnovejšem članku Vesel-Lukič et al. (2014).

Posavska grupa formacij je razdeljena na formacije in člene, ki so: Drnovska formacija, Bizeljska formacija in Raška formacija z Globoškim členom. Vse so določene glede na njihovo litološko sestavo in terensko prepoznavnost.

### Drnovska formacija (DRF / M<sub>6,7</sub>)

V Drnovsko formacijo so uvrščeni laporji panonijske in pontijske starosti. Ti ležijo normalno na plasteh sarmatijske starosti, ali transgresijsko na badenijskih plasteh, ponekod pa tudi neposredno na pred-terciarni podlagi. Izdanjajo v glavnem na južnem pobočju Orlice in Krškega hribovja. Formacija je novo imenovana, in sicer po vasi Drnovo pri Krškem, kjer je globoka vrtina DRN-1/89 (Kranjc et al., 1990) prevrtila celotno panonijsko-pontijsko skladovnico, skupaj z njeno talnino in krovino.

Na terenu je zaradi lastnosti sedimenta da hitro prepereva, neposredni stik sedimentov Drnovske formacije z njeno normalno podlago največkrat zakrit. Večinoma ležijo na Laškem laporju ali na Litotamnjskem apnencu Laške formacije, pri Pišecah pa neposredno na mezozojski podlagi (formacija Gora). Pri konkordantnem zaporedju sarmatijskih in spodnjepanonijskih plasti gre za regresijsko lego sladkovodnih sedimentov Panonskega jezera na morsko-brakičnih sedimentih posameznih delov Paratetide. Pri stiku zgornjepanonijskih plasti z njihovo pred-terciarno podlago pa ležijo jezerski sedimenti neposredno na podlagi nakdanjega kopna. Zaradi tega je Drnovska formacija na Geološki karti Krške kotline v celoti označena s transgresijsko- ingresijskim stikom glede na starejše plasti.

V bazalnem delu Drnovske skladovnice je v večjem delu nekaj metrov debela plast svetlorumenega do svetlorjavega tanko plastnatega do skrilavega karbonatnega meljevca. Navzgor sledi sivi neplastnati do plastnati slabo sprijeti sediment, ki ga makroskopsko običajno opisujemo kot *lapor*. Po sedimentni klasifikaciji je to sicer dolomitno-kalcitni melj do meljevec (Skaberne et al., 1996). Značilnost tega sedimenta je velika količina netopnega ostanka (pribl. 70 %), ki ga sestavljajo v glavnem minerali glin in kremen, ki prevladuje nad karbonatno komponento. Na splošno se v stratigrafskem zaporedju od spodnjega dela skladovnice proti zgornjemu povečuje količina kremen in se ponekod v zgornjih plasteh Drnovske formacije pojavljajo tanke plasti ali leče kremenovega peska, centimetrskih do decimetrskih dimenzij. Zahodno od Krške kotline, v Hrvaškem Zagorju, je menjavanje karbonatnega meljevca in kremenovega peska bolj izrazito. Skladovnico, ki je sestavljena iz menjavanja peska, melja, *laporja* in gline zgornjapanonijske starosti, je Pikija (1982) pri mestu Lobor opredelil kot turbiditno, kjer so paleo-turbiditni tokovi pretežno usmerjeni proti vzhodu do jugovzhodu.

Starost Drnovske formacije je panonijska in delno pontijska. Šikić et al. (1978; 1979) uvrščajo v spodnji panonij *glinaste* in *peščene laporje* Krške kotline, in sicer na podlagi vrst polžev iz rodu *Melanopsis*, ki po navedbah avtorjev označujejo nemirni rob močno oslajenega Panonskega jezera, v zgornji panonij pa različne vrste *laporjev* z več vrstami iz rodu *Melanopsis* in *Congerina* ter z vodilno vrsto *Congerina banatica*, ki predstavljajo sediment kaspibrakičnega okolja.

Starost Drnovske formacije je glede na relativno redke najdbe in slabo ohranjenost makrofavne in makroflora, na Geološki karti Krške kotline določena na podlagi ostrakodne mikrofavne.

Pri Pavlovi vasi, na južnem pobočju Orlice, sta Stevanović in Škerlj (1985) določila ostrakodne vrste *Herpetocyprilla auriculata* (Reuss), *Candona* (*Candona*) cf. *postsarmatica* Krstić, *Leptocythere* (*Amnicocythere*) Krstić, *Paralimnocythere tenera* Sokač, *Loxococoncha porosa* Méhes in druge ter jih uvrstila v spodnji panonij. Pri vasi Pleterje pri Vidmu navajata ista avtorja najdbo vrst *Amplocypris recta* (Reuss), *Amplocypris acuta* Krstić., *Amplocypris* cf. *firmus* Krstić., *Candona* (*Serbiella*) cf. *prochazkai* Pokorný, *Cyprideis* cf. *major* Kollmann, *Cyprideis* cf. *triebeli* Krstić in *Candona* (*Caspiolla*) sp. ter jih uvrščata v prehodne spodnje- do zgornjapanonijske plasti. Oba profila sta v bližini stika s talninskim Laškim laporjem oz. Litotamnijskim apnencem.

Južno od Rake sta Škerlj in Mervič (1994) določila vrste *Candona* (*Propontiella*) cf. *croatica*, Sokač, *Leptocythere* (*Amnicocythere*) aff. *pseudoelderica* Stančeva, *Loxococoncha* aff. *porosa* (Méhes), *Candona* (*Thaminocypris*) cf. *transilvanica* (Hejjas) in druge ter jih uvrstila v spodnji panonij.

Pri vasi Pleterje pri Krškem so bile določene, ravno tako spodnjepanonijske vrste in sicer: *Amplocypris recta* (Reuss), *Amplocypris* cf. *acuta* Krstić, *Hemicytheria* cf. *foliculosa* (Reuss), *Hemicytheria* aff. *ampulata* (Méhes), *Loxococoncha hodonica* Pokorný, *Loxococoncha granifera* (Reuss), *Loxococoncha kochi* Méhes, *Loxococoncha rhombovalis* Pokorný, *Cyprideis* cf. *major* (Kollman), in druge (Škerlj & Mervič, 1994).

V vrtini DRN-1/89 v osrednjem delu Krške kotline, je Škerlj (1990) določila v spodnjem delu *lapornate* skladovnice (interval od 550 do 570 metrov) ostrakode *Herpetocyprilla auriculata* (Reuss), *Candona* (*Propontiella*) *croatica* (Sokač) in *Candona* (*Propontiella*) sp. in jih uvrstila prav tako v spodnji panonij.

Zgornjepanonijske ostrakodne vrste so določene na severnem in južnem delu Krške kotline. Na severnem delu so južno od Rake, na območju Zdol in pri Silovcu, ostrakodi določeni iz *laporjev*. To so vrste *Herpetocyprilla ungarocypris hieroglyphica* (Méhes), *Candona* (*Serbiella*) *unguiculus* (Reuss), *Candona* (*Serbiella*) *prochazkai* Pokorný, *Candona* (*Lineocypris*) *reticulata* (Méhes), *Candona* (*Lineocypris*) cf. *fahri- oni* Turnovsky, *Candona* (*Lineocypris*) *hodonensis* Pokorný, *Hemicytheria croatica* Sokač, *Hemicytheria pannonica* Sokač, *Hemicytheria marginata* Sokač, *Cyprideis longa* Krstić, *Cyprideis obesa* (Reuss), *Cyprideis spinosa* Sokač in *Loxococoncha* ex gr. *sbrugosa* Zalányi (Škerlj & Mervič, 1994). Na južnem delu Krške kotline so zgornjepanonijski ostrakodi določeni iz *laporjev* v ježi Brežiške terase pri Brežicah. To so vrste: *Amplocypris abscissa* (Reuss), *Hemicytheria reticulata* Sokač, *Cyprideis heterostigma obesa* (Reuss), *Candona* cf. *milinkae* Krstić, *Candona* (*Lineocypris*) cf. *hodonensis* Pokorný, *Candona* (*Propontiella*) cf. *candeo* Krstić in *Candona* (*Typhlocypris*) sp., ki so opredeljene kot zgornjepanonijske (Hajek-Tadesse, 2007b).

Na paleontološkem profilu Bizeljsko so v plasteh, ki ležijo neposredno na sarmatijskih, določene med drugimi tudi ostrakodne vrste *Herpetocyprilla hieroglyphica* (Méhes), *Hungarocypris* cf. *marginata* (Zalányi), *Amplocypris* cf. *abscisa* (Reuss), *Amplocypris* cf. *angulata* (Zalányi), *Loxococoncha porosa* (Méhes),

*Candona (Pontoniella) acuminata* (Zalányi), *Candona (Lineocypris) hodonensis* Pokorný in druge, ki pripadajo zgornjemu panoniju (Hajek-Tadesse, 2007a). Vendar je v skladu z že omenjeno novo biostratigrafsko klasifikacijo ista ostrakodna združba kasneje uvrščena v spodnji panonij, torej panonij *sensu lato* (Vesel-Lukič et al., 2014), pri čemer še vedno manjkajo ostrakodne vrste, značilne za spodnji del panonija (Hajek-Tadesse, 2015).

Zgornjemu panoniju v vrtini DRN-1/89 pripadajo vrste iz globine 380 metrov in sicer: *Herpetocyptella hieroglyphica*, *Candona (Serbiella) unguiculatus*, *Candona (Lineocypris) reticulata*, *Cyprideis longa* in dr. (Škerlj, 1990). Po litoloških značilnostih lahko v Drnovsko formacijo uvrstimo tudi globinski interval od 380 do 195 metrov. V tem intervalu je povečana vsebnost kremenovega peska, vendar je to še vedno karbonatni melj, ki je opisan kot »siv zelo meljast lapor« (Skaberne, 1990). V vzorcu iz globine 296 do 259 metrov so določene ostrakodne vrste, *Herpetocyptella hieroglyphica*, *Candona (Lineocypris) hodonensis*, *Hemicytheria marginata*, *Hemicytheria dubokensis*, *Hemicytheria cf. croatica*, in *Cyprideis aff. macrostigma*, ki so uvrščene v spodnji pontij (Škerlj, 1990).

Na območju Rake v zahodnem delu Krškega hribovja se *laporji* Drnovske formacije prav tako nadaljujejo tudi v pontij. Iz njih so bile določene ostrakodne vrste *Candona (Lineocypris) aff. trapezidea* (Zalányi), *Candona (Thaminocypris) aff. alta* (Zalányi), *Candona (Hastacandona) aff. lotzyi* (Zalányi), *Hemicytheria marginata* Sokač, *Hemicytheria ex gr. josephinae* (Zalányi), *Cyprideis* sp. juv. (*Cyprideis ? triangulata* Krstić) in *Loxconcha* sp. juv. (*Loxconcha ? cumsacui* Krstić), ki so na splošno značilne za pontij (Škerlj in Mervič, 1994).

Debelina panonijskega dela Drnovske formacije znaša do 300 metrov, debelina njenega pontijskega dela v vrtini Drnovo-1/89 pa dodatnih 200 metrov.

### **Bizeljska formacija (BZF / M<sub>7</sub><sup>1,2</sup>)**

Bizeljska formacija je novo imenovana litostratigrafska enota pontijske starosti, ki leži konkordantno na Drnovski formaciji. Sestavljena je iz menjavanja *laporja*, oz. karbonatnega meljevca in kremenovega peska. Spodnja meja formacije je umeščena na prvo peščeno plast v *laporju*, zgornjo mejo pa označuje homogena peščena serija naslednje formacije Raka, v kateri se *laporji* pojavljajo le izjemoma.

Sedimenti Bizeljske formacije gradijo obsežen del ozemlja na širšem območju Bizeljskega v vzhodnem delu Krške kotline, medtem ko v njenem osrednjem in zahodnem delu ni prisotna. Celotna skladovnica je sestavljena iz nepravilnega menjavanja *laporja* in peska, pri čemer je debelina obeh v poprečju nekaj decimetrov. Le izjemoma so navzoče tudi tanke plasti debeline nekaj centimetrov. Mineraloška sestava *laporja* in peska je enaka tisti iz formacije Drnovo in Raka. V peskokopu Bizeljsko je določena naslednja mineralna sestava peska: kremen 68,7 %, muskovit 7,9 %, albit 7,4 %, dolomit 3,8 %, kalcit 3,5 %, granat 3,5 %, limonit 1,5 %, rutil 0,8 %, epidot 0,6 % in pirit 0,4 %. Mineralna sestava *laporja* je podobna, z izjemo karbonatne komponente, in sicer: kalcit 25- 30 %, muskovit 20- 30 %, kremen 15- 25 %, klorit 20 %, dolomit 10 % in pirit 0,1- 0,35 % (Lapajne, V., 1976).

V zgornjem delu skladovnice se pojavljajo tudi redke plasti ali leče proda debeline nekaj deset decimetrov, ki predstavljajo sediment debritnega toka. Prod je v celoti nesprijet, prodniki so dobro zaobljeni, njihov premer znaša v povprečju 1 centimeter. Sestojijo se pretežno iz magmatskih in metamorfnih kamnin, ki ustrezajo kamninski sestavi Vzhodnih Alp (Trajanova, 2006) (Tabela 1).

V celotni skladovnici se pojavljajo tudi tanjše plasti ali leče (konkrecije) sprijetega kremenovega peščenjaka. Klastična zrna kamnine predstavljajo kremen, glinenci, kalcit, podrejeno dolomit, muskovit, biotit, klorit, epidot, granat in drugi. Litični drobcji pa so roženec, sericitni skrilavec/filit, kloritni skrilavec/filit, apnenec, dolomit, kvarcit, serpentinit, gnajs in drugi. Vezivo je mikrosparitni do sparitni kalcit avtigenega izvora. Torej je izvor drobnozrnatega materiala isti kot zgoraj navedenega proda in sicer magmatsko-metamorfni kompleks Vzhodnih Alp, vendar s primesjo karbonatnih kamnin (M. Trajanova). Posamezne plasti peska kažejo znamenja sinsedimentacijskih zdrsov (*slump*), kar v povezavi s pogostimi plastmi, ki vsebujejo *rip-up* klaste *laporja* umešča celotno skladovnico Bizeljske formacije v čelo deltne ravnice (*delta front*) proti njenemu pregibu v globlji del sedimentacijskega bazena (npr. Béreczi, 1988).



Kronostratigrafska pripadnost plasti, ki so ekvivalent Bizeljske formacije in ki pripadajo pontijskemu katu, je na obstoječi geološki karti (Šikić et al., 1979) določena na podlagi makrofavne in ostrakodne mikrofavne. Med spodnjepontijsko makrofavno navajajo avtorji več vrst školjk iz rodov *Paradachna* in *Congeria* z vodilno vrsto *Paradachna abichi*, med ostrakodi pa vrste *Cyprideis macrostigma*, *Amplocypris reticulata*, *Candona (Caspiocypris) alta* in *Candona (Campiocypris) balcanica*. Zgornjepontijska vrsta je *Congeria rhomboidea*, ostrakodne vrste iste starosti so *Cyprideis seminulum*, *Hemicytheria pejinovicensis*, *Candona (Pontoniella) acuminata* in *Candona (Caspiolla) flectimarginata*.

Pontijska starost Bizeljske formacije je na Geološki karti Krške kotline določena z ostrakodno mikrofavno.

Pri Dobovi so v ježi Brežiške terase določene naslednje vrste: *Candona (Zalanyiella) cf. venusta* (Zalányi), *Candona (Thaminocypris) cf. sublabiata* Krstić, *Hemicytheria dubokensis* Krstić in *Cyprideis* sp. juv. (*Cyprideis ? triangulata* Krstić), ki označujejo prehod iz zgornjega panonija v spodnji pontij (Škerlj & Mervič, 1994).

Na paleontološkem profilu Bizeljsko je v Bizeljski skladovnici ugotovljena bogata ostrakodna združba, ki pripada spodnjemu in zgornjemu pontiju (Hajek–Tadesse, 2007a). Spodnji pontij določajo vrste *Candona (Reticulocandona) elongata* (Oltenu), *Hemicytheria marginata* Sokač, *Amplocypris cf. reticulata* (Zalányi), *Bacunella abhazica* Vekula, *Laptocythere naca* (Méhes) in druge. Zgornjemu panoniju pripadajo vrste: *Herpeocyrella pannonica* (Zalányi), *Hemicytheria croatica* Sokač, *Candona (Campiocypris) acuta* Sokač, *Loxoconcha schweyeri* Suzin, *Bacunella cf. abhazica* Vekula, *Bacunella cf. dorsoarcuata* (Zalányi), *Candona (Lineocypris) trapezoidea* (Zalányi), *Candona (Lineocypris) hodonensis* Pokorný, *Candona (Lineocypris) granulosa* Zalányi, *Candona (Typhlocypris) centropunctata* (Suzin), *Candona (Caspiocypris) labiata* Zalányi, *Candona (Caspiocypris) pontica* Sokač, *Cyprideis triangulata* Krstić in druge.

V vrtini DRN-1/89 pripadajo domnevno Bizeljski skladovnici plasti v globinskem intervalu od 195 do 50 metrov. Sestojijo se iz »sive meljaste gline« (Skaberne 1990), starost je določena na podlagi ostrakodne mikrofavne. Vzorec iz globine 194 do 197 metrov z vrstami *Candona (Lineocypris) zagrebiensis*, *Amplocypris dorsobrevis* in *Hemicytheria josephinae* pripada spodnjemu delu zgornjega pontija (Škerlj, 1990). Glede na to, da najvišji interval zaporedja v globini od 195 do 48 metrov ni vzorčevan in analiziran, litološko pa je podoben spodnjemu intervalu, lahko domnevamo, da tudi ta pripada Bizeljski formaciji in obsega zgornji pontij.

Največja debelina Bizeljske formacije je razvita na širšem območju Bizeljskega, kjer znaša do 800 metrov. V zahodnem delu Krške kotline Bizeljsko formacijo v celoti nadomešča kondenzirana skladovnica *laporjev* in *peščenih laporjev* Drnovske formacije.

### **Formacija Raka (RF / M<sub>7</sub><sup>2</sup>)**

Formacija Raka je novo imenovana litostratigrafska enota, ki je sestavljena skoraj v celoti iz kremenovega peska. Spodnja meja formacije je postavljena tam, kjer se začne homogena skladovnica peska brez *lapornatih* plasti; te se pojavljajo samo lokalno kot manjše in tanjše leče v zgornjem delu peščene skladovnice. V krovni formacije ležijo diskordantno odloženi sedimenti aloformacije Globoko pliocensko-pleistocenske starosti. Sedimenti formacije Raka so prisotni na celotnem območju Krške kotline, v njenem osrednjem delu, pokritem s kvartarnimi sedimenti (*Drnovski prag* – Kranjc et al., 1990), pa so domnevno erodirane. Stratigrafsko pripadajo zgornjemu delu zgornjega pontija, oz. zgornjemu delu *rhomboidea* plasti.

Po litološki sestavi so sedimenti formacije Raka sestavljeni iz skoraj čistega (do 99 %) kremenovega peska z majhno primesjo drugih mineralov. Po mineraloški sestavi sedimenta v peskopopu Raka je to skoraj čisti (98.65 %) kremenov pesek, velikosti zrn pod 1 mm, primesi pa kemično predstavljajo: SiO<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>3</sub>, CaO, MgO in dr. (Šolar, 1990). Od sestave in količine primesi je odvisna tudi barva peska, ki se spreminja od bele preko rumene in rjave, do rdeče.

Med peskom se pojavljajo tudi tanke nepravilne plasti oksidirane drobnozrnatega glinastega materiala, kar kaže na plitvomorsko ali površinsko oksidacijo železnih mineralov v sedimentu. V povezavi z močvirsko-jezerskim faciesom premogovne kadunje v Globokem lahko povezujemo sedimente Bizeljske formacije s prostrano deltno ravnico (*delta plain*).

Starost zgornje pontijske peščene skladovnice je na obstoječih geoloških kartah (npr. Šikić et al., 1978; 1979) določena v glavnem na podlagi makrofavne. Od nje so vodilne posamezne vrste školjk iz rodu *Congeria*, *Limnocardium* in dr. Glede na to, da je v peskih Raka formacije makrofavna redka, je tukaj njena kronostratigrafska umestitev določena po ostrakodni mikrofavni.

Na paleontološkem profilu Bizeljsko je v peskih in *lapornatih* vložkih najdena bogata ostrakodna združba, ki je vodilna za zgornji pontij, med drugimi tudi vrste *Candona (Hastacandona) lotzy* (Zalányi), *Candona (Camptocypria) flectimarginata* Sokač in *Cyprideis triangulata* Krstić, ki so značilne za končno obdobje pontija. V vložkih karbonatnega meljevca (*laporja*) v zgornjem delu peščene skladovnice so najdene ostrakodne vrste *Candona (Hastacandona) lotzyi* (Zalányi) in *Candona (Hastacandona) histerica* Krstić ter druge, ki se ne pojavljajo v spodnjem delu profila in ki so značilne samo za zaključni del zgornjega pontija (Hajek-Tadesse, 2007a).

Debelina Formacije Raka znaša največ 500 metrov.

### Člen Globoko (RF / M<sub>7</sub><sup>2</sup> – Gb)

Na širšem območju vasi Globoko je v najvišjem delu pontijskih plasti prisotna obsežna leča proda, peska, melja in gline z rjavim premogom. Te plasti sta Stevanović in Škerlj (1985) imenovala *Globoko serija*, medtem ko so tu opredeljene kot člen Globoko znotraj formacije Raka.

Rjavi premog ali lignit so s pomočjo podzemnih rogov intenzivno izkoriščali v 19. in v prvi polovici 20. st., danes pa je premogovnik opuščen. Podatki o raziskavah in izkoriščanju premoga so zbrani v številnih internih poročilih, ki sta jih objavila Markič in Rokavec leta 2002. Izsledki raziskav so pokazali, da premogovno serijo sestavljajo tri glavne skupine lignitnih plasti, med katerimi se po zrnavosti menjavajo gline, melji in peski ter manjši delež drobno zrnatega proda silikatne sestave. Zaporedje opisanih sedimentov kaže na sin-sedimentacijsko tektonsko aktivnost ozemlja in posledično ciklično sedimentacijo. V talnini premogovne serije so meljasti in peščeni *laporji*, v krovni pa kremenov pesek. Skladovnica se konča z debelo plastjo peščene ilovice debeline tudi do 10 metrov, ki je označena kot pokopana fosilna tla. Celotna premogovna serija je prekrita z diskordantno odloženim prodom in peskom aloformacije Globoko.

Na območju Globokega so poleg premoga izkoriščali tudi glino in pesek (Rokavec & Mirtič, 1997a; 1997b; Štern & Lapajne, V., 1973, in dr.). Pesek je iste mineralne in kemične sestave kot v peskokopu Ravno in je sestavljen skoraj iz samega (97 %) kremenca. Glina je glede na uporabnost opredeljena kot opekarska in lončarska. Po mineralni sestavi se razlikujeta po deležu kremenca, ki znaša od 20 do 60 %, glinenci pa so: montmorilonit, albit in mikroklin (Markič & Rokavec, 2002).

Starost premogovne skladovnice je določena glede na školjčno makrofavno in ostrakodno mikrofavno. Po paleontoloških analizah jeder vrtin (Stevanović & Škerlj, 1985) se združba školjk spreminja od spodnjega brakičnega dela serije, ker prevladujejo vrste rodu *Congeria*, proti zgornjemu delu, kjer se pojavljajo vrste iz rodu *Dreissena*, ki označujejo povsem sladkovodno okolje sedimentacije. Podobno zaporedje je opazno tudi pri ostrakodih, kjer so v spodnjem delu serije navzoče vrste, značilne za brakično, v zgornjem pa za sladkovodno okolje. Pri tem so navedene vrste: *Candona (Serbiella) sp.*, *Candona (Caspiolla) cf. flectimarginata* Sokač, *Candona (Thaminocypris) alta*, *Candona (Bacunella) sp.*, *Hemichyteria cf. josephinae*, *Cyprideis triangulata* Krstić, *Amplocypris dorsobrevis* Sokač in druge (Stevanović & Škerlj, 1985). Vse navedene paleontološke določitve kažejo na zgornjepontijsko, (portaferrijsko) starost skladovnice.

Največja debelina Globoškega člena je ocenjena na 250 metrov.

## Aloformacije kvartarne starosti

Določitev aloformacij kvartarne starosti temelji na njihovi terenski prepoznavnosti, ki vključuje prostorski položaj, sestavo in genezo. Najstarejši sedimenti kvartarne, in verjetno tudi pliocenske starosti so t.i. *pliokvartarni sedimenti*, ki predstavljajo aluvialni nanos prostranega rečnega toka, za katerega uporabljamo delovni naziv *Paleo-Sava*. Ti so opredeljeni kot posebna aloformacija. Sedimenti, ki jih zanesljivo povezujemo z določenimi rekami v Krški kotlini, in so kvartarne starosti, so fosilni in recentni sedimenti Save, Krke in Sotle. Ti so združeni v eno alogrupo, koluvialno-proluvialni in jezerski sedimenti območja Dobrave pa so opredeljeni kot posebna aloformacija. Alostratigrafska klasifikacija je v skladu z navodili NACSN (1983) in Hughes-a (2010). Pri imenovanju aloformacij so upoštevani nekoliko modificirani prvotni nazivi, ki jih je uvedel Verbič (1995). Tla, ki so razvita na posameznih aloformacijah, oz. njihovih členih, so opredeljena kot enotne pedostratigrafske enote brez njihove nadaljne razčlenitve. Na geološki karti so označena zaradi njihove večje debeline.

### Aloformacija Globoko (AFGB / PI,Q)

Termin *Globoko serija* sta prva uporabila Stevanović in Škerlj (1985) za premogovno serijo pontijske starosti pri Globokem, ki sta jo uvrstila v portefarrij. Naziv *Globoko aloformacija* je uporabil Verbič (1995; 2004, 2005; 2008) za t. i. *pliokvartarne sedimente*, ki so na Osnovni geološki karti 1 : 100 000, list Zagreb (Šikić et al., 1979) opredeljeni kot lateralni ekvivalent t. i. *paludinskih plasti* Panonskega bazena, ki so pliocenske (dacijsko-romanijske) starosti z mogočim prehodom v pleistocen.

Sedimenti Globoške aloformacije so glede na njihov nastanek predvsem rečni. Povezani so s paleotokom reke Save. Ohranjeni so na celotnem obrobju Krške kotline, kjer ležijo erozijsko-diskordantno na različnih kamninah mezozojske in kenozojske starosti, v njenem osrednjem delu pa so v največji meri erodirani z mlajšimi kvartarnimi rečnimi zasipi. Poleg posameznih izoliranih izdankov na višjih delih Gorjancev, Orlice in Krškega hribovja, je glavni del Globoške aloformacije, ki obsega nižje dele ozemlja, zgrajen iz več teras, ki so opredeljene kot alomorfočleni. Na povprečnih višinah 225, 200 in 180 metrov so prepoznavni trije glavni terasni nivoji.

Osnovna litološka značilnost globoškega rečnega zasipa oziroma Aloformacije Globoko, je silikatna oz. nekarbonatna sestava proda in peska, ki pretežno odraža kamninsko sestavo Južnih Alp in Dinaridov Slovenije, vendar brez karbonatnih prodnikov.

### Alo- litočlen Prod (AFGB / PI,Q - pr)

Ta člen zajema izolirane izdanke nekarbonatnega proda na Gorjancih, Orlici in v Krškem hribovju. Najvišje ležeči izdanki so na Gorjancih pri Vinjem vrhu, na Orlici, na območju Oklukove gore in v Krškem hribovju pri Ravneh. Na vseh mestih je stik proda z njihovo podlago na približno enaki nadmorski višini 330 metrov. Na prvih dveh lokacijah znaša debelina proda nekaj metrov, tretja lokacija pa je morfološka erozijska terasa, kjer se prod pojavlja v obliki redkih drobnih prodnikov, v glavnem belega kremena in temnega roženca. Površina terase pri Ravneh je pokrita z gruščem kamnin Velikotranske formacije.

Po petrografski sestavi je prod sestavljen v celoti iz silikatnega proda in peska paleozojskih in mezozojskih kamnin, značilnih za Južne Alpe in Dinaride Slovenije. V dokaj enakomernem razmerju so na hribu Libna nad Vidmom zastopani prodniki permskega rdečega peščenjaka in sivega kremenovega konglomerata, različnih mezozojskih muljevcev in rožencev ter zelenega oligocenskega tufa in tufita (Trajanova, 1998; 2006; 2011c) (Tabela 1). Taka sestava je bolj ali manj enotna za celotno Globoško aloformacijo. Ponekod je večja vsebnost lokalnega materiala, kot so različni tipi roženca, ki izvirajo iz koluvija globokomorskih mezozojskih kamnin, pretežno iz Izvirske in Biancone formacije. Odsotnost karbonatnega proda lahko v večji meri razlagamo z raztapljanjem karbonatne komponente v času pleistocenskih interglacialov in interstadialov, kar je značilno za glacialna in periglacialna območja tudi v regionalnem merilu (Roberts, 2014).

Aloformacija Globoko je v celoti odkrita na območju opuščene premogovnika pri vasi Globoko. Tukaj leži na pontijski premogovni seriji in je sestavljena iz najmanj treh sedimentacijskih ciklov. Vsi cikli



se začnajo z debelim prodom, ki navzgor postaja drobnejši in se končuje s peskom in meljem, ki je tudi pedogeniziran. Debelina tal je znotraj sedimenta relativno tanjša in znaša približno en meter, končna tla pa so debela 5-6 metrov. V produ in pesku se pojavljajo manjše leče slabo zaobljenega in močno preperlega roženca, ki izvira iz lokalnega okolja, domnevno iz jursko-krednih globokomorskih sedimentnih kamnin. V frakciji debelega peska predstavljajo minerali lahke frakcije skoraj 99 % celotnega vzorca, ostali so minerali težke frakcije. Od teh je 67 % večinoma močno preperelih, neprosojnih mineralov, preostalih 23 % prosojnih mineralov sestavljajo minerali rutil, cirkon, epidot ter granat, stavrolit in disten, ki predstavljajo domnevno presedimentirani detritus iz talninskih neogenskih sedimentov, v tem primeru iz peska Formacije Raka (Kralj et al., 1994).

Debelina celotne skladovnice v zgoraj opisanem izdanku znaša okoli 30 metrov (Poljak, et al., 1999).

#### *Tla (AFGB / Pl,Q – tl)*

Na prodnatem zasipu so ponekod razvita tla. Nastala so pretežno iz drobno zrnate frakcije matičnega sedimenta. V celovitih profilih, npr. v glinokopu Globoko, so vidni vsaj trije horizonti, in sicer eluvialni (A), iluvialni (B) in substrat matične kamnine (C). Po tipu nastanka jih lahko uvrstimo v kislata tla, ki so sestavljena iz silikatne peščene glinice in ilovice. Geokemična sestava vzorcev z območja Globokega, Piršenberga in Bizeljske Stare vasi je naslednja: SiO<sub>2</sub> (62-69 %), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (13-14 %), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5-8 %), K<sub>2</sub>O (cca 2 %), TiO<sub>2</sub> (1 %) in drugi oksidi < 1 %. (Zupanc, 2014). V zgornjih delih tal so ponekod pogoste konkrecije ali gomolji preperelih železovih hidroksidov, povprečne velikosti 1-2 centimetra.

Debelina tal je različna, v peskokopu Globoko znaša njihova vidna debelina do 6 metrov, v nekaterih vrtinah s tega območja pa je njihova debelina tudi do 10 metrov (Markič & Rokavec, 2002).

#### *Alo-morfo-litočlen Višja terasa – prod (AFGB / Pl,Q – t<sub>3</sub> - pr)*

Višji terasni nivo Globoške aloformacije leži na povprečni nadmorski višini 225 metrov. Dobro je viden na severnem pobočju Gorjancev od Prilip do Obrežja. Na Trški gori nad Krškimi in na južnih pobočjih Orlice pri Artičah je viden isti nivo, ki je prav tako na višini od 220 do 225 metrov.

Litološka sestava proda je enaka prej opisanemu aločlenu, torej ga sestavlja silikatni prod z lečami silikatnega peska. Na morfološki erozijski terasi pri Prilipah je silikatni prod pogosto pomešan s koluvijem roženca, ki izvira iz preperelih globokomorskih mezozojskih kamnin Gorjancev.

#### *Višja terasa - tla (AFGB / Pl,Q - t<sub>3</sub> - tl)*

Na višji terasi na južnem pobočju Orlice so na produ: »... pedogenetsko spremenjene meljne glinice in glinasti melji« (Markič & Rokavec, 2002). V vrtini GZ-3/84, ki leži na t. i. Artiški terasi, dosega ti sedimenti debelino 6 metrov.

#### *Alo-morfo-litočlen Srednja terasa - prod (AFGB / Pl,Q - t<sub>2</sub> - pr)*

Srednja terasa Globoške aloformacije je dobro izražena pri Leskovcu in na Kapelah, kjer leži na povprečni višini 200 metrov. To je akumulacijska terasa silikatnega proda in podrejeno peska, ki dosega debelino do nekaj metrov.

#### *Srednja terasa - tla (AFGB / Pl,Q - t<sub>2</sub> - tl)*

Tla so razvita tudi na srednji terasi pri Leskovcu in na Kapelah. Njihova debelina je tanjša kot v tleh Višje terase in znaša do enega metra.

### ***Alo- morfočlen Nižja terasa - prod (AFGB / Pl,Q - t<sub>1</sub> - pr)***

Najnižja terasa aloformacije Globoko je dobro izražena na Kapelah, kjer leži na višini od 180 do 190 metrov in je v povprečju 10 metrov nižje od višje terase. Prav tako je sestavljena iz silikatnega proda in podrejeno peska, ki dosega debelino nekaj metrov.

Obsežna morfološka terasa pri Mraševem leži na višini od 170 do 190 metrov in se spušča od juga proti severu kar je posledica domnevno tektonskega naklona. Sestavljena je iz silikatnega proda in podrejeno peska Globoške aloformacije, leži na panonijskem *laporju* in dosega debelino nekaj metrov.

Temu aločlenu domnevno pripada tudi terasa pri Prilipah. Njena ježa je na višini 175 do 180 metrov in se razteza od Prilip do Ribnice. To je predvsem erozijska terasa z redkim silikatnim prodom, ki ga pogosto prekriva tanek roženčev koluvij Izvirske formacije. V ježi terase izdanja Litotamnjski apnenec Laške formacije.

### ***Nižja terasa - tla (AFGB / Pl,Q - t<sub>1</sub> - tl)***

Na najnižji terasi so prav tako razvita tla. Najdebelejša so na terasi pri Prilipah, kjer so razvita kot rdeča karbonatna tla na Litotamnjskem apnencu ali silikatna tla na koluviju roženca, kjer dosega nekaj metrov debeline. Tla dosežejo večjo debelino tudi na terasi pri Mraševem, kjer so nastala iz silikatnega proda in peska. Na terasi na Kapelah so tla nastala na istem sedimentu, vendar so tanjša in so v povprečju debela do enega metra.

Starost sedimentov celotne Globoške aloformacije, ki so na obstoječih geoloških kartah raziskanega območja običajno opredeljeni kot t. i. *pliokvartar*, je na listu Zagreb OGK SFRJ (Šikić et al., 1979) v Karlovški kotlini določena na podlagi makrofavne v peščenem delu skladovnice, ki domnevno predstavlja lateralni facies Globoške aloformacije in sicer: *Unio pauli*, *Unio strossmayerianus*, *Unio cf. pucići*, *Psilunio cf. cymatoides*, *Psunio cf. herjei*, *Psunio cf. bielzi*, *Theodoxus pilidei pilidei*, *Theodoxus pilidei boteani*, *Melanopsis costata abbreviata*, *Melanopsis clavigera*, *Neritodonta sp.* in *Emmericia cf. rumana*. Ta fosilna združba ustreza spodnjemu levantiju (romaniju) in spodnjemu delu *zornjpaludinskih* plasti, torej je pliocenske starosti.

Datacija absolutne starosti sedimentov Globoške formacije je na hribu Libna izvedena s pomočjo kozmogenih radio-nukleidov (CRN) v vrtini CRN-1 na vzorcu iz globine 5- 15 metrov, kjer je določena starost >1.8 mil. let (Cline et al., 2014). Glede na to, da skladovnica, oziroma vsaj njen najstarejši del, sega do 2.6 mil. let v preteklost (Gradstein et al. eds., 2012), lahko pripada spodnjemu pleistocenu ali tudi pliocenu.

## **Krška alogrupa**

Krško alogrupo ali aloskupino sestavljajo aloformacija Brezina, aloformacija Sotla, aloformacija Krka in aloformacija Sava. Aloformacije so razdeljene v lito- in morfočlene, ki so imenovani pretežno po geografskih krajih. Litološko se vse sestavljene pretežno iz silikatno–karbonatnega proda in peska.

### **Aloformacija Brezina (AFBZ / Q<sub>1,2</sub> ?)**

Aloformacija Brezina je novoimenovana litostratigrafska enota, ki nikjer ne izdanja na površju. Njen globinski položaj je določen s pomočjo geoelektričnega sondiranja (Lapajne, J., 1975b; Brežigar et al., 1993), tomografskega geoelektričnega profiliranja (Rajh et al., 2014) in s številnimi vrtinami. Razteza se v glavni smeri ZJZ- VSV vzdolž osi Krške sinklinale. Na območju Krškega polja jo pokrivajo sedimenti Savske aloformacije, na območju Brežiškega polja in Dobrave pa sedimenti Dobravske aloformacije. Navedene geoelektrične raziskave so bil izvedene samo na Krškem polju, zato je njen položaj na Geološki karti Krške kotline izrisan samo na tem območju, medtem ko natančnega globinskega položaja na Brežiškem polju in v Dobravi ni mogoče zanesljivo opredeliti. Zahodna globinska meja aloformacije je domnevno na črti Velika vas pri Krškem- Gorica, proti vzhodu pa se aloformacija Brezina nadaljuje do Kapelskih goric.

V obstoječi geološki literaturi se sedimenti aloformacije Brezina uvrščajo pretežno v t. i. *pliokvartar*, vendar so petrografske analize novejših vrtin, ki so bile izvrtane za različne namene (npr. NSRAO – Brenčič, ed., 2006) pokazale, da so sedimenti sestavljeni iz mešanega silikatno-karbonatnega proda v skoraj enakem razmerju in pripadajo torej drugemu faciesu, kot je starejša Globoška aloformacija, ki je sestavljena izključno iz nekarbonatnega proda ali njen prav tako silikatni kolvuvij, ki je del aloformacije Dobrava.

Sedimenti aloformacije Brezina so torej sestavljeni iz nekoliko zaglinjenega in peščenega proda z redkimi lečami peska; ponekod je prod sprjet s kalcitnim vezivom v leče konglomerata. Petrografska sestava nekarbonatnega proda je enaka tisti v Globoški aloformaciji, karbonatni prodniki so v glavnem plitvomorski mezozojski apnenici in redkeje dolomiti. Manjši delež karbonatnega proda v primerjavi z ostalimi aločleni Krkine, Sotelske in Savske aloformacije lahko po analogiji z Globoško aloformacijo, razložimo z njegovim raztapljanjem.

Starost sedimenta Brezinske aloformacije ni neposredno ugotovljena. Posredni kazalnik starosti je njen prostorski položaj; v osrednjem delu Krške kotline jo namreč prekriva mlajša Brežiška aloformacija srednjepleistocenske starosti, ki je tudi sama prekrita z Dolenjevaškim vršajem. Domnevamo torej, da je Brezinska aloformacija srednjepleistocenske starosti ali starejša, glede na to, da je starost Brežiškega aločlena Savske aloformacije opredeljena kot srednjepleistocenska.

Debelina sedimentov se povečuje od jugozahoda proti severovzhodu. V vrtini DRN-1/89 znaša 48 m, v osrednjem delu Brežiškega polja, v vrtini Mi-2/82 pa 127 metrov. Pri tem je treba omeniti, da znaša v njej celotna debelina kvartarnih sedimentov 214 metrov; ti so bili prej v celoti opredeljeni kot *pliokvartar* (Markič & Rokavec, 2002), vendar spodnji del (87 m) skladovnice, ki je sestavljen iz karbonatnega proda in peska pripada Brezinski aloformaciji. Zgornji del, ki je sestavljen iz čistega silikatnega melja in peska z redkim silikatnim prodom, pripada Dobravski aloformaciji.

Izvor sedimentov Brezinske aloformacije lahko po njenem prostorskem položaju in delno po litološki sestavi povezujemo z reko Savo in Krko, pri čemer je slednja vrezovala svoje korito v sedimente Globoške aloformacije in jih presedimentirala. Možno je tudi, da sedimenti pripadajo le reki Savi, in so bili prvotno bolj razširjeni v celotni Krški kotlini, danes pa so ohranjeni samo v jedru Krške sinklinale.

### **Aloformacija Sotla (AFST / $Q_{1,2}$ )**

Aloformacija Sotla je sestavljena iz treh aločlenov, ki so določeni glede na njihov prostorski položaj in litološko sestavo. To so: morfočlen Kapele, morfočlen Jovsi in litočlen Sotla.

#### ***Alo- morfočlen Kapele Višja terasa (AFST / $Q_2^1 - Kp - t_2$ )***

To je višja, pretežno erozijska terasa reke Sotle, ki je vrezana v sedimente Globoške aloformacije in Posavskih formacij na vzhodni strani Kapelskih goric. Terasni rob je na nadmorski višini 160 metrov, kar je obenem višina njene zgornje površine. Velik del je prekrit z koluvialnim nanosom Globoške aloformacije z grebena Kapel. Relativno redki karbonatni prodniki, predvsem Litotamnijskega apnenca iz Laške formacije, kažejo na prvotni izvor materiala in sicer iz porečja reke Sotle, na ozemlju Posavskih gub. Glede na višino terase (160 metrov), ki je enaka Brežiški, za katero je določena srednjepleistocenska starost, je zelo verjetno, da je Kapelska terasa enake starosti.

#### ***Alo- morfočlen Jovsi Nižja terasa (AFST / $Q_2 - Jv - t_1$ )***

To je nižja, akumulacijska terasa reke Sotle, ki jo sestavlja pretežno drobnozrnati sediment in sicer, silikatno-karbonatni pesek in melj. Na območju imenovanem Jovsi, so sorazmerno obsežna močvirja, kjer nastajajo recentni jezersko-močvirnatni sedimenti. Pri Bizeljskem sedimentna skladovnica leži na Laškem laporju in dosega celotno debelino 5- 6 metrov, medtem ko v globoko vrezanem koritu Sotle pri Župelevcu presega 10 metrov. Površina terase je na povprečni višini 140 metrov in leži na enakem nivoju kakor holocenska terasa reke Save, zato je verjetno iste starosti.

### *Alo- litočlen Sotla Recentni sedimenti (AFST / Q<sub>2</sub> – St - rc)*

V ta člen so uvrščeni recentni sedimenti v koritu reke Sotle. V zgornjem toku Sotle so sestavljeni iz proda in peska, v spodnjem pa pretežno iz peska in melja. Prod je mešana silikatno-karbonatne sestave in ustreza kamninam Južnih Alp Slovenije, kar je podobno kot pri Globoški aloformaciji in pri drugih aloformacijah Krške alogrupe. Razmerje karbonatnega in nekarbonatnega proda iz vzorca pri Bizeljskem je približno enako, natančneje 44 : 56 % (M. Trajanova). Debelina sedimenta je majhna, pod njim na več mestih izdajajo neogenske kamnine, pretežno *laporji* Posavskih formacij.

### **Aloformacija Krka (AFKR / Q<sub>1,2</sub>)**

V Krkino aloformacijo so uvrščeni rečni in deloma jezersko-močvirski sedimenti širšega območja Krakovskega gozda. Aloformacija je razdeljena v več aločlenov, glede na njihov prostorski položaj, litološko sestavo in starost.

#### *Alo- morfočlen Sajevce Višja terasa - prod (AFKR / Q<sub>1,2</sub> – Sj – t - pr)*

Ta aločlen predstavlja višjo in starejšo akumulacijsko teraso reke Krke, ki se razteza vzdolž njenega današnjega desnega brega v južnem delu Krške kotline. Pri Sajevcah in Naklem v osrednjem delu kotline je terasa ohranjena v obliki posameznih izoliranih osamelcev. Površina terase je na povprečni nadmorski višini 155 metrov in je približno 5 metrov višja glede na nižjo Krkino teraso.

Debelina sedimenta Sajevške terase je precejšnja in v vrtini S-1/86 znaša 29 metrov (Verbovšek et al., 1986b). Sestavljena je iz »proda in peščenega proda« (Ibid.). V vrtini Sajevce-1/2011, ki je bila izvrtana v okviru izdelave te karte, je določena tudi litološka sestava proda. Vsaj do globine 18 metrov se v vrtini menjavajo prod, pesek, peščena glina in glina. Prod je silikatni in ga tvorijo pretežno kremen in roženec ter podrejeno različni tipi peščenjaka, meljevca in glinavca (Trajanova, 2011a). Glede na navedeno sestavo je sediment na splošno podoben tistemu iz Globoške formacije, vendar odsotnost nekaterih značilnih kamnin in velika količina kremenca in roženca govorijo o morebitnem drugem izvornem področju.

V vrtini Kalce- Naklo-1/2011, ki je bila izvrtana z istim namenom kot prejšnja, je debelina kvartarnega sedimenta tudi znatna in je večja od 18 m. V vrtini se menjavajo prod, pesek in glina silikatne sestave, vendar so med prodniki tudi redki karbonatni.

Sajevška terasa južno od reke Krke je na približno isti nadmorski višini 155 metrov kot terasa v Krakovskem gozdu. Ohranjena je skoraj v neprekinjenem odseku od Kostanjevice do Mraševa, kjer prehaja v Brežiško teraso Savske aloformacije. Sediment je pretežno silikatni, vendar vsebuje precej številne prodnike Litotamnijskega apnenca iz Laške Formacije, kar kaže na lokalni izvor materiala. Debelina sedimenta je tukaj bistveno tanjša in znaša do enega metra, tako da na več mestih izdajanja v ježi terase pred-kvartarna podlaga, zgrajena iz kamnin Laške formacije.

O starosti Sajevške terase sklepamo posredno, in sicer na podlagi primerjave z Brežiško teraso, kateri je starost določena kot srednjepleistocenska. Obe terasi se združujeta v fosilnem sotočju Krke in Save pri Mraševem, pri čemer avtorji lista Zagreb OGK SFRJ (Šikić et al., 1979) navajajo, da je akumulacijska terasa pri Borštu (a3) skupni nanos reke Krke in Save. Starost Sajevške terase je verjetno torej prav tako srednjepleistocenska. Na opisanem območju, t. j. na desnem bregu reke Krke, je slabo ohranjena še ena višja terasa na približni višini 165 metrov, vendar zaradi njene slabe ohranjenosti na karti ni posebej izločena.

Na *osamelcu* Sajevške terase pri Kostanjevici je Rakovec (1954) odkril fosilne ostanke pleistocenskega slona, ki je bil določen kot *Mamonteus trogonterii*; ta izvira iz riškega glaciala ali riško/würmskega interglaciala; fosilni pelod iz iste lokacije pa bi lahko pripadal tudi würmskim interstadialom (Šercelj, 1963).

#### *Višja terasa – tla (AFKR / Q<sub>12</sub> – Sj - t<sub>2</sub> - tl)*

Na terasi pri Sajevcah in Naklem so razvita debela tla. V vrtini Si-1/86 je v zgornjem delu 12 metrov »rjave glin«, od katerih je vsaj en njen del pedogeniziran v tla (Verbovšek et al., 1986b). V vrtini Sajev-

ce-1/2011 znaša debelina tal 2 metra. Pri Naklem (vrtina Kalce- Naklo-1/2011) je zgornji del drobnozrnatega sedimenta terase, ki v celoti znaša 10 metrov, prav tako pedogeno spremenjen v rdečo do rjavo peščeno ilovico.

#### ***Alo- morfo- litočlen Krakovo Nižja terasa (AFKR / Q<sub>1,2</sub> – Kv- t<sub>1</sub>)***

To je nižja in mlajša akumulacijska terasa reke Krke, ki leži na širšem območju Krakovskega gozda na povprečni nadmorski višini 150 metrov. V spodnjem delu je sestavljena iz proda, peska in gline, v zgornjem delu pa iz recentnega poplavnega sedimenta reke Krke. Spodnji del sedimentne skladovnice je pretežno silikatne sestave, medtem ko se poplavni sediment sestoji iz nekaj metrov debelega karbonatnega melja, ki verjetno izvira iz sosednjih ozemelj, zgrajenih iz Laškega laporja.

V zgornjem delu skladovnice pri Beli Cerkvi je v koritu reke Krke znotraj poplavnega sedimenta približno 2 metra pod površino najdena leča organskega materiala, katerega starost je s pomočjo radiometrične analize C<sub>14</sub>, določena na  $1.463 \pm 40$  let pred sedanjostjo.

Debelina celotnega člena je znatna in znaša v vrtini V-8/86 16 metrov. Ta vrtina je bila izvedena za ugotovitev geotermalnega gradienta na širšem območju vrtine Si-1/86, (Verbovšek et al., 1986).

#### ***Alo- morfo- litočlen Mraševo Nižja terasa (AFKR / Q<sub>13</sub> – Mš - t<sub>1</sub>)***

Mraševski aločlen predstavlja lateralni facies predhodno opisanega in je sestavljen pretežno iz proda in podrejeno peska. Litološka sestava proda je podobna tistemu v Krakovskem aločlenu, vendar z večjim deležem apnenca in podrejeno dolomita. Med silikatnimi prodniki so navzoči redki prodniki, ki so značilni za sediment Savske aloformacije. Zato je mogoče, da je fosilna Sava tekla v nekem obdobju tudi vzhodno od *osamelca* Globoške aloformacije pri Mraševem. Debelina proda znaša v vrtini PDT-1/03 pri Mraševem 13 metrov (Poljak in Rajver, 2006).

Starost sedimenta Mraševskega aločlena je s pomočjo radiometrične analize C<sub>14</sub> določena v strugi reke Krke iz leče organskega materiala, ki se nahaja med prodom 2 - 3 metre pod površino in znaša  $17.684 \pm 100$  let pred sedanjostjo (Poljak & Milanič, 2012). Glede na to, da je Mraševski aločlen lateralni facies Krakovskega aločlena, sta verjetno oba enake in sicer zgornjpleistocenske starosti.

#### ***Alo- litočlen Krka Recentni sedimenti (AFKR / Q<sub>2</sub> – Kr – rc)***

Pripadajo mu recentni sedimenti v koritu reke Krke. Sestavljeni so iz melja, peska in proda, pri čemer je slednji sestavljen pretežno iz silikatnih kamnin, in sicer v glavnem iz različnih tipov roženca. V večjem delu korita Krke od Kostanjevice do Mraševa je tudi lehnjak, ki dosega debelino več metrov.

#### ***Aloformacija Sava (AFSV / Q<sub>1,2</sub>)***

V Savsko aloformacijo so uvrščeni sedimenti reke Save, srednje- do zgornjpleistocenske in holocenske starosti. Aloformacija je sestavljena iz več lito- in morfočlenov in sicer: Brežiškega, Drnovskega, Vrbinskega in aločlena šote.

#### ***Alo- morfočlen Brežice Najvišja terasa (AFSV / Q<sub>12</sub> – Bž - t<sub>3</sub>)***

Ta aločlen srednjpleistocenske starosti predstavlja najvišjo akumulacijsko teraso reke Save. Pojavlja se v dveh nivojih vzdolž severnega in južnega roba Krške kotline, od katerih je višji nivo erozijsko-akumulacijski, nižji pa pretežno akumulacijski.

### *Višji nivo Brežiške terase (AFSV / $Q_{12}$ - Bž - $t_{32}$ )*

Na severnem delu Krške kotline je ta nivo viden na južnem pobočju hriba Libna, kjer gradi dobro viden terasni odsek, ki se nadaljuje proti jugovzhodu, kjer je pokrit z Dolenjevaškim vršajem. Stik sedimenta terase s predkvartarno podlago je na nadmorski višini 185 metrov in se postopoma spušča proti osrednjemu delu Krške kotline oz. proti jedru Krške sinklinale. Pri Stari vasi je površina terase pokrita z debelim koluvialnim nanosom Globoške aloformacije. Ta je močno pedogeniziran, v vrtinah tega območja je vidnih več nivojev koluvialnih zasipov in njihovih tal (Trajanova, 1998; Vrščaj, 1998).

Na južnem delu Krške koline predstavlja ta nivo Brežiško teraso *sensu stricto* (Kuščer, 1993), ki se razteza na severnem bregu Save od Brežic do Dobove ter na njenem južnem bregu od Čateža do Obrežja. Stik sedimenta terase s predkvartarno podlago je tukaj na višini 160 metrov in se prav tako spušča proti severu, torej proti jedru Krške sinklinale. Zgornja površina terase je pri Brežicah in Dobovi ponekod prekrita s silikatnim prodom Dobravske aloformacije, pri Obrežju pa z debelim nanosom lokalnega koluvija, ki je prav tako pretežno pedogeniziran (Poljak & Bavec, M., 2004b). Na južnem pobočju Gorjancev pri Velikih Malencah, je višji nivo Brežiške terase (Malenška terasa po Verbiču- 2004) na višini 160- 165 metrov, vendar je njena prvotna oblika zaradi znatnega antropogenega vpliva na relief zabrisana (Bavec, U., 1998; 2001). Pri Cerkljah je na zahodnem delu Mraševske *pliokvartarne* terase višji nivo Brežiške terase na višini 165 metrov in leži nad njenim nižjim nivojem, ki je na višini 155 metrov.

Vzorčevanje za datiranje sedimenta s pomočjo IRSL in TL metode iz leče peska znotraj proda višjega nivoja Brežiške terase, je izvedel Verbič leta 2004. Po prvi metodi je bila starost sedimenta določena na nekaj več kot 70.000 let. Druga metoda je pokazala starost od 139.000 do 151.000 let. Razlog za navedena odstopanja je morda tudi v tem, da je bilo vzorčevanje izvedeno v koluviju, ki pokriva primarno površino terase (op. avtorja).

Debelina sedimenta znaša nekaj metrov.

### *Nižji nivo Brežiške terase (AFSV / $Q_{12}$ - Bž - $t_{31}$ )*

Nižji nivo Brežiške terase je razvit na celotnem obrobju Krške kotline in je približno 5 metrov nižje od višjega nivoja.

Litološka sestava obeh aločlenov je enaka; predstavlja jo mešan silikatno-karbonatni prod in podrejen pesek, pri čemer prevladujejo karbonatni prodniki. Prod je v spodnjem nivoju pogosto sprijet v konglomerat, vezivo je kalcitno. Pri Stari vasi in v Leskovcu je bila iz cementa s pomočjo radiometrične analize U/Th določena starost 272.767 let (Leskovec), oz. 284.571 let (Stara vas) (Poljak et al., 2013). Pri tem je potrebno upoštevati, da navedene starosti kažejo na starost cementa, ki je praviloma mlajši od samega sedimenta. Posebnost sedimenta pri Leskovcu je tudi slaba sortiranost klastov in je podoben tilu, zato so zgoraj navedeni avtorji domnevali tudi na njegov morebitni periglacialni izvor.

Debelina celotne skladovnice se spreminja, največja je v terasi pri Leskovcu in Borštu, kjer po podatkih iz vrtin znaša približno 10 metrov.

### *Alo- litočlen Šota (AFSV / $Q_{13}$ - št)*

V vrtini KPK-1 pri Vidmu je v globini 12 metrov, pod holocenskim prodom ugotovljena približno 1 meter debela plast šote, ki leži na Litotamnijskem apnencu Laške formacije (Krivic, 2011). S pomočjo analize izotopa  $C_{14}$  je bila starost šote določena na  $40.856 \pm 800$  let pred sedanostjo (Poljak & Milanič, 2011). Domnevno ista plast šote je bila ugotovljena tudi v nekaterih drugih vrtinah, npr. v vrtini DAC-1/98, ki je bila jugozahodno od Drnovega izvrtana v okviru gradnje AC in sicer na globini 20 metrov v bazi proda Drnovskega aločlena (Hoetzl & Medić, 2004). Glede na to domnevamo, da je plast šote pokrivala širše območje v določenem času würmske glaciacije in je zaradi tega opredeljena kot poseben aločlen.



***Alo- morfočlen Drnovo Srednja terasa (AFSV / Q<sub>13</sub> – Drn - t<sub>2</sub>)***

Ta aločlen predstavlja srednjo akumulacijsko teraso reke Save. Litološka sestava je podobna Brežiškemu aločlenu in se sestoji iz mešanega karbonatno-silikatnega proda in peska, pri čemer prevladuje karbonatna komponenta. Glavna sedimentacijska značilnost je nepravilno menjavanje različnih frakcij proda in peska, kar kaže na prepletajoči se fosilni tok reke Save.

Med Veliko vasjo in Gorico je meja med Mraševskim in Drnovskim aločlenom postopna, oziroma med Krkinim in Savskim prodom ni ostrega prehoda, kar kaže na spreminjajoče se fosilno sotočje obeh rek. To sta ugotovila tudi Pleničar in Premru (1977) leta, kjer pravita: »Ločnica med obema (rekama- op. avt.) ni ostra zaradi premikov izliva Krke v Savo skozi daljše časovno obdobje«. Meja med Drnovskim in mlajšim Vrbinskim aločlenom pa je ostra in jo označuje terasni odsek, visok do 10 metrov, ki se proti jugovzhodu Krške kotline postopoma znižuje in nato izgine.

O starosti Drnovskega člena sklepamo le posredno; ta namreč predstavlja lateralni facies Mraševskemu aločlenu, katerega starost je določena kot pozno- zgornjepleistocenska. Starost Drnovskega aločlena je torej najverjetneje tudi zgornjepleistocenska.

Debelina sedimenta Drnovskega aločlena je znatna; po podatkih vrtin znaša do 20 metrov. Na produ in pesku so skoraj povsod razvita karbonatna tla, ki zaradi svoje majhne debeline (v povprečju do enega metra) na karti niso posebej izdvojena.

***Alo- morfočlen Vrbina Nižja terasa (AFSV / Q<sub>2</sub> – Vb - t<sub>1</sub>)***

Ta aločlen predstavlja najnižjo teraso reke Save. Vanj so uvrščeni rečni sedimenti holocenske starosti. V spodnjem delu so sestavljeni pretežno iz karbonatno-silikatnega proda, v zgornjem delu pa iz peska ter iz melja in peska. Spodnji del zaporedja kaže podobne sedimentacijske značilnosti kot Drnovski člen in predstavlja nepravilno menjavanje proda in peska različnih frakcij. Zgornji del skladovnice sestavljajo pretežno drobnozrnati poplavni peski ter meljasto-glinasti sedimenti fosilnih in recentnih meandrov in mrtvic. Pri sotočju Save in Krke dosega debelino 5- 6 metrov. Debelina celotne skladovnice je spremenljiva in v povprečju znaša 10 metrov.

Terasa se blago spušča od severozahodnega dela Krške kotline, kjer je na višini 155 metrov, proti njenemu jugovzhodnemu delu, ki je na višini 140 metrov, kar predstavlja naravni rečni strmec. Znotraj terase sta vidna še najmanj dva terasna odseka višine nekaj metrov.

Domnevamo, da se je celoten sediment odlagal ves čas holocena, vendar za to ni neposrednih dokazov.

***Alo- litočlen Sava Recentni sedimenti (AFSV/ Q<sub>2</sub> – Sv - rc)***

V ta aločlen so uvrščeni recentni sedimenti reke Save, ki so sestavljeni iz mešanega karbonatnega- silikatnega proda in peska. Njihova debelina je majhna in spremenljiva, ponekod izdanja v koritu reke Save samo pred-kvartarna podlaga, vsi kvartarni sedimenti so v celoti erodirani.

***Aloformacija Dobrava (AFDB / Q<sub>1,2</sub>)***

Aloformacijo Dobrava predstavljajo pretežno koluvialno- proluvialni prodnati resedimenti Globoške aloformacije in v manjšem deležu peščeni resedimenti Rakine formacije, na Brežiškem polju aloformacijo Dobrava sestavljajo pesek in melj ter glina s šoto, ki je nastajala *in-situ* v fosilnem in recentnem močvirju. Aloformacija je razdeljena v tri litočlene, ki se med seboj ločijo po prostorskem položaju in sestavi, njihove površinske medsebojne meje pa so postopne.

***Alo- litočlen Prod (AFDB / Q<sub>1,2</sub> - pr)***

Prod tega aločlena izdanja na površini v globljih potočnih dolinah v vzhodnem delu Dobreave. Sestavljen je izključno iz nekarbonatnega drobnega proda in peska, zaradi česar sklepamo, da izvira iz Globoške for-

macije iz Kapel in ostalega obrobja Krške kotline (Trajanova, 2011d). Od Brežic do Dobove to nekarbonatni prod prekriva tudi dele Brežiške terase, kjer leži na karbonatno–silikatnemrodu Brežiškega aločlena.

#### *Alo- litočlen Melj (AFDB / Q<sub>1,2</sub> - mel)*

Ta člen gradi večji del Dobrave in Brežiškega polja; sestavlja ga drobnozrnati klastični material in sicer pesek, melj in glina z redkimi silikatnimi prodniki. Mineralna sestava posameznih vzorcev melja je naslednja: kremen, sericit/muskovit, biotit, klorit, epidot in v sledovih titanit; v grobem torej ustreza mineralni sestavi peska iz formacije Raka (M. Trajanova). Litološka sestava celotne skladovnice je najbolj vidna v vrtinah GZ-10/82, GZ-11/82, GZ-12/82 in GZ-13/82, izvrtanih na območju Globokega (Markič & Rokavec, 2002). Iz njihovega popisa je razvidno, da je zaporedje skoraj v celoti sestavljeno iz peska in melja z redkimi in tankimi plastmi proda, ki se menjavajo v nepravilnih sekvencah. Vmes so tudi tanke plasti gline in peščene gline, ki jih avtorja razlagata kot fosilne pedogene horizonte, oz. pokopana tla.

Meljaste sedimente Brežiškega polja so Šikić et al. (1978, 1979) opredelili kot nekarbonatno kopensko puhlico (*les*), ki je močno pedogenizirana v t. i. *pseudoglej*. Sestavljena je iz 50- 70 % melja in 10- 30 % gline ter 5- 15 % peska. Težki minerali so: epidot (31- 61 %), granat (9- 40 %) in amfibolit (16 %), lahki pa kremen (60- 70 %) ter v manjšem obsegu glinenci in muskovit.

Največja debelina celotne skladovnice dosega približno 100 metrov, natančneje 95 metrov v vrtini GZ-10/82.

#### *Alo- litočlen Glina (AFDB / Q<sub>2</sub> - gl)*

Ta člen se razteza na zahodnem delu Brežiškega polja med Brežicami, Brezino in Lenartom. V vrtinah tega območja je razvidna litološka sestava aločlena, ki jo tvori siva organska glina s šoto, ki se izmenjuje z meljem in peskom. Meljasti del člena so Šikić et al. (1978; 1979) opredelili kot barjansko puhlico (*les*). Šota je bila ugotovljena v vrtinah P-1/83 do P-3/83 (Petauer, 1983- 1986) in v vrtini Brezina-1/2013 (30 m borehole- Cline, ur., 2013). V vrtini P-3/83 dosega debelina celotne skladovnice 24 metrov. Starost šote iz globine treh metrov v vrtini Brezina-1/2013 (30 m borehole) je ugotovljena s pomočjo izotopa C<sup>14</sup> in znaša 9.804 ± 65 let pred sedanostjo, torej je zgodnjeholocenska.

O starosti celotne Dobravske aloformacije sklepamo le posredno. Po Verbiču (2004) je le ta lateralni ekvivalent Globoške, Brežiške in Drnovske aloformacije, torej je njena sedimentacija trajala ves kvartar in delno pliocen. Vendar je bolj verjetno, da so sedimenti, ki jih uvrščamo v Dobravsko aloformacijo, začeli nastajati takoj po odložitvi Globoške aloformacije in njenem tektonskem dviganju na višje dele ozemlja, kar je povzročilo erozijo sedimenta in njegovo odlaganje na nižjih delih terena, kar traja še danes.



## Formacijsko neopredeljeni kvartarni sedimenti

### Starejši aluvij v terasah (al-t)

Višje aluvialne terase so ohranjene na obrobju dolin potokov Lokavec, Sromljica in Dramlja na severnem delu Krške kotline. Terasa ob Sromljici in Dramlji je sestavljena iz mešanega silikatno-karbonatnega proda, ki po sestavi predstavlja gradivo zaledja, v tem primeru Orlice. Terasni odseki ležijo okoli 30 metrov nad recentno aluvialno površino. Terasa so pokrite z lokalnim koluvialnim materialom, vendar vidna primarna debelina sedimenta v obeh terasah znaša najmanj 10 metrov. Terasa v dolini Lokavca je erozijska, vendar je površina terase pokrita z redkim silikatnim prodom, ki izvira iz aloformacije Globoko. Rob te terase leži približno 10 metrov nad sedanjo rečno dolino.

Zaradi različnih značilnosti opisanih teras ni zanesljivo ali vse predstavljajo en sam fosilni rečni nivo ali več nivojev. Njihove absolutne starosti prav tako ni mogoče ugotoviti; domnevamo, da so starejše od sedimentov v potočnih dolinah, ki so vrezane v terase in so določene kot zgornji pleistocen in holocen. Terasa so torej lahko srednjepleistocenske starosti.

### Starejši aluvij (al)

V starejši aluvij so uvrščeni vsi potočni sedimenti, ki zapolnjujejo manjše in večje doline na celotnem raziskanem ozemlju. Sestavljene so iz heterogenega materiala, ki izvira iz lokalnih območij. Po granulaciji prevladuje drobnnozrnati material in sicer pesek in melj. V nekaterih večjih potočnih dolinah je v vrtinah ugotovljena tudi glina s šoto (Verbič, 1999).

Na območju premogovnika Globoko je v dolini Sromljice v vrtini GZ-4/84 ugotovljen pelod, ki je holocenske in zgornjepleistocenske starosti (A. Šercelj). Zgornji fosilonosni del aluvija je debel približno 30 metrov, spodnji sterilni pa dodatnih 20 metrov. V vrtini GZ-3/84 znaša celotna debelina domnevne kvartarne aluvialne skladovnice 52 metrov (Markič & Rokavec, 2002).

### Recentni aluvij (al – rc)

V nekaterih večjih potočnih dolinah so v starejši aluvij vrezane manjše in ožje struge, ki jih zapolnjuje recentni aluvialni material. Ti potoki so prisotni tako na severnem kakor tudi na južnem delu raziskanega ozemlja.

Delitev na starejši in recentni aluvij je pogojna; ni ju namreč vedno mogoče medsebojno razločevati. Recentni aluvij je zaradi tega izdvojen samo na mestih, kjer je jasno vidno, da je vrezan in odložen na starejšega.

### Jezersko-močvirski sedimenti (j)

Na posameznih delih ozemlja, ki so zgrajeni iz aluvialnih drobnozrnatih glinastih sedimentov, so razvita recentna močvirja, ki se v obdobjih z večjo količino padavin spremenijo v manjša jezera. To sta predvsem poplavno območje Krakovskega gozda in aluvialna dolina reke Sotle. Tukaj nastaja humusno-šotni material *in-situ*, prineseni potočni ali rečni material nastopa v obliki drobnozrnatega peska, melja in mulja.

### Proluvij (pr)

V proluvij so uvrščeni sedimenti, ki se ali so se odlagali v zgornjih, bolj strmih delih posameznih potokov. Sediment ima večinoma hudourniški značaj, kjer prevladuje slabo sortirani debelozrnati material. V potočnih dolinah, ki so razvite v podlagi iz *laporja* ali peska, je proluvialni sediment sestavljen iz drobnozrnatega materiala. Debelina proluvija je različna in v povprečju znaša le nekaj metrov. Glede njegove starosti se lahko ugotovi samo to, da je časovni ekvivalent aluvialnih sedimentov iz nižjih delov potočnih dolin, torej pripada pleistocenu in holocenu.

## Koluvij (kol)

Koluvij je sediment, ki nastaja s preperevanjem kamnin v višjih delih ozemlja in se prenaša ter odlaga na nižja pobočja s pomočjo gravitacije in/ali vode. Sestavlja ga slabo zaobljen in nesortiran material iz lokalnega območja. Na raziskanem ozemlju je najbolj pogost sediment, ki ga sestavljata roženec in prod.

Roženec pokriva precejšnje dele ozemlja na Gorjancih in v Krškem hribovju. Na Gorjancih je to predvsem roženec iz Izvirske formacije, ki je prvotno prekrivala večji del Gorjancev in je ležala pretežno na Glavnem dolomitu in na Dachsteinskem apnencu. Pripadnost roženca Izvirski formaciji je določena na podlagi radiolarijev, in sicer: *Emiluvia orea* Baumgartner, *Eucyrtidiellum ptyctum* (Riedel & Sanfilippo), *Hexasaturnalis nakasekoi* (Dumitrica & Dumitrica-Jud), *Mirifusus diana* (Karrer) in *Spongocapsula palmerae* Pessagno (Š. Goričan). Debelina roženčevega pokrova je ponekod sorazmerno velika in znaša 5- 6 metrov.

Roženčev koluvij v Krškem hribovju izvira iz formacije Gora in prekriva znatne dele južnih pobočij Krškega hribovja, kjer leži na različnih neogenskih kamninah. Pripadnost roženca formaciji Gora je prav tako določena na podlagi radiolarij in sicer: *Holocryptocanium barbui* Dumitrica, *Cryptamphorella conara* (Foreman), *Stichomitra* sp., *Arheodictyomitra* sp. in *Thanarla* sp. (Š. Goričan), ki kažejo na aptijsko-albijsko starost roženca. Debelina tega koluvija je nekoliko manjša in znaša od enega do dveh metrov.

Koluvij proda pokriva ozemlja na južnih pobočjih Orlice in Krškega hribovja in izvira iz aloformacije Globoko. Na tem razčlenjenem reliefu leži prod Globoške aloformacije primarno sub-horizontalno na grebenih, njegov koluvij prekriva strma pobočja, ki so zgrajena iz sedimentov pred-kvartarne podlage. V manjšem obsegu je podobno tudi na južnem delu ozemlja, na hribu Dobrava pri Podbočju in na Velikem bregu pri Mraševem, kjer prodnati koluvij prekriva kamnine posameznih formacij iz Posavske grupe formacij.

Večje površine karbonatnega koluvija, ki ga lahko imenujemo tudi grušč, so na višjih predelih Gorjancev. Sestavljene so pretežno iz apnenca in podrejeno dolomita triasne starosti, ki prekriva posamezne dele severnega pobočja Opatove gore nad Kostanjevico.

Natančne starosti koluvialnih sedimentov ni mogoče ugotoviti, sklepamo lahko, da so nastali in še vedno nastajajo v daljšem časovnem obdobju in sicer ves pleistocen in holocen.

## Vršaj (vš)

Vršaji so terminalni deli aluvialno–proluvialno-koluvialnih sedimentnih teles, ki se odlagajo v obliki pahljač na nižjih delih ozemlja. Manjši vršaji so ločeni od večjih, slednji so poimenovani po najbližjih geografskih krajih.

### Manjši vršaj (vš)

V manjše vršaje so uvrščeni vsi mešani koluvialno-proluvialno-aluvialni vršaji manjšega obsega. Ti so navzoči v nižjih delih proluvialno-aluvialnih potokov, kot sta npr. Kraški potok in Sušica v vznožju Gorjancev ter Dramlja na južnem pobočju Orlice. Koluvialni vršaji so razviti tudi v vznožju jež rečnih teras, npr. pri Brežicah in Mraševem, kjer imajo značaj blagih *pedimentov*. Starost manjših vršajev je v glavnem holocenska do recentna.

### Večji vršaj (vš)

V večje vršaje so uvrščeni: Škocjanski, Krški, Velikovaški, Starograjski, Dolenjevaški in Šentjernejski. Vsi ti so po načinu nastanka mešani aluvialno–proluvialno-koluvialni, po starosti pa pleistocensko-holocenski.

**Škocjanski vršaj** (vš- Šk) je bil raziskan in poimenovan ob geološki spremljavi gradbenih del na Dolenjski avtocesti (Bavec, M. in Poljak, 2005). Glavni del vršaja obsega južna pobočja Krškega hribovja

pri Bučki, oz. vzhodno od Škocjana, na raziskanem ozemlju je pri vasi Koren viden samo njegov manjši, vzhodni del. Skoraj v celoti je sestavljen iz slabo zaobljenega in preperelega roženca, ki izvira iz Formacije Gora, njegova debelina pa je najmanj 10 metrov.

**Krški vršaj** (vš- Kk) je imenovan po Krškem hribovju in pokriva njegova južna pobočja od vasi Kremen na zahodu do Velike vasi na vzhodu. To je predvsem koluvialni sediment, ki se skoraj v celoti sestavljen iz silikatnega proda in peska ter izvira iz Globoške aloformacije. Na listu Novo mesto OGK SFRJ (Pleničar et al., 1976) je opredeljen kot primarni t. i. *pliokvartarni* sediment, vendar je v usekih novo zgrajene Dolenjske avtoceste ugotovljeno, da prekriva karbonatni prod Krkine aloformacije (alo- člen Mraševo) (Poljak & Bavec, M., 2004a). V slednji so tudi vložki gline s šoto, v kateri je določen pelod, ki pripada hladnodobni vegetaciji in pripada rodovom : *Picea*, *Pinus*, *Betula*, *Ephedra*, *Lycopodium* idr., kjer močno prevladuje rod *Pinus* (M. Culiberg). To posredno določa tudi relativno starost vršaja, ki je mlajši in je nastal v poznem würmu ali v postglacialu, torej v zgornjem pleistocenu ali v holocenu. Vidna debelina vršaja znaša 5- 6 metrov.

**Velikovaški vršaj** (vš- Vv) je imenovan po Veliki vasi južno od Leskovca. To je aluvialni vršaj Velikovaškega potoka; sestavljen je iz silikatnega proda in peska Globoške aloformacije ter iz roženca formacije Gora. Ta koluvialni sediment je na površini zaradi antropogenih posegov pomešan s karbonatnim prodom Krkine aloformacije, vendar se v posameznih gramoznicah vidi njegov pravi položaj, kjer leži na karbonatnemrodu Mraševskega litočlena. Starost vršaja je verjetno post- würmska.

**Starograjski vršaj** (vš- Sg), imenovan po Starem Gradu vzhodno od Vidma, je proluvialno-aluvialni in delno tudi koluvialni vršaj. Prekriva Brežiško teraso, v južnem delu je erodiran s holocensko strugo reke Save. Sestavljen je delno iz proda in peska Globoške aloformacije, delno pa iz presedimentiranega karbonatnega proda Brežiške aloformacije. V terasni ježi pri Starem Gradu je zgornji del vršaja sestavljen tudi iz nekaj metrov debelega karbonatnega melja, ki najverjetneje izvira iz Drnovske formacije. Zgornja površina vršaja je pedogenizirana do globine, ki presega 3 m (Verbič, 1996). Vzorcevanje sedimenta vršaja za analizo starosti s pomočjo IRSI in TL metode je izvedel tudi Verbič (2004). Po prvi metodi datacije je starost sedimenta med 72.000 in 79.000 let, po drugi pa med 95.000 in 136.000 let.

**Dolenjevaški vršaj** (vš- Dv) je pretežno aluvialni vršaj potoka Močnik pri Dolenji vasi, po kateri je tudi imenovan. Sestavljen je pretežno iz silikatnega proda Globoške aloformacije in roženca iz formacije Gora. Ta sediment skoraj v celoti prekriva karbonatni prod Brežiške terase, ki je odkrit samo v njeni ježi ali v posameznih globlje vrezanih potočnih dolinah znotraj samega vršaja (Rižnar, 1996). Proti jugu sega Dolenjevaški vršaj do Brežic, kjer ga prekrivajo drobnozrnati holocenski sedimenti aloformacije Dobrava, na jugozahodu pa je erodiran s holocensko strugo reke Save.

**Šentjernejski vršaj** (vš-Šj) je prostran proluvialno-aluvialni vršaj potoka Pendirjevka pri Šentjerneju, po katerem je bil tudi imenovan (Pleničar & Premru, 1977). Raziskano ozemlje obsega le njegov manjši del zahodno od Kostanjevice. Vršaj skoraj v celoti prekriva Šentjernejsko polje, sestavlja pa ga karbonatni prod, v katerem prevladuje dolomit. V vrtinah Šen-1/10 in Šen-2/10 pri Šentjerneju debelina proda, ki domnevno pripada Šentjernejskemu vršaju, znaša 6 metrov (Pavc, 2011). Ta leži na glini s silikatnim prodom, ki domnevno pripada Krakovskemu alo- členu Krkine aloformacije.

Nastanek Šentjernejskega vršaja je mogoče povezati z domnevnim velikim fosilnim kamninskim podorom v njegovem zaledju, na grebenu Gorjancev pri Trdinovem vrhu. Gradivo plazuje je pozneje, zaradi proluvialnih procesov, preneseno na nižje dele ozemlja in sicer na Šentjernejsko polje, kjer gradi prostrano aluvialno pahljačo. Glede na to, da tukaj prekriva prod Krakovskega aločlena, ki pripada würmski poledenitvi, je starost Šentjernejskega plazua post-würmska, torej holocenska.

## Eluvij (el)

V eluvialne sedimente uvrščamo preperino matične kamnine *in-situ*, ki jo lahko opredelimo tudi kot tla. Pojavlja se v obliki manjših krp na grebenih Krškega hribovja, Orlice in Gorjancev, ki so zgrajeni iz globokomorskih mezozojskih kamnin z veliko roženca. Karbonatni del sedimenta je raztopljen, ostali pa so fragmenti roženec, slabo sprijeti z glinastim vezivom, ki predstavlja netopni ostanek matične karbonatne kamnine. Tako je npr. Verbič (1996) opredelil preperino formacije Gora v razkopu na Krškem hribovju kot

delno marmorirana in delno psevdoglejena tla. Debelina preperine je na splošno znatna in znaša tudi več metrov. Eluvialni sedimenti so prisotni tudi na nekaterih rečnih terasah, kjer so opredeljeni kot tla posameznih aloformacij. Primarna tla, npr. kot karbonatna, oz. *terra rossa* na apnencih in dolomitih, so razvita tudi na drugih delih ozemlja, vendar zaradi njihove neznatne debeline niso posebej izdvojena.

Starost eluvialnih sedimentov je različna; začeli so nastajati v obdobju, ko je bila njihova matična kamnina odkrita na površini, in torej nastajajo tudi danes.

### **Rdeča jerina (terra rossa) (ts)**

Rdeča zemlja so tla, ki jih sestavlja netopni ostanek karbonatnih kamnin. Ta tla so pogosto presedimentirana in ohranjena predvsem v kraških vrtačah. Tam, kjer njihova debelina znaša več kot 1 meter, so tudi posebej izdvojena.

## TEKTONIKA

Raziskano ozemlje leži na območju severovzhodnih Dinaridov ter na zahodnem robu Panonskega bazena (Slika 2). Tektonska enota nižjega reda so Posavske gube, ki so v največji meri del Južnih Alp, njihov južni del pa obsega tudi območje Dinaridov in sicer Notranjih Dinaridov (Placer, 1999; 2009). Naslednja tektonska enota nižjega reda je Balatonska strukturna cona, ki se iz Panonskega bazena, kjer je znana kot Srednjemadžarska cona, podaljšuje na območje Dinaridov. Ozemlje Posavskih gub med Žužemberškim prelomom v Dinaridih, Celjskim prelomom v Južnih Alpah in Zagrebškim prelomom znotraj Srednjemadžarske oz. Balatonske cone, je Placer (1999), glede na enotne strukturne značilnosti, imenoval Posavski strukturni klin.

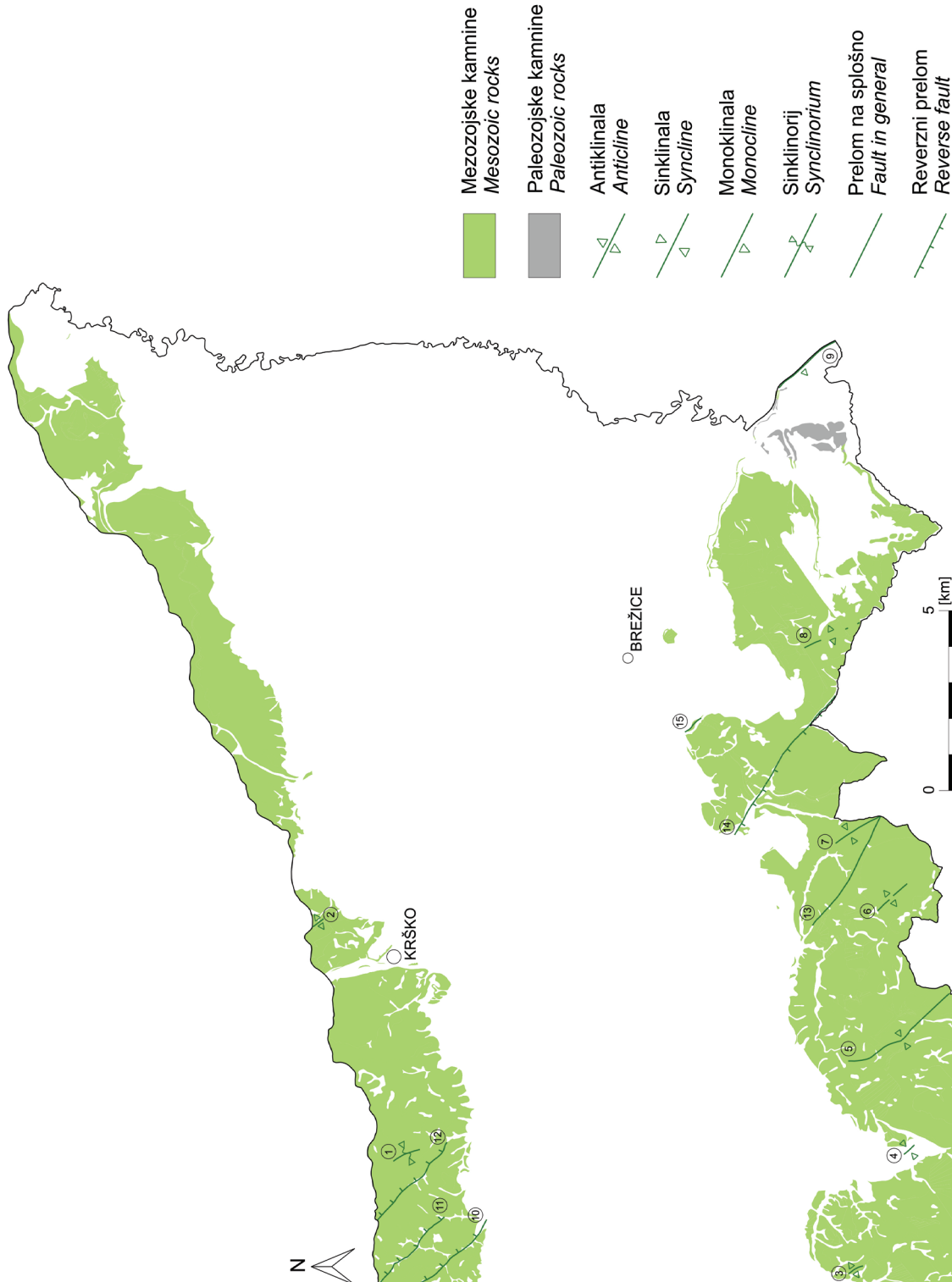
Na raziskanem ozemlju je bilo mogoče ugotoviti in med seboj ločiti več strukturnih in časovnih sklopov. Ti pripadajo dinarskim in balatonskim strukturam ter strukturam Posavskih gub, ki so vse nastajale v časovnem obdobju od konca paleogena do kvartarja.

### DINARSKE STRUKTURE

Izraz *dinarske strukture* se v geološki literaturi običajno uporablja za *longitudinalne* (podolžne) gube, prelome in narive, ki se raztezajo v smeri SZ- JV. Njihov nastanek je povezan s kolizijo Jadranske litosferske mikroplošče, kot odtrganega dela Afriške plošče in Tisine mikroplošče, kot prvotnega dela Evroazijske plošče, pri čemer je Tisina, kot manjša in lažja, narinjena na Jadransko (npr. Šumatovac et al., 2014). Pri tem se je zunanji rob Jadranske mikroplošče nad Mohorovičićevo ali samo Conradovo diskontinuiteto deformiral v gube, kompresijske prelome in narive s smerjo narivanja proti jugozahodu. Ta proces sovпада z začetkom zapiranja Tetide v zgornji juri in spodnji kredi, ki se na tem prostoru končuje ob koncu paleogena in sicer v zgornjem eocenu. Severni del Jadranske mikroplošče je v stiku z Evroazijsko ploščo in je vanjo zarit v obliki klina (Nicolich et al. eds, 2003). Opisana kolizija se je končala ob koncu neogena, njen rezultat so kompresijske podolžne *južnoalpske strukture*, predvsem narivi z glavno smerjo vzhod- zahod, pri čemer je smer narivanja od severa proti jugu.

Na raziskanem ozemlju so dinarske strukture najbolj izražene v Krškem hribovju, medtem ko so na Orlici in Gorjancih večinoma zamaskirane ali prekrive z mlajšimi strukturami, ki pripadajo drugim strukturnim sklopom. Dinarske strukture (*dinarische Streichen*) Gorjancev oz. Uskoških planin (*Uskokan Gebirge*) so ugotovili že Lipold (1958), Tornquist (1919) ter Heritsch in Seidl (1919). Te so označene tudi na novejših geoloških kartah tega ozemlja, med drugimi tudi na listu Novo mesto OGK SFRJ (Pleničar et al., 1977). Na listu Zagreb OGK SFRJ (Šikić et al., 1979) so te interpretirane kot tektonska okna *Dinarika* pod narivom *Supradinarika* v smislu pokrovne zgradbe Dinaridov, ki jo je pozneje detajlno razvil Herak (1986; 1990). Natančno geološko kartiranje je potrdilo avtohtono dinarsko nagubano in razlomljeno zgradbo Gorjancev (Rižnar & Verbič, 1997; Rižnar, 1998; 1999).

Na celotnem raziskanem ozemlju so v okviru dinarskega strukturnega sklopa ločene in imenovane večje podolžne gube, prelomi in narivi. Imena struktur na Gorjancih so delno povzeta po Rižnarju (2005), delno so strukture na novo poimenovane. Pri tem je treba omeniti, da so nekaj dinarskih struktur imenovali že Lipold (1858) ter Heritsch in Seidl (1919) – kot npr. Črnečevaška sinklinala (*Die Synklinale von Schemendorf*), Malenški prelom (*Die Störung von Malence*) ter nekatere druge. Vse strukture v Krškem hribovju in na Orlici so na novo poimenovane; razvite so v kamninah paleozojske in mezozojske starosti (Slika 3).



Slika 3. Dinarske strukture raziskanega ozemlja: 1. Sinklinorij Krškega hribovja, 2. Sreмиška antiklinala, 3. Prekopska antiklinala, 4. Kostanjeviška sinklinala, 5. Črnečevaška sinklinala, 6. Planinska antiklinala, 7. Premagovška sinklinala, 8. Ciriška antiklinala, 9. Breganska monoklinala, 10. Lokavški prelom, 11. Smolniški prelom, 12. Senuški prelom, 13. Suški prelom, 14. Piroški prelom, 15. Malenški prelom.

Figure 3. Dinaric structures of the investigated area: 1. Krško hills synclinorium, 2. Sreмиč anticline, 3. Prekopa anticline, 4. Kostanjevica anticline, 5. Črneča vas syncline, 6. Planina anticline, 7. Premagovce syncline, 9. Bregana monocline, 10. Lokavec fault, 11. Smolinšček fault, 12. Senuša fault, 13. Sušica fault, 14. Pirošica fault, 15. Malence fault.

## Gube

Dinarske gube predstavljajo kompresijske strukture, ki se odražajo kot niz sinklinal in antiklinal in se raztezajo v glavni smeri SZ- JV. Njihove osi tonejo blago proti jugovzhodu oz. proti severozahodu, kar je posledica mlajših strukturnih deformacij.

**Sinklinorij Krškega hribovja (1)** gradi osrednji del Krškega hribovja. V litostratigrafskem smislu ga sestavljajo kamnine krednih formacij. Proti zahodu prehaja v antiklinalo Bučke, ki je izven raziskanega ozemlja, proti vzhodu pa v Sremiško antiklinalo. Os sinklinorija je pri Senušah. V njegovem vzhodnem krilu so kamnine formacije Gora, ki ležijo erozijsko-diskordantno na Glavnem dolomitu, navzgor v normalnem zaporedju sledijo kamnine Krške in Velikotrnske formacije. Slednje so v zahodnem krilu sinklinorija odložene neposredno na triasne dolomite domnevno anizijske starosti (Pleničar et al., 1976). Ta stik je nekoliko tektoniziran, vendar je prav tako erozijsko diskordanten, pri čemer manjkajo starejše kredne plasti. V vzhodnem krilu sinklinorija so breče Velikotrnske formacije delno narinjene na apnenca Krške formacije v smeri od zahoda proti vzhodu. Ta strukturna deformacija po načinu nastanka predstavlja izrivanje kamnin iz jedra gube proti njenim krilom. Os sinklinorija tone blago proti jugovzhodu, kar je posledica poznejših južnoalpskih strukturnih deformacij. Celotna struktura je porušena s številnimi podolžnimi prelomi reverznega značaja. Ti se raztezajo v smeri SZ- JV, smer narivanja je proti jugozahodu. Nastali so istočasno kakor gube, pozneje pa so postali večinoma zmični.

**Sremiška antiklinala (2)** je severovzhodno nadaljevanje sinklinorija Krškega hribovja in gradi hrib Sremič nad Krškim, po katerem je tudi poimenovana. Jedro antiklinale je zgrajeno iz dolomita »Mendolske« formacije. V zahodnem krilu gube je normalno zaporedje Psevdoziljske formacije in Glavnega dolomita, medtem ko je v vzhodnem krilu Mendolski dolomit v prelomnem stiku s klastičnimi kamninami formacije Gora. Celotna guba je deformirana z mlajšimi balatonskimi prelomi v smeri JZ- SV, ki imajo levozmični značaj.

**Prekopska antiklinala (3)** je del podolžnih dinarskih struktur Gorjancev. Njena os je pri vasi Prekopa, po kateri je guba tudi imenovana. V jedru antiklinale je Glavni dolomit, v krilih pa Dachsteinski apnenec. Celotna antiklinala je tako kot vse gube Gorjancev močno deformirana s prelomi *balatonske* strukturne cone.

**Kostanjeviška sinklinala (4)** je manjša guba, ki se proti vzhodu nadaljuje iz Prekopske antiklinale. Vidna je samo v krednih klastičnih kamninah pri Kostanjevici, po kateri je tudi imenovana. V sinklinalno zgradbo so vključeni skladi formacije Gora in Krške formacije, medtem ko so plasti Glavnega dolomita in Dachsteinskega apnenca v njihovi podlagi enotno nagnjeni proti severovzhodu. Vzhodno krilo gube je v prelomnem stiku s Črnečevaško antiklinalo ob mlajšem normalnem prelomu, ki poteka po dolini Orehovškega potoka; nagubane plasti neogenskih kamnin v jedru sinklinale so del mlajših strukturnih deformacij.

**Črnečevaška sinklinala (5)**, imenovana po Črneči vasi, je ločena od Kostanjeviške sinklinale s prej navedenim normalnim prelomom po dolini Orehovškega potoka. Zahodno krilo sinklinale je zgrajeno iz Glavnega dolomita in Dachsteinskega apnenca. V tem delu sinklinale so kredne plasti narinjene proti jugozahodu na triasno podlago. Ta tektonski stik je mogoče pojasniti kot iztiskanje kamnin iz jedra sinklinale na njena krila; v vzhodnem krilu strukture ležijo kredne plasti diskordantno na triasnih. Os sinklinale je blago nagnjena proti severozahodu in deformirana s prelomi *balatonske* strukturne cone.

**Planinska antiklinala (6)** je zgrajena iz Glavnega dolomita in Dachsteinskega apnenca v jedru ter iz jurskih in krednih karbonatno- klastičnih kamnin v njenih krilih. Os antiklinale leži pri vasi Planina, po kateri je struktura tudi poimenovana. Blago je nagnjena proti severozahodu, kjer so triasno-jurske karbonatne kamnine delno narinjene proti severozahodu na jursko-kredne kamnine. Ta strukturna deformacija je mlajša, tako kot pri drugih dinarskih gubah.

**Premagovška sinklinala (7)** je imenovana po vasi Premagovce, kjer poteka njena os. V jedru je zgrajena iz jursko-krednih karbonatnih in klastičnih kamnin, v krilih pa iz triasno-jurskih karbonatnih kamnin. V njenem severovzhodnem krilu je manjša sekundarna sinklinala, ki je v celoti zgrajena iz jursko-krednih kamnin.

Te so v njenem severovzhodnem krilu v normalnem odnosu z zgornjetriasnimi karbonati, v jugozahodnem pa so narinjeni na kredne klastite jedra glavne sinklinale ob reverznem prelomu, ki se razteza vzdolž Pirošiškega potoka. Os glavne sinklinale blago tone proti severozahodu.



**Cirniška antiklinala (8)** tvori prostrano območje hriba Cirnik nad Čatežem, po katerem je tudi poimenovana. V jedru antiklinale so zgornjetriasni dolomiti in podrejeno triasno-jurski apnenci, v krilih pa jursko-kredni apnenci in klastiti. V jugozahodnem krilu gube so triasno-jurski karbonati delno narinjeni na jursko-kredne klastične kamnine, kar je najboljše vidno v opuščnem kamnolomu pri vasi Izvir. Os antiklinale blago tone proti severozahodu, kjer so triasno-jurski karbonati delno narinjeni na jursko-kredne karbonate in klastite, vendar v okviru mlajših strukturnih deformacij. V jugovzhodnem delu je antiklinala deformirana ob mlajših balatonskih prelomih, in sicer tako, da so deli gube premaknjeni proti jugozahodu ob levozmičnih prelomih. Zaradi te deformacije ni popolnoma jasen odnos Cirniške antiklinale s sosednjo antiklinalo, ki gradi Marijagoriške hribe vzhodno od reke Sotle.

Cirniško antiklinalo lahko domnevno povežemo s Sremiško antiklinalo na severni strani Krške kotline, in sicer preko t. i. *Drnovskega praga* (Kranjc et al., 1990), ki leži v osrednjem delu Krške kotline pod neogenskimi in kvartarnimi sedimenti, ter loči loči mlajšo Krško sinklinalo v dve brahisinklinali.

**Breganska monoklinala (9)** je novoimenovana struktura, in sicer po mestu Bregana, kjer je odkrito jugozahodno krilo večje antiklinale, katere plasti so pretežno nagnjene proti jugozahodu. Zgrajeno je iz permskih in spodnje- do zgornjetriasnih kamnin. Jedro antiklinale se domnevno razteza na območju Marijagoriškega hribovja vzhodno od reke Sotle, ki je zgrajeno iz permskih kamnin, ki so pretežno pokrite z neogenskimi kamninami. Jugozahodno krilo antiklinale je na slovenskem delu ozemlja deformirano z mlajšimi balatonskimi levozmičnimi prelomi.

## Prelomi

Dinarski prelomi so nastali v kompresijskem napetostnem polju. Sprva reverzni so bili kasneje reaktivirani v desnozmične. Prostorsko porazdelitev prelomov na območju Gorjancev in Krškega hribovja prikazuje Slika 3, pri čemer so najboljše izraženi na območju slednjega. Na območju Gorjancev so sorazmerno redki, na območju Orlice pa prelomi niso vidni.

**Lokavški prelom (10)** se razteza v smeri SZ- JV po dolini potoka Lokavec, po katerem je tudi poimenovan. Prelom je izražen kot široka zdrobljena cona v zgornjekrednih brečah Velikotrnske formacije s številnimi prelomnimi ploskvami. Ti imajo vergenco pretežno proti severovzhodu, ob njih je krovniško krilo delno narinjeno proti jugozahodu. V poznejših strukturnih deformacijah je prelom postal desnozmičen; ta premik se kaže v obliki številnih horizontalnih drs na prelomnih ploskvah znotraj prelomnega pasu.

**Smolinški prelom (11)** se razteza po dolini potoka Smolina, po katerem je tudi poimenovan. Tudi to je prvotno reverzni prelom s smerjo narivanja od severovzhoda proti jugozahodu. Mlajša strukturna deformacija je desni horizontalni premik, ki se izraža z manjšimi obprelomnimi gubami v klastičnih kamninah Velikotrnske formacije.

**Senuški prelom (12)** je naslednji večji dinarski prelom Krškega hribovja. Podobno kot drugi iz te skupine ima prvotni reverzni značaj s smerjo narivanja od severovzhoda proti jugozahodu ter poznejši horizontalni desnozmični značaj. Prelom označuje široka zdrobljena cona v zgornjekrednih Velikotrnskih brečah, kjer so nastale številne kraške vrtače. Zaradi horizontalnega premika njegovih kril so se razvile številne manjše obprelomne gube.

**Sušiški prelom (13)** spada med večje dinarske prelome na območju Gorjancev. Poteka po dolini potoka Sušica, po kateri je tudi poimenovan. V severozahodnem delu je pokrit z aluvialnimi sedimenti, v jugovzhodnem delu pa poteka preko klastičnih kamnin formacije Gora. Njegov prvotni, domnevno reverzni značaj ni viden, poznejši horizontalni zmik pa se kaže v obliki številnih manjših obprelomnih gub v klastičnih krednih kamninah.

**Pirošiški prelom (14)** poteka po dolini Pirošiškega potoka, po katerem je tudi poimenovan. V tej dolini je prekrit z aluvialnimi sedimenti, od Izvira naprej proti jugovzhodu poteka po dolini potoka Sklednik v Glavnem dolomitu. Traso preloma označuje široka zdrobljena cona, ki je povzročila tudi nastanek globoke soteske potoka Sklednika. Pri Gornji Pirošici je reverzni značaj preloma viden na posameznih prelomnih ploskvah v spodnjekrednih brečah formacije Gora, ki so nagnjene proti jugozahodu. Ob njih so spodnjekredne breče narinjene proti severovzhodu na krovniške spodnjekredne klastite. Ta premik lahko

podobno kot pri Krškem sinklinoriju pojasnimo z izrivanjem jedra sinklinale na njena krila. vzdolž celotne doline Pirošiškega potoka oz. vzdolž Pirošiškega preloma se poznejša horizontalna komponenta premika preloma odraža v številnih manjših obprelomnih gubah v krednih klastitih formacije Gora.

**Malenški prelom (15)** poteka po dolini Globoškega potoka pri Velikih Malencah. Prelom je zaradi njegovega poimenovanja po starejši geološki literaturi dobil ime po kraju in ne po potoku, kot v ostalih primerih. Prelomna ploskev preloma je pokrita z aluvialnimi sedimenti Globoškega potoka, tako da njegov prvotni značaj ni viden. Premik geoloških mej jursko-krednih formacij na obeh straneh doline je posredno znamenje mlajšega horizontalnega premika. Prelom je bil pozneje reaktiviran kot desnozmični, kar je neposredno vidno na posameznih prelomnih ploskvah v Litotamnjskem apnencu Laške formacije.

V dinarske strukture oziroma prelome uvrščamo tudi tiste v smeri JZ- SV, za katere se v geološki literaturi običajno uporablja izraz *transverzalni* ali *prečno-dinarski*. To so prelomi, ki so imeli prvotno tenzijski značaj, pozneje pa so se razvili v levozmične ali normalne. Najbolje so vidni in prepoznavni v Krškem hribovju, kjer skoraj praviloma ležijo med dinarskimi podolžnimi prelomi. Na Orlici in na Gorjancih se prekrivajo z balatonskimi in jih je zaradi tega medsebojno težko razlikovati.

## STRUKTURE POSAVSKIH GUB

Strukture Posavskih gub so sestavljene iz podolžnih gub, prelomov in narivov, ki se raztezajo v generalni smeri vzhod- zahod in so nastale kot posledica regionalne kompresije v smeri S- J v času neogena, sočasno ali po premiku Južnih Alp od severa proti jugu. Proti vzhodu in severovzhodu se strukture Posavskih gub nadaljujejo v Srednjemadžarsko strukturno cono, za katero so značilne podolžne strukture, v glavnem prelomi v smeri jugozahod- severovzhod.

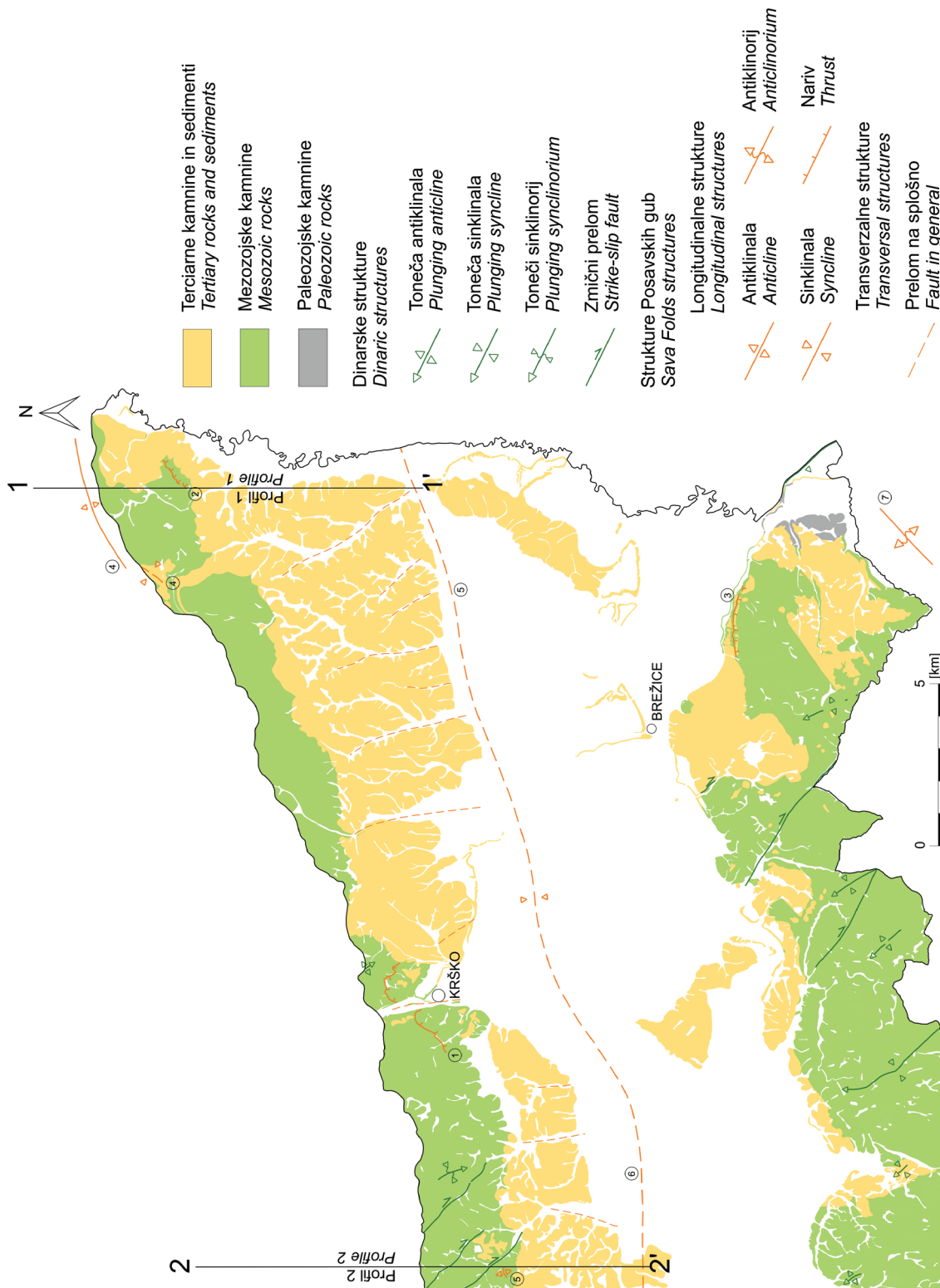
Na raziskanem ozemlju je bilo glede na njihovo starost mogoče ločiti dve skupini podolžnih struktur Posavskih gub. V prvi skupini so reverzni prelomi ali narivi, kot so Videmski, Bizeljski in Čateški, ki so zgodnjeneogenske oziroma pred-badenijske starosti. V drugi skupini so gube, kot so Orliška antiklinala, Krška antiklinala, Krška sinklinala in Antiklinorij Gorjancev, ki so poznoneogenske oziroma post-pontijske starost (Slika 4).

### Strukture zgodnjeneogenske starosti

**Videmski nariv (1)**, imenovan po Vidmu, je dobro viden na južnem pobočju Trške gore in Sremiča ter v soteski reke Save. Narivna ploskev je blago nagnjena proti jugu do jugovzhodu. Ob njem so klastične kamnine formacije Gora, Krške in Velikotrnske formacije narinjene proti severu do severozahodu na dolomit »Mendolske« formacije in na Glavni dolomit. V krovninskem krilu nariva so razvite številne gube metrskih dimenzij, ki so nagnjene v smeri narivanja, to je proti severu in severozahodu. Vidne so na pobočju Sremiča in v koritu reke Save. V vzhodnem delu je Videmski nariv odrezan z dinarskim podolžnim prelomom, v vzhodnem pa ploskev nariva prekrivajo badenijski skladi Laške formacije.

**Bizeljski prelom (2)** ali nariv je prvotno imenovan in označen na jugozahodnem pobočju Orlice kot normalni prelom, ob katerem je pogreznjeno njegovo jugovzhodno krilo (Aničić & Juriša, 1985a; 1985b). Vendar je podrobno geološko kartiranje pokazalo, da je to reverzni prelom z vpadom prelomne ploskve proti jugu do jugovzhodu ter smerjo narivanja proti severu do severozahodu (Poljak, 2000). Ob njem so karbonatne kamnine Dachsteinske in Biancone formacije narinjene na klastične kamnine formacije Gora. V severovzhodnem delu je prelom odrezan z mlajšim normalnim prelomom, ki se razteza v smeri SZ- JV, v jugozahodnem delu pa ga prekrivajo kamnine Laške formacije.

**Čateški prelom (3)** ali nariv, imenovan po Čatežu ob Savi, se na površini odraža kot več metrov široka zdrobljena cona v Glavnem dolomitu, ki se razteza v smeri zahod- vzhod ob vznožju Gorjancev od Prilip do Ribnice. Posamezne razpoke ali manjše prelomne ploskve s tektonskimi drsami v coni preloma so dokaj položne, z vpadom proti jugu in z ocenjeno smerjo narivanja proti severu. Zato sklepamo, da gre za nariv, ki pripada isti skupini kot Videmski in Bizeljski. Ploskev Čateškega nariva je v vzhodnem delu prekrita s kamninami Laške formacije, v vzhodnem pa s kvartarnim oziroma holocenskim nanosom reke Save.



Slika 4. Strukture Posavskih gub raziskanega ozemlja: 1. Videmski nariv, 2. Bizeljski prelom. 3. Čateški prelom (nariv), 4. Orliška antiklinala, 5. Antiklinala Krškega hribovja, 6. Krška sinklinala, 7. Antiklinorij Gorjancev.

Figure 4. Sava Folds structures of the investigated area: 1. Videm thrust, 2. Bizeljsko fault, 3. Čatež fault (thrust), 4. Orlica anticline, 5. Krško syncline, 7. Gorjanci Mts. anticlinorium.

## Strukture poznoneogenske starosti

**Orliška antiklinala (4)** je poimenovana po istoimenski gori, ki gradi severni rob Krške kotline (Aničić in Juriša, 1985a; 1985b). Gorski hrbet Orlice se razteza v smeri JZ- SV, prav tako kot os antiklinale, pri čemer je teme antiklinale na severnem pobočju Orlice (Slika 5).

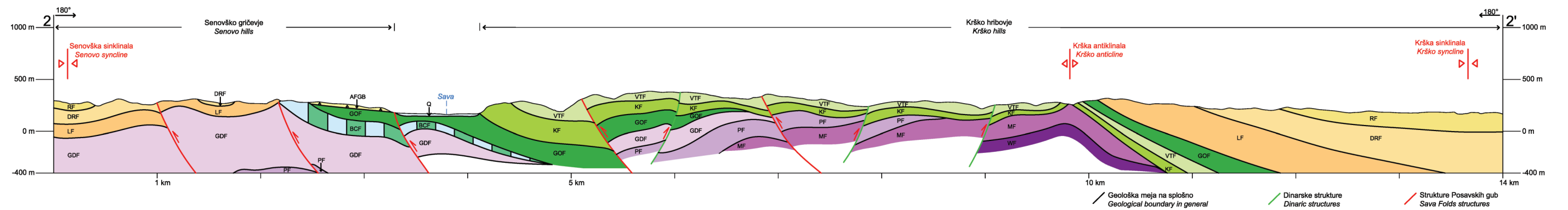
V jedru antiklinale so najstarejše odkrite kamnine paleozojske starosti (*permokarbonske*, po Aničiću in Juriši, 1985b). V normalnem stratigrafskem zaporedju v južnem krilu gube si sledijo kamnine naslednjih formacij: Werfenske, »Mendolske«, Psevdoziljske, Glavnega dolomita, Dachsteinske, Izvirske, Biancone, Gore in Krške. Transgresijsko na paleozojsko-mezozojski skladovnici ležijo neogenske kamnine in sedimenti Laške formacije ter Posavske grupe formacij. Med skladi neogenskih formacij in njihovih členov obstajajo stratigrafske vrzeli in kotne strukturne diskordance, kar se odraža v vpadih plasti posameznih formacij. Tako znaša statistični vpad plasti, izmerjen na širšem področju Globokega, v predneogenski podlagi 160/66, v badenijsko-sarmatijskem apnencu 168/30, v panonijskem *laporju* 175/16 in v pontijskem pesku 176/15. Globoška aloformacija je odložena diskordantno na neogensko podlago, vendar je časovni razpon te stratigrafske vrzeli daljši, tako da je posledično naklon plasti Globoške formacije sorazmerno blag in znaša največ 8° (vpad 180/08) (Poljak, 1999). Navedeni podatki kažejo na postopno gubanje Orlice v času neogena, vsaj od srednjega miocena (badenija) do konca pliocena, s tem da se je glavno gubanje zgodilo po pontiju. Plasti posameznih formacij kažejo poleg razlik v naklonu, kot je razvidno iz statističnih vrednosti, tudi razliko v slemenitvi, in sicer kot odklon 20° od vzhoda proti zahodu v času neogena. To se tako kvalitativno kakor tudi kvantitativno, pretežno ujema s podatki, pridobljenimi s paleomagnetnimi meritvami v neogenskih skladih na širšem območju Krškega hribovja, Orlice in Gorjancev, kjer je od konca krede do konca pliocena vidna postopna rotacija ozemlja v nasprotni smeri urinega kazalca za približno 30° (Márton et al., 2006).

Orliška antiklinala je tudi sekundarno nagubana. Pri Zagaju je v temenu glavne gube manjša sinklinala, zgrajena iz kamnin Litotamnjskega apnenca in Laškega *laporja*. Na območju Kunšperške gore severno od raziskanega terena, je prav tako tudi podobna manjša sinklinala. Osi obeh sinklinal se enako kot os glavne gube raztezajo v smeri JZ- SV. Njihov nastanek je najverjetneje istočasen nastanku celotne antiklinale. Na severnem pobočju Orlice je osna ravnina antiklinale rahlo nagnjena proti jugu do jugovzhodu. To je domnevno posledica delnega narivanja ob reverzних prelomih proti severu, pri čemer leži topografsko najvišji osrednji gorski greben Orlice v krovninskem krilu teh narivov.

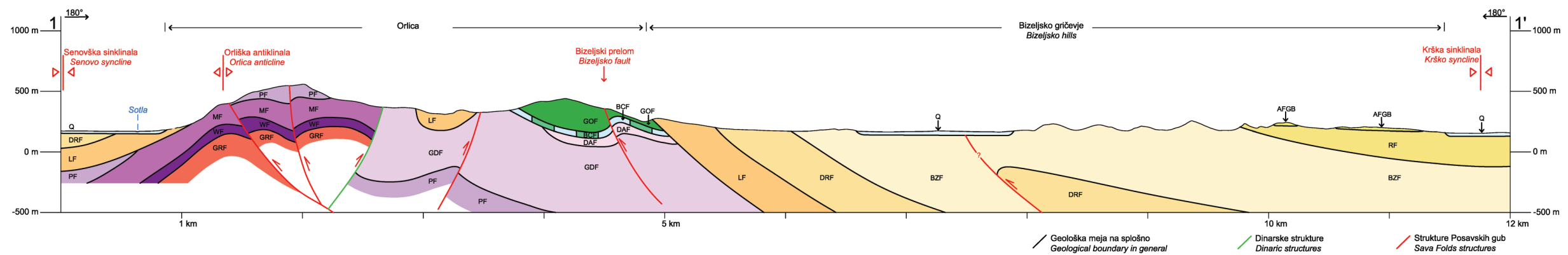
**Krško hribovje** predstavlja jugozahodni morfološki podaljšek Orlice, ki ga Pleničar in Premru (1977) imenujeta *gruda Krškega hribovja*. V severnem delu Krškega hribovja in Senovškega gričevja so plasti mezozojskih kamnin v strukturnem smislu nagnjene proti jugu do jugovzhodu in predstavljajo južno krilo Litijske antiklinale. V južnem delu Krškega hribovja izdanja izpod krednih plasti srednjetriasni dolomit, ki predstavlja domnevno jedro manjše antiklinale, ki se razreza v glavni smeri Z- V in ki se proti jugu nadaljuje v Krško sinklinalo. Ta je imenovana **Krška antiklinala (5)**. V severnem delu Krškega hribovja ter v Posavskem hribovju, severno od reke Save so ugotovljeni reverzni prelomi ali narivi s smerjo narivanja proti severu. Ti so domnevno povzročili tudi nastanek Senovške sinklinale, v kateri so v sinklinalno zgradbo vključene samo neogenske plasti, medtem ko so mezozojske enakomerno nagnjene proti jugu (Slika 6). Enega od opisanih narivov imenuje Buser (1978; 1979) Šentjanški nariv; glede na navedbe istega avtorja, leži Krško hribovje v krovninskem krilu tega nariva.

Glede na to, da so v nagubano zgradbo Krškega hribovja vključene vse plasti neogenske starosti, vključno s t. i. *pliokvartarnimi* (aloformacija Globoko), ki sicer gradijo najbolj južne dele Krškega hribovja, je starost gubanja in verjetno tudi narivanja post-neogenska. Glede na to, da je med pontijskimi in *pliokvartarnimi* plastmi kotna diskordanca, ki znaša najmanj 10°, je očitno, da se je glavno gubanje zgodilo po pontiju.

**Krška sinklinala (6)** je jugovzhodno nadaljevanje Orliške antiklinale, pri čemer predstavlja njeno jugovzhodno krilo, zgrajeno iz neogenskih sedimentov, ob enem severozahodno krilo Krške sinklinale. V istem krilu slednje so tudi kredne in neogenske plasti Krške antiklinale. Proti jugu in jugovzhodu prehaja Krška sinklinala v Antiklinorij Gorjancev. Os Krške sinklinale (Pleničar in Premru, 1977) se nadaljuje proti severovzhodu na ozemlje sosednje Hrvaške, kjer je le-ta imenovana *Sinklinala Brezina*-Veliko Trgovišče (Šikić et al., 1979), Bizeljsko-Zagorska sinklinala (Aničić in Juriša, 1985b) in Sinklinorij *Hrvaškega Zagorja* (Šimunić et al., 1982a; 1982b).



Slika 5. Geološki profil preko Krškega hribovja, 1 : 25 000. Podatki izven raziskanega ozemlja po: Buser, 1979; Bavec in sod., 2004a.  
 Figure 5. Geological profile across the Krško Hills, 1 : 25 000. Data out of the investigated area after: Buser, 1979; Bavec et al., 2004a.



Slika 6. Geološki profil preko Orlice, 1 : 25 000. Podatki izven raziskanega ozemlja po: Aničić in Juriša, 1985.  
 Figure 6. Geological profile across the Orlica Mt., 1 : 25 000. Data out of the investigated area after: Aničić & Juriša, 1985.



Jedro Krške sinklinale se razteza vzdolž Krške kotline v smeri Z- V do JZ- SV in je pokrito s kvartarnimi sedimenti Krško-Brežiškega polja. Položaj jedra sinklinale je ugotovljen posredno in sicer z geofizikalnimi gravimetričnimi in seizmičnimi podatki. Njihov najbolj ilustrativni del so profili seizmične refleksije (Kaloper, 1984; Djurasek, 1995; Gosar et al., 1994; Gosar & Živanović, 1995 ter Persoglia, ed., 2000), iz katerih je razvidno, da je Krška sinklinala asimerična guba z bolj strmim severozahodnim krilom in bolj položnim ter rahlo nagubanim jugozahodnim krilom. V nagubano zgradbo je vključena celotna skladovnica neogenskih kamnin, ki je bila ugotovljena v vrtini DRN-1/89 (Kranjc et al., 1990). Poleg neogenskih, vključno s pliokvartarnimi sedimenti, so v sinklinalno zgradbo vključeni tudi kvartarni sedimenti spodnje- in srednjepleistocenske starosti (Verbič, 1995; Verbič et al., 2000; Zajc, 2015), medtem ko so sedimenti zgornjepleistocenske in holocenske starosti v primarnem horizontalnem položaju (Verbič, 1995; Verbič et al., 2000).

Krška sinklinala je v smeri raztezanja zgrajena iz dveh kadunj, ki prestavljata v strukturnem smislu dve brahisinklinali. Prva kadunja je na območju Rake in je imenovana Raška depresija, druga pri Globokem, in je imenovana Globoška depresija (Gosar et al., 2005). V Raški depresiji so v nagubano zgradbo vključene plasti pred-neogenske podlage in tudi pred-badenijske plasti, verjetno ottngangijske starosti, medtem ko so badenijske in ostale mlajše plasti horizontalne. V Globoški depresiji so nagubane vse plasti pred-neogenske in tudi neogenske in kvartarne starosti. Debelina neogenskih plasti znaša v Raški kadunji nekaj manj kot 2 000 metrov, v Globoški pa presega 2 000 metrov. Domnevamo, da sta obe depresiji ekstenzijski strukturi, ki ležita pravokotno na os največje glavne napetosti ( $\sigma_1$ ), ki je na območju Krške kotline v smeri S- J (Gosar et al., 2005). To predpostavko podpirajo normalni listrični prelomi, domnevno »dinarske« smeri, ki so ugotovljeni na seizmičnem refleksijskem profilu KK-01-99 in ki v grobem omejujejo obe depresiji v smeri S- J in so nagnjeni tako proti vzhodu, kot tudi proti zahodu (Persoglia ed., 2000).

**Gorjanci oz. Žumberak** se v geografski literaturi opredeljujejo kot *gorski čok* (npr. Melik, 1959; Rakovec, 1956), kar v strukturnem smislu odgovarja tektonskemu horstu, kar je ponekod povzeto tudi v geološki literaturi (npr. Premru, 1976; 1996; Pleničar & Premru, 1979). Tovrstna strukturna oblika predpostavlja obstoj podolžnih normalnih prelomov na obeh straneh masiva Gorjancev in tenzijsko stopničasto pogrežanje tektonskih blokov proti severozahodu, oz. jugovzhodu. Tomljenović in Csontos (2001) interpretirata Gorjance kot kompresijsko strukturo in sicer tako, da je njihov severni del narinjen proti severozahodu ob nizu podolžnih reverzних prelomov, ki se raztezajo v smeri ZJZ- VSV. Glede na to, da raziskano območje zajema samo severni del celotnega masiva Gorjancev, ni mogoče zanesljivo opredeliti njihovega pravega in celotnega strukturnega značaja. Vendar nam podatki detajlnega geološkega kartiranja severnega pobočja Gorjancev (Verbič & Rižnar, 1997; Rižnar, 1998; 1999) kažejo, da so le ti nedvomno kompresijska strukturna oblika, ki se odraža kot velika sestavljena antiklinala in jo zato imenujemo **Antiklinorij Gorjancev (7)**. Os antiklinorija leži južno od Bregane in se razteza v smeri JV – SZ. Severno krilo je sekundarno nagubano, pri čemer se osi manjših gub raztezajo pretežno v isti smeri kot os celotne gube.

Kompresijski značaj Gorjancev potrjujejo tudi osi dinarskih antiklinal in sinklinal, ki tonejo proti severozahodu. Pri tem so antiklinale, kakršni sta Planinska in Ciriška, ki sta v jedru zgrajeni iz zgornje triasnih karbonatnih kamnin, tudi delno narinjene proti severozahodu ob reverzних prelomih in narivih na jursko-kredne karbonatno-klastične kamnine.

O starosti gubanja ne moremo zanesljivo sklepati po geoloških podatkih iz raziskanega ozemlja. Na severni strani Gorjancev so namreč najmlajši odkriti nagubani skladi badenijske starosti, vendar so na južni strani, ki gradi severni rob Karlovške kotline, v nagubano zgradbo vključeni tudi panonijski in pontijski sedimenti (Šikić et al., 1978). Sklepamo lahko torej, da je gubanje Gorjancev post-pontijsko. *Pliokvartarni* sedimenti aloformacije Globoko so na severnem pobočju prav tako blago nagnjeni proti severu do severozahodu, kar kaže, da je starost gubanja Gorjancev tudi pliocenska ali post-pliocenska.

Strukturni sklop Posavskih gub sestavljajo tudi prečne strukture, ki ležijo pravokotno na podolžne in se na raziskanem ozemlju odražajo v glavnem kot krajši prelomi v smeri S- J do SZ- JV.

Na južnem pobočju Krškega hribovja so ob prelomih v smeri S- J nastale potočne doline Lokavec, Senuša in Rakovnik ter globoka soteska reke Save od Brestanice do Krškega. Glede na to, da so doline navedenih potokov zapolnjene z aluvialnimi sedimenti, prelomne ploskve domnevnih prelomov niso vidne neposredno, z izjemo doline Save. Na obstoj prelomov sklepamo posredno in sicer na podlagi položaja

pliokvartarnih sedimentov Globoške aloformacije na obeh bregovih potočnih dolin. Ti ležijo namreč na različnih nadmorskih višinah, kar kaže na normalni značaj teh prelomov in posledično diferencialno dviganje tektonskih blokov ter diferencialno erozijo navedenih sedimentov.

Na južnem pobočju Orlice so prav tako razvite izrazite potočne doline v smeri S- J do SZ- JV. To so doline Močnika, Sromljice, Gabrnice, Tisnjaka, Žabljaka in Dramlje. Domnevamo, da so te tektonsko pogojene oziroma so nastale zaradi erozije vzdolž transversalnih prelomov. Same trase prelomov niso vidne, ker so navedene potočne doline praviloma zapolnjene z aluvialnimi kvartarnimi sedimenti. Vendar na obstoj prelomov sklepamo, podobno kot v Krškem hribovju, na podlagi dejstva, da ležijo sedimenti Globoške aloformacije na različnih nadmorskih višinah, kar je domnevno posledica različnega dviganja posameznih tektonskih blokov in posledične diferencialne erozije opisanih sedimentov. Ta deformacija je nastala v sklopu mlajšega strukturnega sklopa in sicer ob prej omenjeni rotaciji ozemlja v nasprotni smeri urinega kazalca.

V tenzijske strukture lahko uvrstimo tudi t. i. Libenski prelom, ki poteka v smeri SZ- JV poševno čez hrib Libna nad Vidmom, torej pravokotno na os Orliške antiklinale (Poljak, 1996; Poljak, 1997a). Prelom je domnevno škarjast in sicer je ob njegovem severozahodnem delu vzhodni del Libne domnevno pogreznjen glede na zahodnega. V coni preloma v Litotamnijskem apnencu Laške formacije so vidne horizontalne drse, kar po drugi strani kaže na njegov zmični značaj. Te deformacije so prav tako nastale pozneje in v drugem napetostnem polju.

## SREDNJEMADŽARSKE (BALATONSKE) STRUKTURE

Za celotno Srednjemadžarsko cono in njen jugozahodni podaljšek, oz. t. i. Balatonsko strukturno cono so značilni podolžni prelomi, ki se raztezajo v smeri ZJZ- VSV. Prelomi so kompresijski, in sicer reverzni s smerjo narivanja proti severu (Schmidt et al., 2008). V osrednji Madžarski je to posledica obdukcije Tisine mikroplošče na Evroazijsko ploščo, v Balatonski coni na območju Dinaridov pa je narivanje posledica drugih geodinamskih procesov, ki še niso v celoti pojasnjeni. V poznejši fazi razvoja so se balatonski prelomi razvili v zmične in sicer v levozmične prelome. Zaradi horizontalnega zmička se ob njih pojavljajo številne obprelomne sekundarne strukture. Balatonski prelomi so številni na ozemlju Gorjancev, medtem ko je na severnem robu Krške kotline in sicer na Orlici, od njih prisoten samo Orliški prelom. Podolžni balatonski prelomi so opredeljeni kot primarne strukture, druge obprelomne strukture pa kot sekundarne, ki so razvite kot gube manjših dimenzij ter manjši normalni do zmični prelomi (Slika 7).

### Primarne Balatonske strukture

**Orliški prelom (1)**, ki sta ga poimenovala Aničić in Juriša (1985b), lahko uvrstimo v balatonske strukture le pogojno. Razlog za to je dejstvo, da se razteza v smeri JZ- SV za razliko od značilnih balatonskih struktur, ki se raztezajo v smeri ZJZ- VSV. Poteka tudi poševno čez masiv Orlice, torej tudi poševno čez Orliško antiklinalo. Prelom se odraža kot širok zdrobljen pas predvsem v karbonatnih kamninah badenijske in triasne starosti. Ta je delno viden v dolini potoka Potočnica severno od Vidma v Litotamnijskem apnencu Laške formacije ter v zgornjetriasnem Glavnem dolomitu v usekih potočnih dolin na Orlici. Po položaju prelomne cone v reliefu sklepamo, da je ploskev preloma pretežno vertikalna, vendar se na nekaterih mestih vidi njen strm vpad proti severozahodu ali proti jugovzhodu. Glede na to, da raziskano ozemlje zajema samo manjši, jugozahodni del Orliškega preloma, ne moremo zanesljivo opredeliti njegovega celotnega značaja. V dolini Potočnice pri Vidmu, ki je zapolnjena z aluvialnimi sedimenti, je območje preloma ugotovljeno posredno s pomočjo refrakcijske seizmike (Živanović et al., 1998). Odraža se kot nekaj deset metrov širok zdrobljen pas v Litotamnijskem apnencu. V delu preloma, ki poteka od Zgornje Pohance do Pečic, je prelom ugotovljen posredno in sicer po premiku geoloških mej v njegovih krilih.

V post-neogenski fazi razvoja je Orliški prelom nedvomno zmični in sicer levozmični. To je najbolj izraženo na hribu Libna pri Vidmu, kjer je os celotne Libenske gube (Libenska antiklinala in Črnomlaška sinklinala) premaknjena ob Orliškem prelomu v levo smer za približno 100 metrov (Poljak, 1996; 1997a).



Na Gorjancih so primarne podolžne balatonske strukture nedvomno snopi prelomov v smeri JVJ- ZSZ. Dobro so izraženi na območju med Kostanjevico in Šentjernejem ter med Čatežem in Obrežjem. Glede na smer narivanja proti severu ali jugu, imajo prvotno reverzni značaj, pozneje pa so dobili horizontalni, v glavnem levozmični značaj. Reverzna komponenta premika se odraža pretežno samo posredno, kot vertikalni premiki posameznih tektonskih blokov. Najboljši primer tega je večji tektonski blok Golega Cirnika nad Čatežem; blok gradijo zgornjetriasni apneneci in dolomiti, kjer so domnevno zaradi dviganja, erodirane mlajše neogenske kamnine. Zaradi kompresijskega napetostnega polja ima dviganje lahko značaj t. i. *pop-up* strukture, torej strukture iztiskanja, ali t. i. *flower* transpresijske strukture. Zmična komponenta premika ob navedenih prelomih je vidna neposredno v prelomnih conah, predvsem v karbonatnih kamninah triasne in neogenske starosti, kot številne horizontalne tektonske drse. Posredni kazalnik horizontalnih premikov so zamiki geoloških mej ter različne obprelomne strukture, kot so manjše gube ali normalni prelomi.

### **Sekundarne balatonske strukture**

V sekundarne balatonske strukture uvrščamo tiste, ki so nastale ob horizontalnih zmikih vzdolž glavnih podolžnih prelomov. To so v prvi vrsti t. i. *ešalonirane* gube kot kompresijske ter normalni prelomi kot tenzijske strukture. V nagubano in prelomno zgradbo so vključene predvsem neogenske kamnine in ponekod plio-pleistocenski sedimenti Globoške aloformacije.

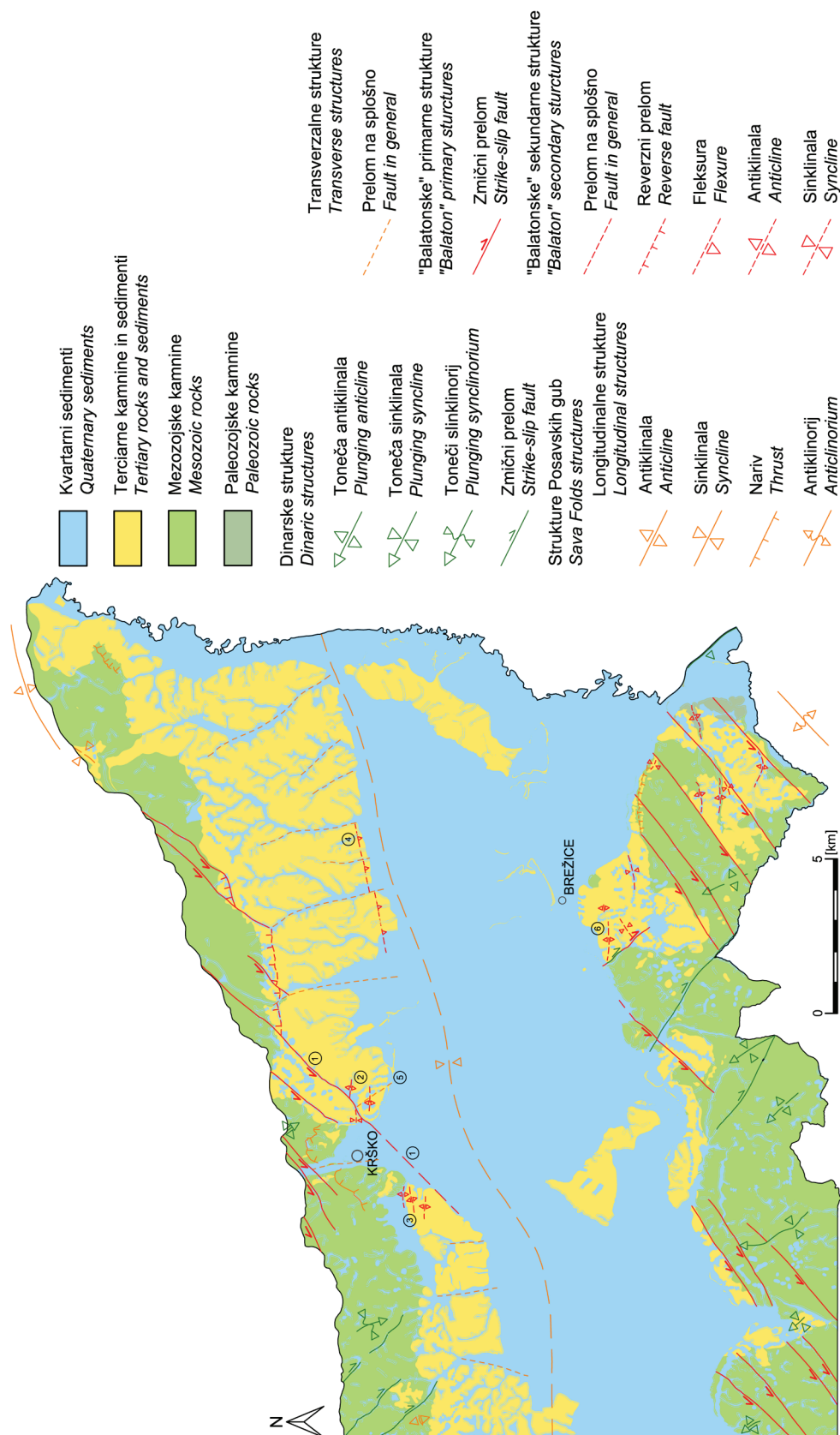
Kompresijske obprelomne gube so dobro izražene predvsem ob Orliškem prelomu. To je domnevno kompletna Libenska guba, ki jo sestavljata Libenska antiklinala in Črnomlaška sinklinala ter niz manjših sinklinal in antiklinal pri Leskovcu. V isto skupino struktur lahko uvrstimo tudi Artiško fleksuro.

**Libenska antiklinala (2)** gradi hrib Libna nad Vidmom. Opredeljena in poimenovana je pri detajlnem geološkem kartiranju in poznejši reambulaciji tega ozemlja (Poljak, 1996; Poljak, 1997a). V gubanje so vključene plasti Litotamnijskega apnenca in sedimenti aloformacije Globoko. Antiklinalna zgradba Litotamnijskega apnenca je ugotovljena tudi s refleksijskim seizmičnim profiliranjem (Gosar et al., 1994; Gosar & Živanović, 1995), antiklinalna zgradba Globoških sedimentov pa tudi z geoelektričnim profiliranjem (Živanović & Poljak, 1995; Živanović, 1996; Živanović et al., 1998). V krilih antiklinala so plasti bolj strme v južnem in manj v severnem delu. Os sinklinala tone tako proti vzhodu, kot tudi proti zahodu, tako da lahko rečemo, da je Libenska antiklinala manjša brahiantiklinala. Antiklinala je v svojem zahodnem delu horizontalno zamaknjena ob Orliškem prelomu za približno 100 metrov, domnevno v post-pliocenskem obdobju. Vzhodni del antiklinala je domnevno vertikalno pogreznjen ob Libenskem prelomu glede na njen osrednji del za približno 30 metrov. Proti severu prehaja Libenska antiklinala v Črnomlaško sinklinalo, ki je prav tako zgrajena iz Litotamnijskega apnenca in sedimentov Globoške aloformacije.

**Leskovško nagubano območje (3)** je sestavljeno iz več manjših sinklinal in antiklinal, ki so razvite v sedimentih Globoške aloformacije. Ugotovljene so bile pri geološkem kartiranju (Toman, 1996) in pozneje potrjene z razkopi (Poljak, 1997b). Osi gub ležijo poševno na domnevno traso Orliškega preloma, ki je tukaj namreč prekrita s kvartarnim prodom reke Save, vendar je njeno jugozahodno nadaljevanje lahko t. i. *Krkin prelom* (*Krka Störung* – Pierau, 1958) ali *Novomeški prelom* (Pleničar & Premru, 1977) v jugozahodnem delu Krške koline.

**Artiška fleksura (4)** je na listu Zagreb Osnovne geološke karte SFRJ, 1 : 100 000 (Šikić et al., 1978) označena kot normalni prelom srednjepliocenske starosti. Ta se v reliefu ozemlja kaže kot morfološki pregib ali terasa, ki se razteza v smeri vzhod- zahod. Po poznejših podatkih vrtnanja je opredeljena kot strukturni pregib oz. fleksura (Jerše, 1981a; 1981b; Jerše & Marin, 1983; 1984; Poljak et al., 1985; Marin et al., 1988; Poljak, 1999; Markič, 1999; Markič & Rokavec, 2002). Na seizmičnih refleksijskih profilih je Artiška fleksura interpretirana kot globinski listrični reverzni prelom, z vergenco prelomne ploskve proti severu in s smerjo narivanja proti jugu. (Persoglia, ed., 2000). Artiška fleksura je na zahodni strani premaknjena v levem smislu ob prelomu, ki poteka v smeri S- J po dolini potoka Sromljica, na vzhodni strani pa je odrezana s prelomom, ki poteka po dolini potoka Gabrnica (Markič, 1999; Markič & Rokavec, 2002).

Obprelomne gube so razvite tudi v neogenskih klastično-karbonatnih kamninah na Gorjancih, ob glavnih balatonskih prelomih. Pogoste so v vzhodnem delu Gorjancev od Čateža do Bregane. Gube so



Slika 7. Srednjemadžarske (»balatonske«) strukture raziskanega ozemlja: 1. Orliški prelom, 2. Libenska antiklinala, 3. Leskovško nagubano območje, 4. Artiška fleksura, 5. Libenski prelom, 6. Šentviška antiklinala.

Figure 7. Middle-Hungarian (»Balaton«) structures of the investigation area: Orlica Mt. fault, 2. Libna hill anticline, 3. Leskovec folded area, 4. Artiče flexure, 5. Libna hill fault, 6. Šentvid hill anticline.

deset- do stometrskih dimenzij, njihove osi ležijo praviloma poševno na glavne prelome. V to skupino lahko uvrstimo večjo Šentviško **antiklinalo (6)** nad Čatežem, pri kateri so kamnine njenega severnega krila zdrsnile proti Krško-Brežiškem polju kot veliki kamninski plaz v času zgodnjega holocena (Poljak & Ribičič, 2005).

Sekundarne tenzijske obprelomne strukture, ki se kažejo kot normalni do zmični prelomi so lahko reaktivirane starejše strukture ali novonastale *antitetične* zmične strukture, kjer je premik v nasprotni smeri kot pri glavnem prelomu in ki so nastale pri levih horizontalnih premikih ob glavnih balatonskih prelomih. Te so najboljše vidne v jugovzhodnem krilu Orliškega preloma.

**Libenski prelom (5)** se razteza v smeri SZ- JV ob vzhodnem delu hriba Libne nad Vidmom. To ime je prvi uporabil Kuščer (1993) za predpostavljeni reverzni prelom na severnem pobočju Libne. Glede na to, da je bil po podatkih seizmičnega profiliranja njegov obstoj pozneje ovržen (Gosar et al., 1994), je upravičeno, da se isti naziv uporabi za novi prelom, ki je na tem območju ugotovljen z detajlnim geološkim kartiranjem (Poljak, 1996; Poljak, 1997a; 1997b). Libenski prelom se odraža v reliefu kot morfološka stopnica visoka približno 30 metrov, ki predstavlja domnevni normalni prelom ob katerem je vzhodni del Libne prav tako pogreznjen za 30 metrov. Ob jugovzhodnem nadaljevanju preloma v neogenskih plasteh, ki so pokrite s kvartarnimi sedimenti, je vertikalna komponenta premika vidna tudi na seizmičnih refleksijskih profilih (Gosar & Živanović, 1995; Persoglia, ed., 2000).

Horizontalna komponenta premika je vidna neposredno v zdrobljeni prelomni coni v Litotamnijskem apnencu na južnem pobočju Libne in se kaže v obliki horizontalnih drs na posameznih razpokah ali manjših prelomnih ploskev.

Na južnem pobočju Orlice so poleg Libenskega prisotni še prelomi, ki se domnevno raztezajo v smeri S- J do SZ- JV po dolinah potokov Močnika, Sromljice, Gabrnice, Trsnjaka, Žabljeka in Dramlje. Trase teh prelomov so praviloma pokrite s kvartarnimi aluvialnimi sedimenti, na njihov obstoj pa kažejo indirektni pokazatelji. To so predvsem premiki geoloških meja v njihovih krilih, ki so vidni na površini ali ugotovljeni z vrtnami v globini (npr. Marin et al., 1988). Premiki geoloških mej so večinoma v desnem smislu kar kaže na to, da so prelomi desnozmični. Predpostavimo lahko torej, da imajo značaj desnozmičnih *antitetičnih* struktur, ki so nastale ob horizontalnem premiku primarnega Orliškega preloma. Vendar je možno tudi, da so to primarne tenzijske strukture Posavskih gub, ki so bile pozneje zmično reaktivirane kot antitetične.

Na južnem pobočju Krškega hribovja, po dolinah Lokavca, Senuše in Mrtvega potoka, so bili prav tako reaktivirani starejši tenzijski prelomi. Ti so pri poznejših strukturnih deformacijah pridobili vertikalno ali škarjasto komponento premika.

V tenzijske sekundarne strukture uvrščamo še številne manjše prelome na Gorjancih, ki se raztezajo v generalni smeri sever- jug. Ležijo praviloma znotraj primarnih balatonskih prelomov in imajo pretežno normalni značaj. Ob njih so diferencialno pogreznjeni manjši tektonski bloki, ki jih omejujejo primarni balatonski prelomi. Med njih sodi tudi večji prej omenjeni Orehovški prelom, ob katerem je pogreznjeno vzhodno krilo Kostanjeviške sinklinale.

## RECENTNA TEKTONSKA AKTIVNOST

V recentne strukturne deformacije uvrščamo tiste, ki so aktivne v kvartarju in v recentnem času. Njihov nastanek je pogojen z recentnim napetostnim poljem in s strukturnim predrisom raziskanega ozemlja. Obstoječe strukture se reaktivirajo glede na njihov položaj napram glavni osi napetostnega polja. Pri tem lahko podrejeno nastajajo tudi nove strukture.

Na položaj napetostnega polja sklepamo posredno in sicer na podlagi geoloških, geodetskih in seizmoloških podatkov. Na ozemlju celotne Slovenije je po podatkih regionalnega napetostnega polja le to kompresijsko, glavna napetostna os sigma-1 pa je orientirana v glavni smeri sever- jug (Heidbach et al., eds., 2008). V zahodni Sloveniji povije sigma-1 proti severozahodu, v vzhodni pa proti severovzhodu. Za območje Slovenije so ti podatki pridobljeni skoraj izključno iz seizmoloških podatkov, oziroma iz mehanizmov potresov. Isti rezultat za napetostno polje je pridobljen tudi pri novejših izračunih potresnih mehanizmov, ki so zajeli večje število potresov na ozemlju Slovenije in v neposrednih sosednjih ozemljih (Poljak et al., 2010). Izračuni mehanizmov potresov za širše območje Krške kotline kažejo, da je smer največje glavne osi napetosti v generalni smeri S- J z blagim naklonom proti severu (11/02– glej Poglavje potresne značilnosti).

Navedeno kompresijsko napetostno polje je na regionalnem območju posledica dogajanj v kolizijski coni, kjer se celotna Afriška plošča pomika proti severu in posledično pritiska na Evropsko ploščo skupaj z manjšimi mikroploščami, kamor sodi tudi Jadranska mikroplošča. Ti premiki so ugotovljeni tudi kvantitativno z geodetskimi meritvami s pomočjo GPS-a (Global Positioning System), tako na regionalni (npr. Barrier et al., 2004) kakor tudi na lokalni ravni (npr. Caporali et al., 2009; Weber et al., 2010). V okviru projekta CERGOP (Central European Regional Geodynamic Project), ki je zajel osrednjo Evropo skupaj s Slovenijo, so za nekaj merskih točk v osrednji in zahodni Sloveniji dobljeni vektorji premikov za obdobje 1994- 2006. Ti kažejo premike proti severu z rahlim odklonom proti zahodu s povprečno hitrostjo 2 mm/leto (Vodopivec et al., 2007; Poljak et al., 2006). Sprostitev napetosti se na regionalnem in tudi na lokalnem merilu kaže v obliki različnih strukturnih deformacij, ki so lahko seizmične ali neseizmične.

Geološki pokazatelji recentnih strukturnih deformacij, ki so vidne na površini, je gubanje in prelamljanje kvartarnih sedimentov. V deformacijo gubanja so na raziskanem ozemlju vključeni sedimenti Globoške aloformacije, ki so pliocenske in domnevno pleistocenske starosti. Ti gradijo severno in južno krilo Krške sinklinale s povprečnim naklonom plasti od 8° do 10° proti severu oz. proti jugu. Gubanje teh plasti je torej kvartarno, in sicer spodnje pleistocensko. Mlajše nagubane plasti predstavljajo sedimenti Brežiške aloformacije srednje pleistocenske starosti, ki so ravno tako rahlo nagnjeni, vendar pod kotom manjšim od 1° in sicer od roba Krške kotline proti njenemu osrednjemu delu (Verbič, 2005; 2008; Verbič et al., 2000). Domnevno tektonski naklon zgornje površine srednjepleistocenskih sedimentov Brežiške terase je ugotovljen tudi z georadarskimi meritvami in znaša manj kot 1° (Zajc, 2015). Domnevno tektonsko je nagnjena tudi spodnja površina Brežiške aloformacije in sicer tako, da se debelina sedimenta aloformacije rahlo povečuje od juga proti severu, kar kaže na sin- sedimentacijsko gubanje Krške sinklinale. V sedimentih mlajšega pleistocena in holocena pa znamenja gubanja niso opažena.

Geodetske nivelmanske meritve prav tako kažejo na recentne (vertikalne) premike raziskanega ozemlja (Poljak, ed., 1995; Koler & Breznikar, 1999; Vodopivec & Kogoj, 1999; Vodopivec, ed., 1997; 1998; 1999; 2000). Ti se odražajo kot pogrezanje osrednjega dela Krške kotline glede na njene robove, ki se dvigajo. Premiki so določeni glede na relativno stabilno nivelmansko točko (*reper*) FR-1018, ki je ob cesti Videm- Brestanica na levem bregu reke Save in zajemajo časovno obdobje od leta 1897 do 1995. Kljub dejstvu, da so bile meritve izvedene v različnih časovnih obdobjih in z različno natančnostjo, je trend premikov stalen, velikosti premikov pa so podobne in znašajo od +0.07 mm/leto v Krškem hribovju in do -0.56 mm/leto v osrednjem delu Krške kotline (Poljak, ed., 1995).

V deformacije prelamljanja so zanesljivo vključene samo plasti Globoške aloformacije. Na južnem pobočju Orlice so te horizontalno in vertikalno premaknjene ob prelomih, ki potekajo po dolinah večjih potokov v jugovzhodnem krilu Orliškega preloma. Plasti Globoške aloformacije so vertikalno premaknjene tudi na južnem pobočju Krškega hribovja in sicer po predpostavljanih prelomih, ki potekajo po dolinah Lokavca, Senuše in Velikovaškega potoka. Deformacije prelamljanja v mlajših kvartarnih sedimentih niso opažene.

Neposredne meritve morebitnih recentnih premikov ob določenih tektonskih strukturah so izvedene s pomočjo geodetske terestrične mreže, ki je postavljena ob Orliškem prelomu pri Stari vasi (Poljak, ed., 1995). Rezultati meritev v obdobju 1998- 2008 kažejo pretežno levo zmični trend premika, vendar so njihovi iznosi znotraj natančnosti meritev, ki znaša od 0.3 do 0.5 mm/leto (Savšek-Saftić et al, 2011). Na podlagi tega lahko rečemo, da Orliški prelom ni aktiven ali pa se premika z majhno hitrostjo, ki znaša manj kot 0.3, oz. 0.5 mm/leto.

Pokazatelji recentne tektonske aktivnosti nekega ozemlja so tudi potresi. Območje Krške kotline spada v ozemlje s povečano seizmično aktivnostjo. Najmočnejši izmerjeni potres na tem območju se je zgodil leta 1917 z najnovejšo ocenjeno magnitudo  $M_m = 4.9$  in globino 4 km (Baumont, 2011). V povprečju imajo potresi na tem ozemlju magnitudo 1 do 2 in se pojavljajo v glavnem na globinah do 10 kilometrov. Njihova glavna značilnost je prostorska razpršenost, kar v seizmotektonskem smislu pomeni, da niso povezani, ali da jih ne moremo povezati za točno določene tektonske strukture. Izjemo predstavlja južno pobočje Gorjancev, oz. Žumberka, kjer nastajajo potresi z magnitudo 3 ali več in na nekoliko večjih globinah. Ti sledijo trasi preloma Sv. Nedelja, oz. Sv. Jana in kažejo na ko-seizmični horizontalni zmik ob sub-vertikalni prelomni ploskvi, ki se razteza v smeri JZ- SV. Mehanizmi potresov same Krške kotline kažejo, da potresi nastajajo večinoma ob reverzних prelomih, ki imajo blag naklon proti severu ali jugu, smer narivanja pa je ravno tako proti severu ali jugu. Globinski koseizmični pretrgi se ne nadaljujejo proti površini oziroma do sedaj na površini niso bili ugotovljeni.

## ANTROPOGENI RELIEF

Relief Krške kotline je spremenjen tudi zaradi človekovih posegov v prostor, posamezne njegove oblike pa lahko zamenjamo z naravnimi, kar lahko privede do napačne interpretacije same geološke zgradbe. Te spremembe so se dogajale od prazgodovine in trajajo še danes, pri čemer so recentne dobro vidne in prepoznavne v pokrajini ter označene na novih topografskih kartah, medtem ko so zgodovinske pogosto zabrisane in se odkrijejo samo posredno ali neposredno z arheološkimi izkopavanji.

Zaradi posebnih značilnosti in medsebojnih razlik so tukaj posebej poudarjene štiri osnovne skupine antropogenega reliefa s posameznimi večjimi oblikami in sicer iz prazgodovine, rimskih časov, srednjega veka in moderne dobe. Na posameznih lokalitetah je človekova dejavnost obstajala od prazgodovine skoraj do danes, vendar je na karti označeno samo tisto obdobje, v katerem so bile antropogene spremembe reliefa največje.

### PRAZGODOVINA

Ozemlje Krške kotline je bilo poseljeno že v prazgodovini. Poselitev sodobnega človeka na tem prostoru je mogoče slediti od paleolitika in mezolitika, starejše in mlajše kamene dobe, preko bronaste do železne dobe. Vendar so človeški posegi v prostor ugotovljeni šele iz začetka bronaste in železne dobe in sovpadajo s prvimi stalnimi človekovimi naselitvami na tem prostoru.

Najstarejše najdbe antropogenih artefaktov (človeških izdelkov) so iz okolice Kostanjevice in so uvrščene v paleolitik. To so kameni (roženčevi) artefakti, ki so bili najdeni na osamelcu Sajevške terase, pri Kostanjeviškem samostanu, 2.9 metra pod današnjo površino terase (Brodnar, 1955). Po istem avtorju predstavljajo ti artefakti ostanke občasne »...paleolitske postaje pod milim nebom«, ki ni vplivala na primarni relief. Pri geološkem kartiranju v okviru izdelave Geološke karte Krške kotline so bili najdeni fragmenti kamenih artefaktov še na drugih krajih, kot npr. na vzpetini nad aluvialno ravnico pri Dobovi in na Sajevški terasi severno od Kostanjevice, ki verjetno pripadajo podobnim občasnim naselbinam paleolitske kulture, vendar brez prepoznavnih posegov v prostor. Iz časa neolitika izvirajo najdišča oz. naselbine pri Malencah, Čatežu in na nekaterih drugih krajih, vendar so zaradi poznejših antropogenih, in sicer kmetijskih, posegov v prostor, domnevne naselbine zabrisane, njihov morebitni poseg v prvotni relief pa ravno tako ni prepoznaven (Gabrovec et al., eds., 1975). Pri Dobovi pripada bronasti dobi večje grobišče z več kot 400 organizirano razporejenimi žarnimi grobovi, kar je bilo ugotovljeno z razkopavanjem (Gabrovec et al., eds., 1975). Rečemo lahko torej, da človeška poselitev iz opisanih obdobj ni bistveno vplivala na njihovo okolje.

Prve prepoznavne antropogene spremembe reliefa izvirajo iz železne dobe, iz časa od približno 800 do 350 let pr. n. št. To je obdobje t. i. *Halštatske kulture*, ko so ljudje prebivali na višinskih utrjenih naselbinah, v njihovi okolici pa so pokopavali svoje mrtve v večje, do 4 metre visoke, še danes prepoznavne gomile. Ostanke obzidij so do danes ohranjeni na Libni, Šentviški gori, Čateškem gričku, Cirniku, Starem gradu nad Podbočjem, pri Velikih Malencah in mogoče tudi drugje. V antropogene oblike iz tega obdobja lahko uvrstimo še mrežo poti na Krško-Brežiškem polju, ki imajo linearne oblike in jih je lahko zamenjati za geološke strukturne oblike, vendar te na Geološki karti niso posebej označene.

Največja naselbina iz železne dobe je vsekakor na hribu Libna pri Krškem. Naselbina na vrhu hriba je bila obzidana z visoko (5- 6 metrov) leseno pregrado (*palisado*), ki sega v dolžino čez 1.800 metrov (Guštin, 1976). Notranja stran palisade je bila nasuta z mešanim materialom zemlje in (litotamnijskega) apnenca »... tako, da je strmo pobočje postalo terasa.« (ibid. p. 13). Na severni strani naselbine sta celo dve terasi, ki sta bili v geološki študiji iz leta 1996 (Poljak, 1996) napačno interpretirani kot naravni, pliokvartarni terasi. Sam vrh Libne ima danes dokaj nenaravno, kopasto obliko, kar je verjetno posledica tedanjega izkoriščanja kamna za gradnjo utrdbe. Na ravnem slemenu Libne vzhodno od njenega vrha je tudi veliko grobišče, ki ga sestavlja več kot 70 gomil. Grobišče torej ravno tako predstavlja večji poseg v prostor in zato tudi ta relief ni naraven.

Poleg Libne so ostanki železnodobnih obzidij vidni na Šentviški gori, Čateškem gričku, pri Velikih Malencah in na Cirniku. Danes so ohranjeni kot nizki zidovi, ki so zgrajeni iz nevezanih kosov Litotamnij-



skega apnenca. Navedene vrhove obkrožajo v manjšem obsegu kot na Libni in poleg njih ni drugih vidnih znakov posegov v prostor. Pri tem sta izjemi Velike Malence, kjer je na železnodobnem obzidju, širokem 3 metre, zgrajena poznejša rimska naselbina, ter Stari grad nad Podbočjem, kjer je na prvotnem prazgodovinskem obzidju zgrajena srednjeveška utrdba (Bavec, U., 1998; 2001; Predovnik, 2003). Arheološko najdišče na Čateškem gričku je ravno tako večplastno in vsebuje ostanke iz bakrene in železne dobe ter iz rimskih časov in srednjega veka (Guštin in Olič, 2003). Ostanke 5.5 metra širokega obrambnega kamnatega obzidja izvirajo najverjetneje iz železne dobe. Antropogeno je verjetno spremenjen tudi Straški Vrh južno od Rake. Tu so najdena grobišča oz. gomile, zato je iz geološkega stališča vprašljiv primarni položaj sedimentov Globoške formacije. Gomile Halštatske kulture so najdene še na mnogih drugih lokacijah na širšem območju Krške kotline, številne od teh so ohranjene tudi do danes (Gabrovac et al., eds., 1975).

## RIMSKO OBDOBJE

Za rimsko obdobje je značilna nižinska poselitev Krške kotline in sicer ob pomembnih cestah rimskega imperija. To je glavna cesta *Aquileia* (Oglej) – *Siscia* (Sisak) in cesta *Neviodunum* (Drnovo)– *Celeia* (Celje). Kljub visoko razviti civilizaciji in gradbeni dejavnosti, rimsko obdobje tukaj ni pustilo za seboj večjih arheoloških ostankov in posegov v prostor. Osnovni razlog za to je, da so rimski objekti zgrajeni iz kamna predstavljali priročen vir materiala za gradnjo objektov v poznejšem zgodovinskem času, preostale ostanke pa so prekrile mlajše poselitve ali pa so jih zasuli recentni koluvialno-proluvialno-aluvialni sedimenti Krško-Brežiškega polja. Rimska najdišča v Krški kotlini so odkrita s sistematičnimi površinskimi in podpovršinskimi pregledi ozemlja (Guštin et al., 1996), vendar so šele gradbena dela ob gradnji dolenske avtoceste omogočila polni vpogled v rimsko poselitev raziskanega ozemlja (Prešern, ed., 2003).

Največja rimska naselbina na območju Krške kotline je mesto *Neviodunum*, ki je bilo pomembno pristanišče ob reki Savi. Samo mesto se je nahajalo na zgornjpleistocenski (würmski) terasi nad holocensko strugo Save, od katerega je danes ostalo samo nekaj kamnih blokov pristaniške infrastrukture. V nekdanji strugi Save so tudi kameni bloki domnevnega obzidja *in-situ*, kar še ni dokončno ugotovljeno (Petru & Petru, 1978).

Pomembna infrastruktura *Neviodunuma* je tudi akvadukt od vznožja Gorjancev in sicer od Izvira do Drnovega. Ta je bil domnevno zgrajen iz lončevine na lesenih kolih, tako da danes ni ohranjen. Vendar je površina ozemlja vzdolž nekdanjega akvadukta višja in predstavlja linearno anomalijo reliefa; to je mogoče pri t. i. fotogeološki analizi ozemlja interpretirati kot tektonsko strukturo.

Naslednje, relativno dobro raziskano najdišče je na srednje-pleistocenski (riški) terasi pri Velikih Malencah (Bavec, U., 1998; 2001). Na jugozahodnem delu terase pri pokopališču in cerkvi Sv. Martina so najdeni ostanke rimskega naselja in sicer na koluvialnih sedimentih, ki so pokrili starejšo bakrenodobno naselbino, v današnji ježi terase pa so bili odkriti ostanke rimske ceste. Na severovzhodnem delu terase, na lokaciji Gradišče, je še danes vidno obzidje široko približno 2 metra, ki je bilo del dobro utrjenega rimskega kastela. Današnje ozemlje znotraj nekdanjega obzidja je približno za 5 metrov višje od nivoja ostalega dela terase in nedvomno predstavlja antropogeni relief. Tudi že omenjeni jugozahodni del terase je antropogeno spremenjen, posebej njena današnja ježa, ki je imela prvotno drugačno obliko.

Rimske naselbine so se raztezale vzdolž glavnih cest in je npr. veliko ostankov hiš bilo odkritih vzdolž nove AC od Prilip pri Čatežu ob Savi do Obrežja. Vendar te zgradbe niso pustile nikakršnih sledov v reliefu pokrajine, še več, površina terase je pretežno pokrita s koluvialnimi sedimenti, ki izvirajo s pobočja Gorjancev. Podobno je z velikim rimskim vojaškim taborom pri Obrežju, ki je zgrajen na vršaju potoka Bregana in je obsegal površino 290 x 210 metrov. Tega je pozneje delno odnesla reka Sava in je delno pokrit z aluvialnim nanosom potoka Struga (Mason, 2003a; 2003b).

Z geološkega stališča je pomembno tudi najdišče pri Orešju severno od Bizeljskega. To je t. i. *Trojno mesto*, sestavljeno iz več hiš, od katerih danes ni ostalo ničesar (Mlinar, 1940). Hiše so ležale na domnevni višji (riški) terasi reke Sotle, vendar je mogoče tudi to, da gre za antropogeno zravnano ozemlje večjega proluvialno-koluvialnega vršaja, ki se je oblikovalo na območju Orešja na Bizeljskem.



## SREDNJI VEK

Na ozemlju Krške kotline iz zgodnjega srednjega veka, ki se začne s propadom rimskega imperija in vdorom *barbarskih* ljudstev, vključno s Slovani, ni veliko arheoloških ostankov in ne vidnih posegov v prostor. Šele v poznem srednjem veku nastajajo relativno mogočne utrdbe oziroma utrjeni gradovi, pri čemer je bil delno spreminjen tudi relief pokrajine.

Med njimi izstopa trdnjava Kostanjevica na Starem gradu nad Podbočjem, kjer je srednjeveški okop viden še danes. Njegov obseg je približno 50 x 150 metrov in je v bazi širok do 12 metrov. Grič med okopom je vidno spremenjen oz. zravnčan domnevno še v prazgodovinskem času, v srednjem veku pa pozidan z večnamenskimi objekti, od katerih so danes delno ohranjeni le deli temeljev (Predovnik, 2003).

Na manjšem griču severno od Krškega so ostanki srednjeveškega gradu z delno ohranjenim obzidjem in z zravnanim vrhom. To je t. i. *Krško – Stari grad*, ki je ostal iz 12. stoletja (Tiller, 1938).

V poznem srednjem veku in na začetku moderne dobe je nastala tudi antropogena terasasta pokrajina. Ostanki zidanih kamenih teras so še danes dobro vidni na številnih mestih na južnem pobočju Orlice, na Libni in na severnem pobočju Gorjancev, posebno na Šentviški gori nad Čatežem.

## MODERNA DOBA

V sodobnem času so večji človeški posegi v okolje povezani v glavnem z regulacijo vodotokov, posebno reke Save. Ta je bila plovna že v rimskem času, vendar iz tega obdobja niso znani večji posegi v njeno korito. Sava je predstavljala pomembno plovno pot tudi v srednjem veku, ko se je njeno korito začelo regulirati, vendar le v manjšem obsegu (Slika 8). Večji regulacijski posegi so bili v 19. stoletju ob gradnji železniške proge čez Krško kotlino in so se nadaljevali tudi v 20. st. med obema vojnama. Struga Save je današnja oblika dobila v času med 2. svetovno vojno, 1943. leta (Šebek, 2009). Regulacijska dela so se ves čas nadaljevala z utrjevanjem rečnih bregov, v novejšem času pa z gradnjo novih umetnih odsekov rečnega korita, kjer so bili presekanji številni rečni meandri in je bila struga izravnana, kar je mogoče spremljati po zgodovinskih topografskih zemljevidih iz različnih časovnih obdobjih (Verbič & Berič, 1994; Premru, 1996). Tovrstni ravni odseki današnjega korita reke Save se lahko, če ne poznamo njenega prvotnega toka, pri fotogeološki analizi ozemlja, pri analizi digitalnega modela reliefa in drugih metodah daljinskega zaznavanja, napačno interpretirajo kot strukturno nastale oblike reliefa.

Poleg regulacije reke Save so v novejšem času regulirana tudi korita reke Krke in Sotle. To je posebej dobro vidno pri Sotli, kjer so še ohranjeni številni meandri prvotnega rečnega toka, medtem ko današnja Sotla teče skoraj v celotni dolžini od Bizeljskega do Obrežja po umetni strugi. Linearne oblike njenega toka tako kot v prejšnjem primeru ne smemo zamenjati z naravno pogojeno geološko strukturo.

Regulacijska dela manjših potokov na področju Dobrave so potekala po 2. svetovni vojni. To je bila melioracija, katere cilj je bilo izsuševanje poplavnega ozemlja in pridobitev obdelovalne zemlje s pomočjo številnih odvodnih kanalov, kar lahko spremljamo s primerjavo starejših in novejših letalskih posnetkov tega ozemlja. Podobna melioracijska dela so bila pozneje tudi na območju Krakovskega gozda. Poznavanje prvotnega poplavnega območja je prav tako pomembno z geološkega stališča; to je namreč pogojeno z litološko sestavo ozemlja in z njegovo geološko dinamiko.

V sodobnem času je vsekakor največji človekov poseg v okolje gradnja dolenske avtoceste ter zgraditev akumulacijskih bazenov za HE Krško in HE Brežice s številnimi spremljajočimi infrastrukturnimi objekti.

Opis antropogeno spremenjenega reliefa v Krški kotlini torej lepo ponazarja vpliv človeka na naravo. Ta vpliv, posebno v sodobnem času in v globalnem obsegu, je tako izrazit in močan, da se v sodobni geoznanosti za to obdobje predlaga uvedba novega termina – antropocena (Gradstein et al., eds., 2012).



Slika 8. Prvotni tok reke Save v 18. st.: po 1. Vojaški karti Avsto-Ogrske monarhije (Timár et al., 2007).

Figure 8. Original Sava river flow from the 18. Century: after 1. Military map of Austro-Hungarian monarchy (Timár et al., 2007).

## POTRESNE ZNAČILNOSTI

### ZGODOVINSKI PREGLED

S sistematičnim proučevanjem potresov na ozemlju Slovenije se je začelo z ustanovitvijo Potresne komisije (*Erbeben Kommission*) Avstrijske akademije znanosti ob Velikonočnem ljubljanskem potresu 14. aprila 1895. Za obdobje pred tem, so podatki pomanjkljivi in je spomin ohranjen le za močnejše dogodke. Najstarejši zapisi o potresih na področju Krškega tako segajo v začetek sedemnajstega stoletja. Prvi jih je zbral in objavil baron Janez Vajkard Valvazor v *Slavi Vojvodine Kranjske* tiskane v nemščini v Nuernbergu leta 1689.

Po svoji ustanovitvi leta 1895 je Potresna komisija organizirala mrežo prostovoljnih potresnih opazovalcev. Ti so na posebej za to pripravljenih vprašalnikih redno sporočali deželnim poverjenikom podatke o potresih, ki so jih čutili. Za Štajersko je bil za zbiranje podatkov odgovoren R. Hoernes in pozneje F. Heritsch, za Kranjsko in Avstrijsko primorje pa F. Seidl. Zbrani podatki o učinkih potresov so redno objavljeni v poročilih Avstrijske akademije. Močnejši potresi so bili obravnavani tudi v posebnih poročilih. Tak je bil tudi potres 29. januarja 1917 z nadžariščem v bližini Brežic in z ocenjeno magnitudo 5.7. O učinkih tega potresa so poročali Tornquist (1919), Heritsch & Seidl (1919) in Seidl (1918), ki je objavil tudi podatke o nekaterih drugih potresih na tem območju.

V Kraljevini Jugoslaviji je bila naloga centralizirana in je zbiranje podatkov prevzel Seizmološki institut v Beogradu, vendar je bilo zbiranje podatkov precej skopo in občasno. Objavljene so bile le intenzitete v posameznih krajih in še te ocenjene po pogosto se spreminjajoči makroseizmični lestvici (Shebalin et al., 1974). Povrh vsega so bila vsa originalna poročila med 2. svetovno vojno uničena.

Sistematično zbiranje podatkov o učinkih potresov se je ponovno začelo proti koncu petdesetih let 20. st. z ustanovitvijo Astronomsko geofizikalnega observatorija (AGO) Univerze v Ljubljani. Podatki so se najprej zbirali le za močnejše potrese, postopoma pa so razširili raziskave na vse potrese, ki so jih čutili prebivalci Slovenije. Tako je v bila začetku osemdesetih, po ustanovitvi Seizmološkega zavoda SR Slovenije leta 1980, ustanovljena mreža prostovoljnih opazovalcev in izdelan makroseizmični vprašalnik namenjen ocenjevanju intenzitet po MSK makroseizmični lestvici. Podatki so bili v začetku objavljeni v letni publikaciji AGO *Naše nebo* in Zemlja in od leta 1990 v letni publikaciji Agencije RS za okolje (ARSO) *Potresi v letu*.

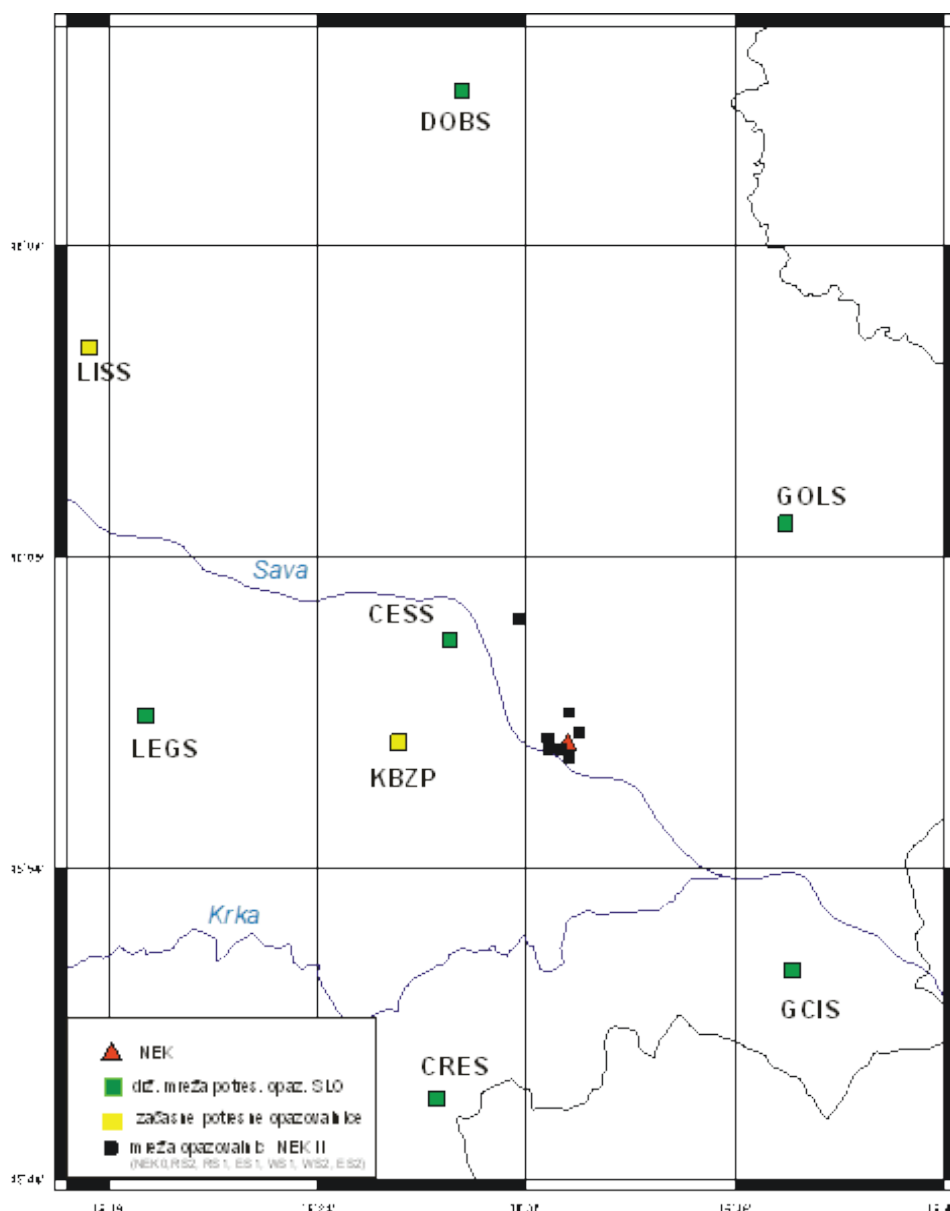
Instrumentalno zapisovanje potresov v Sloveniji se je začelo 18. septembra 1897 s postavitvijo prvega seizmografa na ozemlju takratne Avstro-Ogrske monarhije. Potresno opazovalnico v Ljubljani je vodil Albin Belar, začetnik seizmologije na Slovenskem. Opisi zabeleženih dogodkov so bili redno objavljeni v prilogi k reviji *Die Erdbebenwarte*. Potresna opazovalnica je delovala nemoteno do konca prve svetovne vojne. Po ustanovitvi Kraljevine SHS je bila ukinjena in so bili knjižnica in del opreme prepeljani na Seizmološki zavod v Beogradu (Ribarič, 1994). Podobno kot zbiranje makroseizmičnih podatkov je bilo tudi instrumentalno zapisovanje med obema vojnoma, ki je bilo v odgovornosti Beograda, ohromljeno.

V Sloveniji se je nadaljevalo z neprekinjenim beleženjem potresov šele po ustanovitvi Astronomsko - geofizikalnega observatorija in z izgradnjo prostorov na Golovcu v Ljubljani leta 1958. V letu 1973 je začela delovati druga potresna opazovalnica v bližini Cerknškega jezera in v letu 1984 še opazovalnica na Vojskem. Leta 1986 je začela z delovanjem tudi potresna opazovalnica v Bojancih pri Vinici. Vse te so zaradi svoje oddaljenosti beležile le močnejše potrese iz območja Krškega. Bolj popolni zapisi so bili pridobljeni na potresni opazovalnici ZAG v Zagrebu, ki je od Krškega oddaljena okoli 40 kilometrov in ki neprekinjeno deluje od leta 1906 do danes. Vse do leta 1990 je bila to mestu Krško najbližja potresna opazovalnica. Njeni zapisi o potresih so v celoti ohranjeni in predstavljajo vir podatkov izrednega pomena.

Po seriji potresov v neposredni bližini Krškega okoli novega leta 1990 je Seizmološki zavod Slovenije, ob finančni pomoči Nuklearne elektrarne Krško (NEK), postavil prenosno analogno enokomponentno potresno opazovalnico na Trški Gori nad Krškim, ki z manjšo prekinitvijo zaradi prestavitve na novo lokacijo v Brezje pri Senušah, deluje do danes. Marca 2005 je bil na opazovalnici nameščen sodoben trikomponentni širokopasovni senzor z opremo za digitalno zajemanje podatkov dobavljeno s sredstvi projekta PHARE (Project no. SI/IER/TREN/04.01). V letu 1995 je začela delovati še sodobna trikomponentna širokopasovna opazovalnica z digitalnim zapisom v vasi Cesta. Leto za tem so v Sloveniji začele

obratovati še trikomponentne digitalne opazovalnice v Dobrini (DOBS), Bistriškem jarku (BISS), Bojancih (VBY), Goričah pri Cerknici (CEY) in na Golovcu v Ljubljani (LJU), vse s prenosom podatkov po telefonskih linijah v središče v Ljubljani. Za določanje žariščnih parametrov so se poleg instrumentalnih zapisov lokalnih potresnih opazovalnic, uporabljali tudi zapisi drugih slovenskih ter hrvaških, italijanskih in avstrijskih potresnih opazovalnic. Leta 1994 je bila postavljena še potresna opazovalnica za močne tresljaje na prostem površju (*free field*) v ožjem območju NEK-a.

Po močnem potresu 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju je Vlada RS namenila sredstva za izgradnjo sodobne mreže 25 potresnih opazovalnic v Sloveniji. Zaradi Nuklearne elektrarne in pogojev, ki jih je EU postavila v predpristopnih pogajanjih, je mreža okoli NEK-a nekoliko zgoščena v primerjavi s preostalo Slovenijo. Tako so leta 2002 začele delovati opazovalnice med Črno Vasjo in Črešnjevcem (CRES), v Legarjah (LEGS) in v Golišah (GOLS), in leta 2003 še v Gornjem Cirkniku (GCIS). S tem je bila na širšem območju Krškega polja vzpostavljena lokalna mreža potresnih opazovalnic, ki omogoča lociranje nadžarišč tudi do 2 kilometra natančno (Slika 9).



Slika 9. Lokacije potresnih opazovalnic v Krški kotlini in njenem obrobju.

Figure 9. Location of seismic stations in the Krško basin and its surroundings.



Natančnost opredelitve položaja žarišča (*hipocenter*) potresa je neposredno pogojena z oddaljenostjo, številom in kakovostjo potresnih opazovalnic, ki so potres zabeležile, ter poznavanjem strukture Zemljine skorje skozi katero se je potresno valovanje razširjalo na poti od žarišča do opazovalnice. Ker je bilo v preteklosti število opazovalnic nezadostno in ker je podrobno poznavanje hitrostne strukture nezadostno tudi danes, je neizogibno, da so za skoraj vse potrese na področju Krškega za obdobje do leta 1990 parametri žarišč opredeljeni iz makroseizmičnih podatkov. Tudi kakovost le-teh je pogojena s gostoto in številom točk, za katere obstaja ocena makroseizmične intenzitete. Na natančnost makroseizmične določitve nadžarišč (*epicenter*) zgodovinskih potresov zelo vplivata naseljenost in krajevne geološke razmere. Predpostavljamo, da natančnost v splošnem ne more biti boljša od povprečne razdalje med »točkami« na nadžariščnem območju, od koder izvirajo podatki o učinkih potresa. V časih Avstro-Ogrske ter kasneje v obdobju Jugoslavije (v kolikor so podatki ohranjeni) so le-te zbirali v večjih krajih. Za večji del Slovenije je bila razdalja za pretežni del 20. stoletja med podatkovnimi točkami večja od 10 kilometrov. Ker je natančnost lokacije pogojena z gostoto opazovanja, je ta le redko boljša od 10 do 20 kilometrov. Dodatna težava pri takem vrednotenju je dejstvo, da največji potresni učinki in s tem območje največje intenzitete zaradi geološke zgradbe, žariščnega mehanizma potresa in globine potresnega žarišča pogosto niso na območju, ki leži navpično nad potresnim žariščem.

Bistveno izboljšanje gostote pridobljenih makroseizmičnih podatkov se je začelo leta 1985, ko je Seizmološki zavod SR Slovenije začel sistematično popolnjevati stalno mrežo prostovoljnih opazovalcev potresnih učinkov.

Vse do postavitve prenosne opazovalnice leta 1990 je bilo na področju Krškega mogoče zaznati le močnejše potrese. Zaradi majhnega števila potresnih opazovalnic in velike oddaljenosti najbližje, je opredelitev osnovnih potresnih parametrov (čas nastanka, položaj žarišča, moč) zelo približna, torej natančna. Zčasno postavitvijo prenosne opazovalnice se je precej povečala možnost zaznavanja šibkejših potresov, vendar ena sama enokomponentna opazovalnica ni zadoščala za točnejšo opredelitev njihovih parametrov. Tako je ta v letu 1994 zabeležila 8 potresov iz oddaljenosti manjše od 20 km, od katerih je bilo za 7 mogoče opredeliti približen (z natančnostjo 5 do 10 kilometrov) položaj žarišča. Še večja natančnost je bila dosežena s postavitvijo občutljivejše opazovalnice za močne tresljaje v NEK, vendar je tudi ta še vedno nezadostna za zanesljivo opredelitev osnovnih parametrov šibkejših potresov. Le-ta je v letu 1995, eno leto po posodobitvi in prehodu na digitalno opremo, zabeležila 17 šibkih potresov v neposredni bližini (iz oddaljenosti 2 do 4 kilometrov), vendar je bila zanesljiva opredelitev položaja potresnega žarišča mogoča le za tri potrese, ki jih je zabeležil tudi sistem potresnih opazovalnic za merjenje odziva konstrukcije NEK pri močnih potresih (Hržič, 1995).

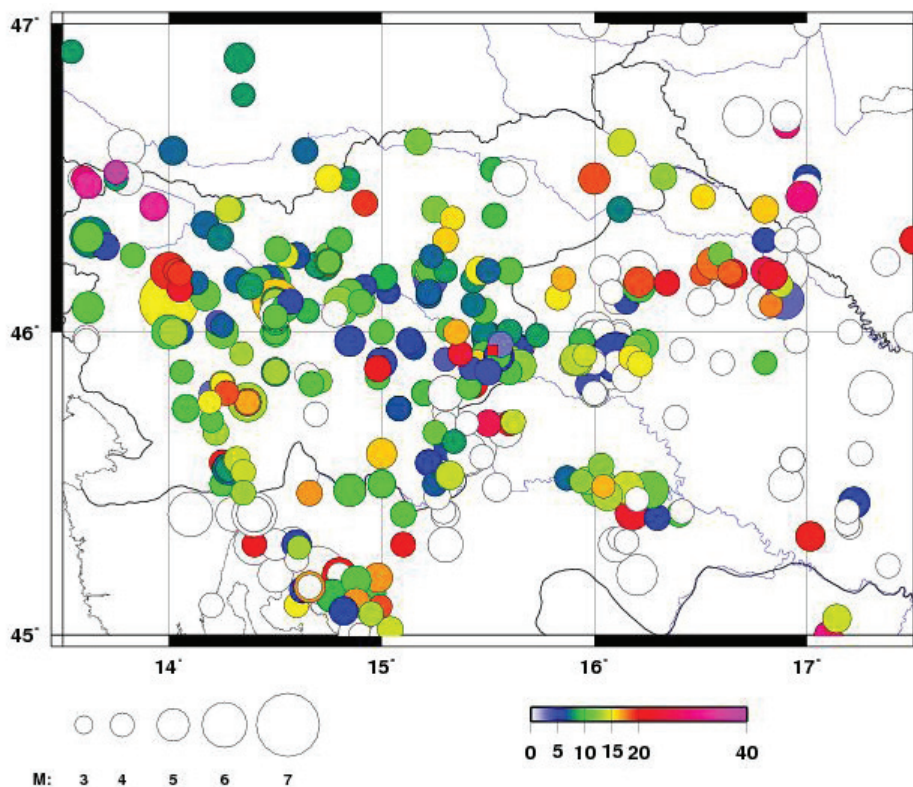
Leta 2008 je bila v okolici NEK-a postavljena mreža šestih opazovalnic za beleženje močnih tresljajev z namenom ocene vpliva lokalnih tal na amplitudo in frekvenco nihanj ob potresu. Štiri opazovalnice so bile postavljene na t.i. *pliokvartarnih* sedimentih različnih debelin, ena na podlagi iz Litotamnijskega apnenca miocenske starosti in ena na podlagi iz triasnega dolomita. Skupaj z opazovalnicami Državne mreže potresnih opazovalnic je bila tako dosežena gostota potresnih opazovalnic, ki omogoča opredelitev lokacije večine potresov v okolici NEK z natančnostjo okoli enega kilometra.

## MAKROSEIZMIČNI PODATKI

Krška kotlina je med potresno dejavnejšimi območji v Sloveniji, o čemer pričajo zgodovinski opisi in podatki, ki so sistematizirani v katalogu potresov (Ribarič, 1982; Herak et al., 1996; Živčič, 2004). To nazorno prikazujejo karte potresnih žarišč, intenzitetne karte Slovenije in karte potresne nevarnosti (Lapajne, J. et al., 2001, Giardini et al., 2013). Ker so podatki o potresih velikega pomena pri določanju geometrije, aktivnosti in drugih značilnosti potresnih izvorov pri izračunu potresne nevarnosti na neki lokaciji, je bil originalni katalog (Ribarič, 1982) večkrat prenovljen in dopolnjen (Živčič, 1994; Živčič, 2004; Živčič et al., 2010).

Lokacije najmočnejših zgodovinskih potresov so precej negotove. Do začetka 20. stoletja ni bilo instrumentalnega beleženja potresov in so parametri potresa določeni na podlagi razporeditve učinkov na površju. Tudi do pred samim koncem 20. stoletja so bili število in razporeditev potresnih opazovalnic

neprimerni za zanesljivo opredelitev potresnih parametrov iz instrumentalnih zapisov. Najpogosteje so lokacije makroseizmičnega epicentra sovpadale s krajem z največjimi učinki, ki ni nujno, da se nahaja neposredno nad žariščem potresa (Slika 10).



Slika 10. Nadžarišča potresov magnitude  $M_{LH} \geq 4,0$  v obdobju 1508 – 2014. Velikost krogov odraža magnitudo potresa, barva žariščno globino. Večina potresov je opredeljena iz makroseizmičnih podatkov.

Figure 10. Epicenters of earthquakes with magnitude  $M_{LH} \geq 4,0$  in years 1508 – 2014. The size of circles indicates their magnitudes and the colour their depths. Most earthquakes have been estimated after macroseismic data.

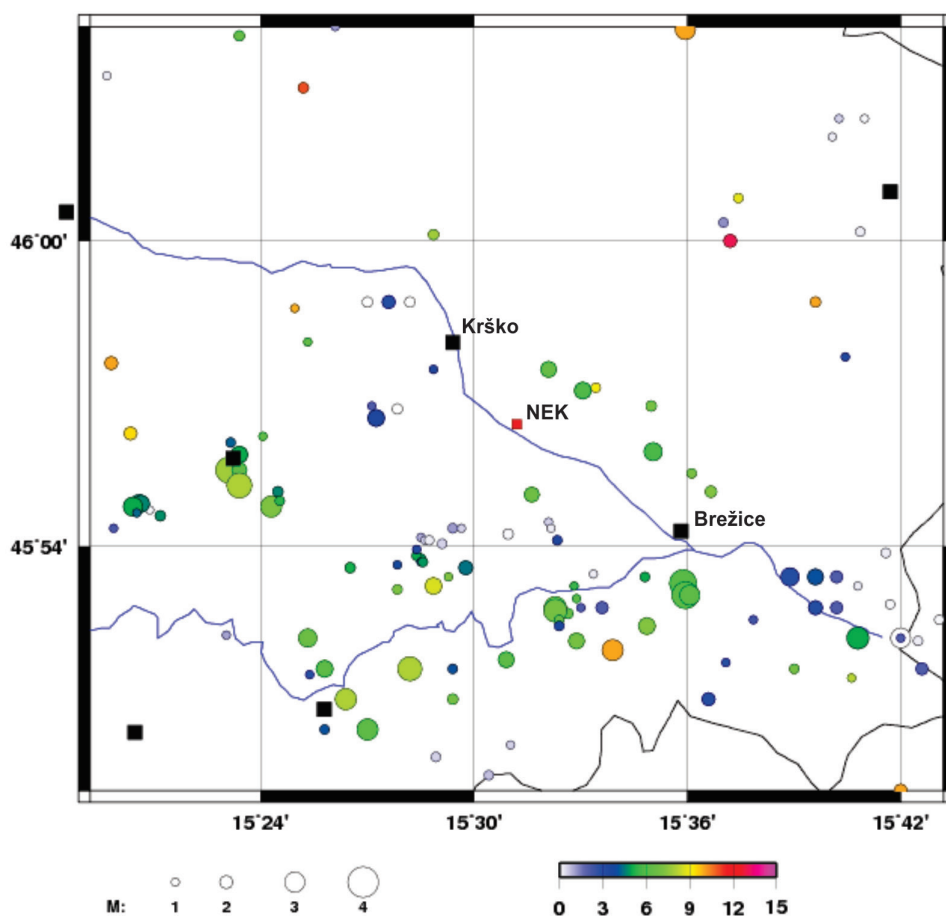
Tako je za potrese leta 1628 (Ribarič, 1982) znano le, da se je stresla zemlja okoli Krškega in da se je podrlo več gradov, cerkva in hiš brez navedbe krajev, ki so utrpeli take posledice. Zabeleženo je ostalo tudi, da so zvonovi v cerkvi v Leskovcu ob potresu zazvonili (Radics, 1910). Potres 27. novembra 1632 (Ribarič, 1982) je naredil veliko škodo, vendar se omenja le v kroniki mesta Krško (Radics, 1910). V zadnji raziskavi (Cecić, 2010) sta bila oba potresa zaradi neujemanja dostopnih zgodovinskih podatkov opredeljena kot dvomljiva. Za potres leta 1640 (Ribarič, 1982), ki naj bi povzročil veliko škodo v Brežicah (Radics, 1902/03), so novejša raziskava (Cecić, 2010) ugotovile, da je bil precej šibkejši, kot se je prvotno ocenjevalo in da je bilo žarišče najverjetneje ob jugozahodnem robu Gorjancev.

Najmočnejši in zelo dobro dokumentiran potres na tem področju se je zgodil 29. januarja 1917 ob 8. uri 22 minut (UTC) dopoldne. Potres je imel magnitudo 5,7 in največje učinke VIII. stopnje po MSK lestvici. Potres je povzročil veliko gmotno škodo, predvsem na območju Brežic in Čateža in eno smrtno žrtev. V sosednjem Krškem je njegova intenziteta dosegla le VII. stopnjo po MSK lestvici. Številne poškodbe hiš v Brežicah in drugih krajih so bile predvsem posledica zelo slabe gradnje (Heritsch in Seidl, 1919; Tornquist, 1918). Makroseizmično nadžarišče potresa je bilo nekaj kilometrov zahodno od Brežic in največja intenziteta je bila ocenjena na VIII MSK (Ribarič, 1982). Magnituda  $M_{LH} = 5,7$  je bila pozneje določena iz instrumentalnih zapisov (Karnik, 1968). Žarišče potresa je iz zapisov takrat delujočih potresnih opazovalnic določil Mohorovičić 3 kilometre severovzhodno od Brežic (Tornquist, 1919). Ocena globine žarišča sega med 6 kilometrov (Shebalin et al., 1974) in 13 kilometrov (Ribarič, 1982). V najnovejši raziskavi je Baumont (2010), iz porazdelitve makroseizmičnih intenzitet določil magnitudo  $M_m = 4,9$  in žariščno globino 4 kilometre, vendar še vedno brez natančne lokacije epicentra potresa.

## INSTRUMENTALNI PODATKI

S postavitvijo potresnih opazovalnic, s katero se je začelo leta 1990 po potresih decembra 1989 in januarja 1990 (Vidrih et al., 1991), se je postopoma izboljševala natančnost opredelitve osnovnih potresnih parametrov in večala občutljivost, ki je omogočala beleženje tudi šibkejših potresov.

Tako so z začetkom delovanja dodatnih opazovalnic v okolici Krškega v letu 2003 lokacije žarišč določene le z nekaj kilometrsko negotovostjo in so zanesljive predvsem za potrese magnitude  $M_{LH} = 1,0$  in večje. Kljub izboljšanju opazovanja in bolj natančno opredeljenim parametrom so žarišča potresov v Krškem polju še vedno razpršena. V zadnjih desetih letih je potresna aktivnost v Krškem polju omejena na zgornjih deset kilometrov zemeljske skorje. Potresi magnitude 3 in večji pa so nastajali na robnih področjih Krškega hribovja in Gorjancev (Slika 11).

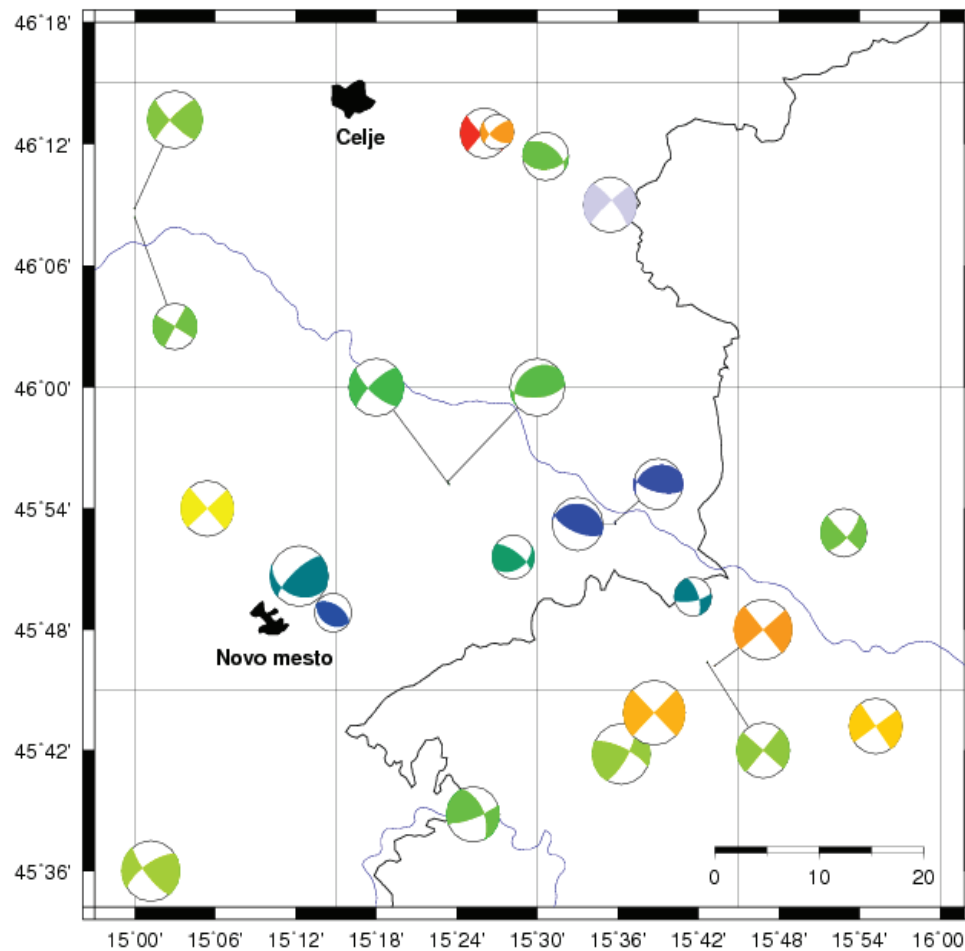


Slika 11. Nadžarišča potresov magnitude  $M_{LH} > 1,0$  v obdobju 2003 – 2014 opredeljena iz instrumentalnih zapisov.  
Figure 11. Epicentres of earthquakes with magnitude  $M_{LH} > 1,0$  in years 2003 – 2014 determined after instrumental data.

Gosta mreža digitalnih potresnih opazovalnic, ki v Sloveniji deluje od leta 2003 in izboljšanje opazovanj v sosednjih državah so podale obilico podatkov in s tem odprle možnost določanja žariščnih mehanizmov potresov z opredelitvijo rešitve orientacije prelomne ploskve na podlagi podatkov o smeri premikov tal ob prihodu vzdolžnega valovanja na opazovalnico.

Večina potresov v širšem področju Krškega je narivnega značaja s slemenitvijo prelomne ploskve v smeri V- Z, ali zmičnega značaja ob približno vertikalni prelomni ploskvi usmerjeni SZ- JV ali SV- JZ (Slika 12). To kaže na precej homogen napetostni režim, vsaj v ožjem območju Krške kotline. Leta 2010 (Živčič, 2010) so bile določene glavne osi deformacije, kjer je os največje napetosti usmerjena proti  $11^{\circ}$  E in nagnjena za 2 stopinji od horizontale.





Slika 12. Žariščni mehanizmi potresov v Krški kotlini in okolici po Ložar (2008), Ložar in Živčič (2007; 2008; 2011; 2012) in Živčič et al.(2010). Velikost kroga ponazarja magnitudo potresa, barva kompresijski kvadrant v žariščni globini.

Figure 12. Fault plane solutions of earthquakes in the Krško basin and its surroundings after Ložar (2008), Ložar & Živčič (2007; 2008; 2011; 2012) and Živčič et al. (2010). The size of circles indicates their magnitudes and colour the compressional quadrants at the hypocenters depths.

## POVZETEK – GEOLOŠKI RAZVOJ OZEMLJA

Na območju Krške kotline nastopajo kamnine in sedimenti v stratigrafskem razponu od srednjega perma do holocena, kar omogoča rekonstrukcijo paleogeografskih okolij in strukturnih deformacij v tem navedenem geološkem času.

V srednjem permu je bilo raziskano ozemlje del *Gondwane*, kjer so se odlagali kopenski do plitvomorski sedimenti. Kopenskim sedimentom pripadajo klastiti Grödenske formacije, ki jih lahko imenujemo *molasa* vzdignjenega gorovja iz časa t. i. *hercinske orogeneze*. Predstavljajo jo sedimenti širokih prepletanih rečnih tokov. Sprijeti so v dobro litificirane konglomerate ter slabše spriete peščenjake in meljevce. Sestava kamnine je izključno silikatna, kjer prevladujeta kremen in temni roženec. V sledovih so prisotna še zrnca sericita, klorita, kremenca in cirkona. Vezivo je muskovitno-sericitno z malo limonitnega cementa. Regionalni lateralni facies Grödenskih formacij so t. i. *neošvagerinski apnenci* Julijskih Alp, ki predstavljajo plitvomorske karbonatne sedimente, vendar ti ne dosežajo vzhodne Slovenije.

Na kamninah Grödenske formacije ležijo v transgresijskem položaju dolomiti Bellerophonske formacije. Ti predstavljajo facies plitvega in mirnega morja in označujejo začetek razpada enotne *Pangea-e* in nastanek prostranega morskega okolja *Tetide (Paleo-Tetida)*. Sestavljena je iz dolomita in podrejeno kalcita, v sledovih se pojavljajo tudi zrnca kremenca in sericita, kar kaže še na trajajoči kopenski vpliv. Posebnost dolomita so številna avtigena in detritična zrnca pirita, ki se pojavljajo predvsem v zgornjem delu skladovnice. Njihov nastanek lahko povezujemo tudi z inicialnim razpadom *Pangea-e* in posledičnimi velikimi regionalnimi izlivi lave ter izbruhi žvepljenih plinov, ki so na regionalnemu nivoju povzročali nastanek sulfidnih mineralov, med njimi tudi pirita. V Sloveniji sta lateralni ekvivalent Bellerophonskega dolomita Krške kotline *žajarska* in *karavanška formacija*. Prva je sestavljena skoraj v celoti iz apnencev, druga iz različnih tipov dolomita z redkimi vložki apnenca. Na raziskanem ozemlju Bellerophonsko formacijo v celoti sestavljajo dolomiti.

V spodnjem triasu se nadaljuje plitvomorska karbonatna sedimentacija s kopenskim vplivom. Med zgornjim permom in spodnjim triasom je na raziskanem ozemlju na podlagi biostratigrafskih podatkov predpostavljena lokalna emerzija. Prve plasti triasnega apnenca, ki ležijo na permskem dolomitu namreč vsebujejo konodontno združbo, ki spada v zgornji del spodnjega triasa. Spodnjetriasni apnenci so v glavnem plitvomorski mikriti z vmesnimi plastmi *laporja*. Terigena primes so pretežno kremen ter podrejeno minerali glin, ki poleg mikritnega karbonatnega matriksa, predstavljajo tudi klastični meljasti matriks. Poleg navedenega je prisoten še avtigeni in detritični pirit. Vpliv kopnega se kaže tudi v obliki vmesnih plasti ali leč kremenovega peščenjaka z veliko količino sljudnatih mineralov. Na raziskanem ozemlju prevladujejo karbonatni sedimenti, ki so skupaj s klastičnimi sedimenti opredeljeni kot enotna Werfenska formacija po istoimenski formaciji Južnih Alp.

Na raziskanem ozemlju srednji trias oziroma anizij označuje enakomerna dolomitna skladovnica, ki leži konkordantno na spodnjetriasnem zaporedju. Za njeno poimenovanje je povzet klasični termin iz Južnih Alp, in sicer mendolski dolomit oz. »Mendolska« formacija. Na raziskanem ozemlju je dolomit skoraj v celoti zgodnjediagenetski in vsebuje sledove pirita. V izsušitvenih porah je bil najden tudi pozno-diagenetski dolomit. Alokeme predstavljajo dolomitni intraklasti, ooidi in različni bioklasti, ki pripadajo življenjskim oblikam plitvega morja. Teksturine in strukturne značilnosti kamnine kažejo na mirno do rahlo razgibano okolje sedimentacije spodnjega dela plimskega pasu. V zgornjem delu skladovnice se ponekod pojavljajo dolomitne monomiktne breče in brečasti konglomerati s sparitnim vezivom. Njihove primesi so detritični in avtigeni kremen, minerali glin in pirit, kar kaže na paleogeografske spremembe sedimentacijskega okolja, ki so povezane z razpadom enotne karbonatne platforme v regionalnem merilu.

Na koncu anizija začne nastajati globokomorski prostor Slovenskega jarka ali bazena, ki ločuje Jadransko-Dinarsko karbonatno platformo na jugu od Julijske karbonatne platforme na severu. Globokomorski bazen se nadaljuje tudi proti jugozahodu na območje današnjih Notranjih Dinaridov Hrvaške ter Bosne in Hercegovine. V tem času nastajajo na tem prostoru različni hemipelagični sedimenti, ki so sestavljeni iz različnih drobnozrnatih klastitov; ti se menjavajo s pelagičnimi apnenci z rožencem, nastalimi v globokem morju *in-situ*. Zaradi razpiranja zemeljske skorje nastajajo na območju Slovenskega jarka tudi bazične predornine, kot so npr. diabaz. Na hribu Sremič nad Vidmom pa se pojavljajo leče ali plasti kislega peli-

tnega dacitnega do riodacitnega tufa, ki ga lahko pojasnimo kot proizvod t. i. bimodalnega bazično-kislega vulkanizma. Po drugi strani je mogoče tudi, da je pelitni tuf prinesen iz drugih, bolj oddaljenih paleogeografskih prostorov. Za celotno navedeno skladovnico je tukaj prevzet že uveljavljeni termin Psevdoziljska formacija iz Posavskih gub. Njen stratigrafski razpon je na raziskanem ozemlju srednji do zgornji trias, natančneje illir- tuval, z morebitnim prehodom v norij.

Na raziskanem ozemlju prehajajo klastične kamnine Psevdoziljske formacije navzgor v plitvomorske karbonatne kamnine Glavnega dolomita in Dachsteinske formacije. Nastajale so na prostrani Jadransko-Dinarski in Julijski karbonatni platformi. Njihova sorazmerno enotna litološka sestava in velika debelina, ki presega 1.000 metrov, kaže na stabilno paleogeografsko okolje in počasno ter enakomerno pogrezanje skozi ves zgornji del zgornjega triasa in spodnje jure, do toarcija. Na severovzhodnem delu Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, ki ji na raziskanem ozemlju pripada Krško hribovje, so plasti Glavnega dolomita in Dachsteinskega apnenca ponekod močno okremenjene, pojavljajo pa se tudi redke nodule črnega roženca. To so prehodne plasti proti globljemorskemu *baškemu dolomitu*, ki v Slovenskem jarku v celoti nadomešča Glavni dolomit.

Ob koncu spodnje jure in sicer na meji med pliembachijem in toarcijem, se na lokalnem in regionalnem nivoju začne glavno širjenje in poglobljanje *Tetide* ter potapljanje njenih robnih plitvomorskih do kopenskih prostorov (*Neo-Tetida*). V tem času nastajajo globljemorski apneneci z rožencem, v katerih so pogosti debritni tokovi apnenčevih in dolomitnih breč, konglomeratov ter kalkarenitov, ki izvirajo iz dvignjenih delov Jadransko-Dinarske karbonatne platforme. Slednji so skoraj v celoti silificirani, pri čemer je kremenica organskega porekla. Kljub relativno velikemu stratigrafskemu razponu, v katerem se sedimenti odlagajo (toarcij – sp. tithonij), je njihova debelina majhna in znaša samo nekaj deset metrov, kar pomeni, da so nastajali v globljemorskem okolju ob hkratni podmorski eroziji. Po drugi strani ležijo te kamnine ponekod neposredno na Glavnem dolomitu, odsotnost Dachsteinskega apnenca lahko razložimo z njegovo kopensko erozijo proti koncu spodnje jure (liasa). Celotna globljemorska skladovnica je opredeljena kot Izviriska formacija.

Na raziskanem ozemlju se globljemorska sedimentacija nadaljuje tudi v zgornji tithonij ter spodnjo kredo in traja do spodnjega aptija. Sedimentacija postaja bolj enakomerna, kar je posledica potopitve vzdignjenih delov južno ležeče karbonatne platforme in posledično manjšega kopenskega vpliva. V tem času nastajajo pelagični apneneci z rožencem in z bogato pelagično fosilno združbo. Ti ponekod ležijo neposredno na triasni podlagi in sicer na Glavnem dolomitu. To se lahko pojasni s podmorsko erozijo prav tako globokomorskih jurskih sedimentov Izviriske formacije. Debelina skladovnice, ki je znana kot Biancone formacija, je ravno tako majhna in znaša le nekaj deset metrov.

Prostor Slovenskega jarka se v spodnji kredi začne zapirati, kar sovpada z zapiranjem celotne *Tetide* in s sočasnim dviganjem robnih območij, kar omogoča nastajanje različnih turbiditnih sedimentov. Na širšem območju današnjih Notranjih Dinaridov se to dogaja že v zgornji juri, na raziskanem ozemlju pa se turbiditna sedimentacija začne v zgornjem aptiju. To dogajanje predstavljajo skladi novoimenovane formacije Gora, ki ležijo na skladih Biancone formacije ali neposredno na triasni podlagi. Na Gorjancih so v bazi formacije Gora praviloma karbonatne breče in brečo-konglomerati, ki jih sestavljajo litoklasti karbonatnih kamnin, ki izvirajo iz Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, ter klasti rožencev, ki izvirajo iz vzdignjenih in erodiranih kamnin Izviriske in Biancone formacije. Te breče lahko opredelimo kot proksimalni turbiditni facies, ki se je odlagal v globljem morju, kar kaže pelagična fosilna združba v matriksu breč. V Krškem hribovju in na Orlici se turbiditna skladovnica začne pretežno z drobnozrnatimi karbonatnimi in siliciklastičnimi sedimenti, ki so litificirani v kalkarenite z rožencem ter nekarbonatne meljevce in glinavce, ter prehajajo navzgor v bolj karbonatne turbidite in sicer v kalkarenite in karbonatne meljevce (*laporje*). Ti ležijo na skladih Biancone formacije ali neposredno na triasni podlagi, kar razlagamo s podmorsko erozijo starejših globljemorskih sedimentov. Lahko jih opredelimo kot distalni turbiditni facies. Navzgor postaja turbiditna skladovnica vse bolj karbonatna in jo sestavljajo kalkareniti in karbonatni meljevci. Klastični material iz drobnozrnatega dela turbiditne skladovnice izvira tudi iz južneje ležeče Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, vendar navzočnost nekaterih težkih mineralov kaže na drug izvor. Glede na to, da se v sosednjih sorodnih formacijah na Žumberku, Medvednici in Ivanjščici pojavljajo litoklasti jursko-krednih ofiolitnih kamnin, izvor materiala predstavljajo tudi vzdignjeni deli oceanske skorje današnjih Notranjih Dinaridov.

Globaljemorska sedimentacija se nadaljuje tudi v zgornjo kredo, in sicer do campanija, ko nastajajo skladi Krške formacije. To so hemipelagični, torej deloma pelagični in deloma turbiditni sedimenti, ki kažejo na še vedno trajajoč vpliv kopnega. Odražajo se kot drobnozrnati, pretežno karbonatni turbiditi, ki se izmenjujejo s pelagičnimi apnenci z roženci, ki vsebujejo bogato pelagično mikrofossilno združbo. Opredeljeni so kot Krška formacija, ki v regionalnem merilu ustreza formaciji *Scaglia rossa* iz italijanskih Apeninov. Skladi Krške formacije ležijo konkordantno na formaciji Gora ali diskordantno na triasno-jurski podlagi. To je posledica postopnega potapljanja Jadransko-Dinarske karbonatne platforme in napredovanja globokomorskega okolja proti jugozahodu, kar na območju današnjih Zunanjih Dinaridov traja vse do konca eocena.

V zgornjem campaniju se na raziskanem ozemlju ponovno začnejo odlagati debelo-zrnati turbiditni sedimenti v obliki breč, brečastih konglomeratov in kalkarenitov. Ti ležijo konkordantno na skladih Krške formacije ali diskordantno na triasno-jurski podlagi. Debelozrnati turbiditi prehajajo navzgor v drobnozrnate turbidite, ki jih sestavljajo *lapornati apnenci* in *laporji*. Njihova sedimentacija traja do konca mastrichtija. Celotna skladovnica je opredeljena kot Velikotrnska formacija. Ta je na južnem pobočju Gorjancev (Žumberka) znana kot *Vivodinski fliš*, ki se bolj proti jugovzhodu začne sedimentirati v paleocenu ali celo v eocenu. Drobnozrnati sedimenti Velikotrnske formacije in Vivodinskega fliša poleg karbonatnih litoklastov, ki izvirajo iz Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, vsebujejo še litoklaste nekarbonatnih kamnin ter minerale: kremen, cirkon, spinel, rutil, turmalin, granat in druge, ki najverjetneje izvirajo iz ofiolitnih kamnin današnjih Notranjih Dinaridov. Na raziskanem ozemlju predstavljajo skladi Velikotrnske formacije zadnje mezozojske turbiditne sedimente.

Poglabljanje robnih severovzhodnih delov Jadransko-Dinarske karbonatne platforme in posledična globokomorska turbiditna sedimentacija se nadaljujeta na širšem območju do konca eocena in se končata s končno kolizijo Jadranske in *Tisine* mikroplošče. Posledica te kolizije so današnji Dinaridi, ki predstavljajo močno deformirani rob Jadranske mikroplošče. Na raziskanem ozemlju so to t. i. *dinarske strukture*, kjer so mišljene podolžne gube in prelomi v smeri SZ–JV, prisotne na območju Krškega hribovja in Gorjancev ter delno na Orlici. Največje so na karti posebej opredeljene in imenovane. To so: **Sinklinorij Krškega hribovja, Sremiška antiklinala, Prekopska antiklinala, Kostanjeviška sinklinala, Črnečevaška sinklinala, Planinska antiklinala, Premagovška sinklinala, Cirniška antiklinala** in **Breganska monoklinala ter Šutenski, Pirošiški** in **Malenški prelom**.

Po t. i. *sinorogenetski* sedimentaciji, ki jo predstavljajo različni tipi turbiditnih sedimentov, se v kolizijskem območju med Afriško in Evroazijsko ploščo proti koncu paleogena in v začetku neogena začnejo oblikovati t. i. *molasni* sedimentacijski bazeni *Paratetide*, kamor sodi tudi Panonski bazen. Krška kotlina leži na zahodnem robu Panonskega bazena, kjer je paleogeografski prostor močno razgiban in je zato litostratigrafska in biostratigrafska korelacija s klasičnimi paleogeografskimi okolji v osrednjem delu bazena pogosto otežena. Kljub temu je za raziskano ozemlje uporabljena stratigrafska klasifikacija, veljavna za Centralno *Paratetido*, kamor sodi tudi Panonski bazen in kjer so sedimenti ter kamnine Krške kotline povezane v formacijskem pomenu s tistimi iz širšega panonskega prostora.

Paleogeni sedimenti ali kamnine na območju Krške kotline manjkajo, ravno tako kot starejši neogeni, ki se v Centralni *Paratetidi* začnejo z egerijem. V Krški kotlini so tako najstarejši ohranjeni neogeni skladi kopenski sedimenti in kamnine *Eo-Paratetide*, ki so uvrščeni v klasično Govško formacijo domnevno ottnangijske starosti. To so rečno-jezerski sedimenti, ki jih sestavljajo karbonatno-silikatni prod, pesek in melj z lateralnimi lečami gline s premogom. Petrografska sestava proda Govške formacije ustreza kamninski sestavi hrvaških in bosansko-hercegovskih Zunanjih in Notranjih Dinaridov; upravičena je torej domneva, da gre za transport materiala z juga. Na območju Krške kotline je bila v času med ottnangijem in badenijem stratigrafska vrzel, ki je lahko predstavljala obdobje brez sedimentacije ali pa so bili sedimenti iz tega obdobja erodirani.

Iz predbadenijskega obdobja izhajajo tudi prve strukture Posavskih gub, ki so posledica začetka kolizije Jadranske mikroplošče z Evroazijsko ploščo. To so večji reverzni prelomi ali narivi v glavni smeri W–E in s smerjo narivanja od juga proti severu. Od omenjenih so kot večji opredeljeni in imenovani naslednji: **Videmski, Bizeljski** in **Čateški**. Njihovo starost določa položaj badenijskih plasti, ki pokrivajo posamezne dele navedenih narivov.

Najstarejši morski sedimenti *Meso-Paratetide*, ki se na zahodnem robu Panonskega bazena začne v badeniju in ki označuje večjo morsko transgresijo na območju Panonskega bazena, so na raziskanem ozemlju organogeni in klastični apnenci, karbonatni peščenjaki in karbonatni meljevci Laške formacije, ki se začnejo odlagati v različnih obdobjih badenija. V vzhodnem delu Krške kotline na območju Bizeljskega, so ti spodnjobadenijske, v osrednjem in zahodnem delu pa srednjobadenijske ali celo zgornjobadenijske starosti. Morsko-brakična sedimentacija traja do konca sarmatija. Za to obdobje je poleg litološke raznovrstnosti, značilna tudi raznovrstnost življenjskih oblik in sicer od kopenske flore in favne preko bogate grebenske do globljemorske makro- in mikrofavne. V tem času in sicer posebej med badenijem in sarmatijem, so bili posamezni deli ozemlja dvignjeni, kjer je potekala intenzivna erozija. Material debritnih tokov v badenijskih in sarmatijskih plasteh je skoraj izključno lokalnega izvora, kar kaže na hitro dviganje in erozijo bližnjega ozemlja.

Proti koncu sarmatija se oblikuje brakično-sladkovodni Panonski bazen *sensu stricto* in je prva stopnja *Neo-Paratetide*, ki obsega panonij in pontij. Ob tem je treba omeniti, da je po najnovejših stratigrafskih klasifikacijah oz. predlogih klasifikacije tudi višja stopnja pontij uvrščena v panonij *sensu lato*. Te klasifikacije na raziskanem ozemlju za zdaj ni bilo mogoče uporabiti zato, ker so vse biostratigrafske analize in določbe za potrebe te karte narejene v okviru prejšnje veljavne razdelitve na panonij in pontij.

Na raziskanem ozemlju so panonijsko-pontijski sedimenti in kamnine, zaradi relativno enotne geneze in posledičnih litoloških podobnosti, opredeljene kot Posavska grupa ali skupina formacij, ki je nadalje razdeljena na posamezne formacije in člene. To sta Drnovska in Bizeljska formacija ter formacija Raka s členom Globoko. Njihova kronostratigrafska opredelitev je zaradi pomanjkanja klasične makrofavne narejena na podlagi ostrakodne mikrofavne in obsega stratigrafski razpon spodnji panonij- zgornji pontij.

V Drnovsko formacijo je uvrščen dobro do slabo litificiran karbonatni melj, torej meljavec, ki se makroskopsko običajno opredeljuje kot *lapor*. Navzgor v stratigrafskem zaporedju se v karbonatnem meljevcu povečuje delež kremenovega peska, sediment pa je tudi slabše litificiran. Tako zaporedje je značilno za zahodni del Krške kotline in je dobro vidno v jedrih globokih vrtin s tega območja. V vzhodnem delu Krške kotline se proti koncu panonija začne skoraj ciklično menjavanje karbonatnega melja in kremenovega peska, ki je uvrščeno v Bizeljsko formacijo. Ta bolj dinamični tip sedimentacije je domnevno posledica ponovne povezave Panonskega in Dacijskega bazena na regionalnem nivoju, ki označuje tudi kronostratigrafsko mejo med panonijem in pontijem. V zgornjem pontiju se v Bizeljski formaciji pojavljajo tudi meterske plasti debritnih tokov, ki jih predstavlja drobnozrnat silikatni prod magmatsko-metamorfnih kamnin Vzhodnih Alp. To kaže na prostrano zravnano deltno ravnico in dotok materiala iz oddaljenih območij na severu. V zgornjem pontiju je Panonsko jezero popolnoma sladkovodno, kar se odraža v pojavu sladkovodnih ostrakodnih vrst, značilnih za čisto sladkovodno okolje. V paleogeografskem smislu se povečuje dotok materiala s kopnega vzdolž prostranih rečnih delt, kjer se odlagajo skoraj izključno kremenovi peski. Ti so na raziskanem ozemlju opredeljeni kot formacija Raka. Znotraj formacije Raka je opredeljen še formacijski člen Globoko. Ta predstavlja zgornjepontijsko lateralno močvirje, kjer so se ciklično odlagali prod, pesek in melj ter glina in premog. Debelina premogovne skladovnice je relativno velika in znaša do 250 metrov, kar kaže na dokaj enakomerno sin-sedimentacijsko pogrezanje lokalnega bazena.

Ob koncu pontija Panonsko jezero skoraj v celoti izgine, kar se običajno povezuje z aridnim podnebjem, ki ga je povzročila t. i. *Mesinska kriza*, ki predstavlja izsuševanje celotnega Sredozemskega morja. Ta proces je na regionalnem nivoju povezan s približevanjem Afriške plošče Evroazijski in zapiranjem Gibraltarja. V tem času se tudi konča kolizija Jadranske in Tisine mikroplošče z Evroazijsko ploščo. Rezultat prve kolizije so Južne Alpe, druge pa *Srednjemadžarska strukturna cona*.

Posavske gube ali v strukturnem smislu Posavski strukturni klin, so lahko nastale sočasno z nastankom Južnih Alp ali naknadno, kot velike *ešalonirane* strukture ob regionalnih desnozmičnih dinarskih prelomih. Na območju Krške kotline so najbolj južne strukture Posavskih gub **Orliška antiklinala**, **Krška antiklinala**, **Krška sinklinala** in **Antiklinorij Gorjancev**.

Strukture Srednjemadžarske cone so prvotno kompresijske in se odražajo kot gube in narivi, ki se raztezajo v smeri ZJZ–VSV. Narivi so pri nadaljnjem strukturnem razvoju postali zmični prelomi in sicer pretežno levo-zmični. Ti se iz osrednje Madžarske nadaljujejo proti jugozahodu na prostor Južnih Alp in Dinaridov, kjer so znani kot *balatonski prelomi*. Od njih je na raziskanem ozemlju opredeljen le **Orliški**

**prelom**, na Gorjancih pa se kažejo kot snopi prelomov, ki niso posamično imenovani. Glede na to, da jih spremljajo številne obprelomne, sekundarne strukture, kot so *ešalonirane* gube in prelomi manjših razsežnosti, so navedeni prelomi v smeri ZJZ–VSV opredeljeni kot primarni.

V Mediteranskem bazenu označuje začetek pliocena ponovna povezava z Atlantskim oceanom pred 5,33 mil. let. V Panonskem bazenu to mejo označuje sprememba aridne klime v humidno ter začetek obsežne sedimentacije dacijsko-romanijskih rečno-jezerskih sedimentov, ki je povezana tudi s prej omejenim nastankom Južnih Alp in njihovo erozijo. Bolj proti vzhodu pa se formira t. i. *paludinsko* ali *Slavonsko* jezero, kjer se je v tem času odložilo tudi do 1.000 metrov rečno-jezerskih sedimentov.

Na raziskanem ozemlju in tudi širše v vzhodni Sloveniji, so pliocenski sedimenti zastopani z rečnim prodom in peskom aloformacije Globoko. Ti po sestavi ustrezajo kamninam slovenskih Južnih Alp, vendar brez karbonatnih kamnin. Njihova odsotnost še ni dokončno pojasnjena, domnevamo pa, da so se raztopili med večkratno re-sedimentacijo v času pliocena in pleistocena. V frakciji peska v Globokem so prisotni tudi minerali metamorfni kamnin kot so: granat, stavrolit, disten in drugi, ki izvirajo domnevno iz lokalnih sedimentov, v tem primeru iz peskov formacije Raka. Na eni lokaciji v Krški kotlini in sicer na hribu Libna nad Vidmom, je s pomočjo kozmogениh radionukleidov starost prodnato-peščenege Globoškega zasipa določena na več kot 1,8 mil. let, kar pomeni, da je bil sediment odložen v pliocenu in mogoče tudi v pleistocenu. Enako kot starejši neogenski, so sedimenti Globoške aloformacije vključeni v manjše strukturne deformacije. Kažejo se kot blagi sinklinalni naklon plasti z obrobja Krške kotline proti njenemu osrednjemu delu. Manjše strukturne deformacije predstavlja tudi sekundarno gubanje z nekoliko večjo amplitudo gub ob primarnem zmičnem Orliškem prelomu.

Začetek kvartarja je postavljen v čas pred 2,6 mil. let in je sočasen z obsežnimi poledenitvami na regionalnem nivoju. Na raziskanem ozemlju starejši sedimenti iz tega obdobja niso ohranjeni. Najstarejši kvartarni sedimenti so tako rečni (in morebiti tudi periglacialni) prodi in peski aloformacije Brezina. Njihova sestava je karbonatno-silikatna v približno enakem razmerju in ustreza, tako kot Globoška aloformacija, kamninski sestavi Južnih Alp. V Krški kotlini so ugotovljeni samo z vrtnami, kjer se raztezajo v obliki jarka v smeri Z–V do ZJZ–VSV vzdolž osi Krške sinklinale. Njihova starost še ni določena, vendar po posrednih geoloških podatkih domnevamo, da pripadajo srednjemu pleistocenu.

Starejši in mlajši rečni sedimenti Krke, Save in Sotle, ki so opredeljeni kot enotna Krška alogrupa ali aloskupina ter so nato razdeljeni v posamezne aloformacije in aločlene zagotovo pripadajo srednjemu do zgornjemu pleistocenu ter holocenu. Koluvialni sedimenti območja Dobrave so opredeljeni kot posebna aloformacija s posameznimi aločleni, ki predstavljajo bočne proluvialno-aluvialne in jezerske ekvivalente navedenim rečnim sedimentom.

Srednjemu pleistocenu pripadajo višje terase Krke, Save in Sotle, pri čemer je višja Savina terasa sestavljena iz dveh dobro ohranjenih in vidnih nivojev. Litološko so vse sestavljene iz karbonatno-silikatnega proda in podrejeno peska, pri čemer prevladuje karbonatna komponenta. Ob Krki in Sotli ustrezajo po petrografski sestavi, podobno kot vse starejše in mlajše aloformacije, kamninski sestavi Južnih Alp in Dinaridov Slovenije, z manjšem deležem lokalnega materiala, kot je npr. Litotamnijski apnenec. Starost je s pomočjo izotopskega niza U/Th določena iz Savske terase pri Vidmu in Leskovcu in znaša najmanj 250.000 let. Ta se nanaša namreč na starost avtigenega cementa v konglomeratu, pri čemer je starost samega sedimenta enaka ali večja.

Nižji terasi Krke in Save, ki sta razdeljeni v več litočlenov, sta zgornjpleistocenske starosti. Sestavljajo ju ravno tako mešani karbonatno-silikatni prod in pesek s prevladujočo karbonatno komponento. V sedimentih reke Krke je prav tako povečan delež lokalnega materiala, predvsem roženca, ki izvira iz vršajev z robnih delov Krške kotline. Starost sedimenta je določena iz leče šote znotraj prodnatih zasipov v terasi reke Krke s pomočjo izotopa C<sup>14</sup> in znaša 17.684 let pred sedanostjo, torej zgornji del zgornjega pleistocena.

Krka, Sava in Sotla so v zgornjpleistocenske sedimente vrezale holocenska do recentna korita. Vzdolž reke Save je odložena večja količina holocenskega rečnega sedimenta, ki je opredeljen kot poseben aločlen. Poleg proda in peska ga sestavljajo tudi večje količine poplavnega sedimenta v obliki karbonatnega do nekarbonatnega melja ter pesek in glina številnih fosilnih do recentnih meandrov in mrtvic. Holocenski poplavni sedimenti so še na območju Krakovskega gozda ob reki Krki in so sestavljeni iz več metrov debe-



lega nanosa karbonatnega melja. Njegova starost je določena iz šotne leče s pomočjo izotopa  $C^{14}$  in znaša 1.463 let pred sedanostjo, kar pomeni, da je skoraj recentna.

Na območju Dobrave so koluvialno-proluvialni sedimenti zaradi načina njihovega nastanka opredeljeni kot posebna aloformacija. Ta je sestavljena iz več litočlenov in sicer proda, melja in gline. Lateralne meje na površini so postopne, vertikalne pa so sorazmerno ostre in določljive v vrtnah. Sediment aloformacije je v celoti silikaten in ga sestavlja presedimentirani prod formacije Globoko ter pesek in melj formacije Raka. Domnevamo, da so koluvialni sedimenti Drnovske formacije začeli nastajati takoj po odložitvi Globoškega proda in da nastajajo še danes. Starost gline s šoto pri Brežicah je določena s pomočjo izotopa  $C^{14}$  in znaša 9.804 let pred sedanostjo, torej je to zgodnji holocen.

V strukturno-tektonskem pomenu so najmlajši sedimenti, ki so še vključeni v strukturne deformacije, tisti iz srednjepleistocenske Brežiške aloformacije oz. Brežiške terase. Morfološki položaj terase namreč kaže naklon približno  $1^\circ$  proti jugu oz. proti severu oziroma od severnega in južnega krila Krške sinklinale proti njeni osi. Sedimenti mlajših formacij in njihovih členov ne kažejo nikakršnih znakov strukturnih deformacij.

Na recentno tektonsko dinamiko Krške kotline prav gotovo kaže njena potresno aktivnost. Ta je pogojena s strukturnim predrisom in recentnim napetostnim poljem. Slednje je po geoloških, geodetskih in seizmoloških podatkih kompresijsko, z osjo največje napetosti ( $\sigma_1$ ) orientirano v generalni smeri sever–jug. V takem napetostnem polju se lahko aktivirajo reverzne strukture v smeri V–Z, tenzijske v smeri S–J ter zmične strukture v smeri JZ–SV in SZ–JV. Na območju Krške kotline kažejo mehanizmi potresov v njihovih žariščih, da so recentno aktivne predvsem kompresijske strukture v smeri V–Z in da največje število recentnih potresov nastaja ob reverznih prelomih in blago nagnjenih prelomnih ploskvah proti severu ali jugu, ki se raztezajo v glavni smeri zahod–vzhod. Pri tem nastajajo potresni pretrgi v potresnih žariščih samo v globini in ne dosežajo površine oziroma na površini še niso bili ugotovljeni.



## SUMMARY

The investigated area is positioned within the transitional zone between the External and Internal Dinarides, which both are partially covered by the Neogene sediments of the Pannonian Basin (Figure 1). In the geotectonic sense, this is a junction of the Dinarides, Southern Alps, and the Mid-Hungarian Zone (Figure 2). Sediments and rocks in the stratigraphic time span from Permian to Quaternary are exposed in the Krško Basin itself and its surroundings. This enables the reconstruction of paleogeographic environments and structural deformations throughout this geological time.

The oldest outcropping rocks represent terrestrial sediments of Middle Permian age that belong to the Gröden (Val Gardena) Formation. They consist of silicate gravel, sand and silt cemented by siliciclastic cement into conglomerate, sandstone and siltstone. They were deposited by broad braided streams as molasse sediments that originated from eroded mountain ranges, which were formed within the Hercynian orogeny on Gondwana land.

The first transgressive marine sediments are dolomites of the Bellerophon Formation of Upper Permian age. These indicate, at the same time, the initial disintegration of the Pangea continent, and the formation of the Neo-Tethys Ocean. The dolomite is re-crystallized micritic carbonate mud that was deposited in a restricted lagoonal environment. The main rock characteristic is the abundant presence of clastic and authigenic pyrite grains, which, most probably, originate from acid rains caused by regional catastrophic events, for example from a vast eruptions of volcanic flood basalts.

Shallow marine sedimentation continued into the Lower Triassic with well-bedded limestone with intercalations of marlstone and sandstone that belong to the classic Werfen Formation. However, there is a break in sedimentation between the Upper Permian and the Lower Triassic, especially during the Induan, because the first beds that overlie the Permian dolomite contain the conodont species *Pachycladina obliqua*, which, together with other genera, determines their Smithian-Spathian age. Lithologically, the limestone is biomicrite packstone and micrite mudstone with relatively abundant grains of quartz and feldspar in addition to other terrigenous detritus. Some beds in the upper part of the limestone section consist of microgastropod lumachele, whilst beds or lenses of almost pure quartz sandstone with abundant mica grains occur in the uppermost part of the whole series.

The Werfen Formation transits normally into a monotonous series of Anisian dolomite of the classic Mendola Formation. The dolomite is usually dark grey and well-bedded. It consists of dolomite clasts, ooids, bioclasts, and rare pyrite grains in sparry matrix. The depositional environment is mostly lower intertidal. Foraminiferal species such as *Meandrospira dinarica*, *Glomospirella vulgaris*, "*Pilamina*" *densa*, *Turriglomina mesotriassica* and others determine its Anisian age. Beds of monomict breccio-conglomerate occur in the uppermost part of the dolomite consisting of poorly to well-rounded dolomite pebbles cemented by calcite, somewhere also by limonitic cement. This indicates local uplift of the carbonate platform as a consequence of its disintegration at the regional level.

At the end of the Anisian, a unified carbonate platform started to disintegrate into the Dinaric and Julian platforms with the intermediate Slovenian Basin, which extends into the Internal Dinarides of Croatia and Bosnia and Herzegovina. This process is a part of the regional geodynamics related to the formation of the Neo-Tethys Ocean. The upper part of Anisian, Ladinian and a part of Upper Triassic (Illyrian to Tuvallian) is represented by deep-marine rocks of the Pseudozilian Formation. In the investigated area, it is named after classic *Pseudozilian beds* of the Sava Folds. The heterogeneous succession consists of breccia, conglomerate, calcarenite, marlstone, shale and pelagic limestone with chert and ammonite fauna. Lenses or beds of pelitic dacite tuff also occur in some places. The basal part of the succession belongs to the Upper Anisian based on the presence of the conodont species *Neogondolella constricta cornuta* in addition to the genera *Neogondolella* and *Budorovignathus*. The upper part of the Pseudozilian Formation, which terminates with the dark grey to black micrite limestone, might even extend into the Norian, due to the presence of the rare fragments of the conodont genus *Epigondolella*.

The Pseudozilian Formation transits normally into dolomites that belong to the classic Hauptdolomit (Main Dolomite) Formation. These indicate a closure of the Slovenian Basin and the formation of a new uniform carbonate platform. The dolomite is light-grey, mostly well-bedded, and representing early diagenetic dolosparite to dolomicrite. It consists mostly of stromatolites that alternate with loferite sections, which places the depositional environment in the inter- and suprabtidal zone of a shallow shelf. Dolomitized monomictic intraformation breccia occurs in some areas, which indicates a reef or forereef depositional environment. Some foraminifera species such as *Trochammina almtalensis* and *Auloturtus praegaschei* have been found in the Bizeljsko area, indicating the Upper Triassic age of the dolomite. There are also lenses of sparry limestone in the upper part of the dolomite series with abundant meg-alodontids, as well as foraminifera of the genus *Auloturtus* and guide species "*Sigmoilina*" *schaeferae*, which indicate the Upper Triassic age.

The Hauptdolomit Formation is normally overlain by limestones of the classic Dachsteinkalk (Dachstein Limestone) Formation. They are mostly light-grey and thick-bedded to massive with rare lenses of dolomite. This series has been divided into two members; the Dachstein Limestone *sensu stricto* and the Krka Limestone. The former is largely developed in the stromatolite facies, and the latter in Lofer cyclothems. The Dachstein Limestone is of Upper Triassic (Norian-Rhaetian) age, whilst the Krka Limestone is of Lower Jurassic (Lower Lias) age. There are lenses of breccias with bauxite cement in the upper part of the Krka Limestone. The whole Dachstein Formation is locally eroded to its Hauptdolomit base. This was caused by the uplifting and consequent erosion on the dry land, which is indicated by the karst palaeorelief with remnants of bauxite, as well as clasts of Upper Triassic and Lower Jurassic (with genera *Triassina*, *Ammobaculites*, *Hurania* and others) limestones. Numerous algae and foraminifera species "*Sigmoilina*" *schaeferae* have been found in the Dachstein Limestone, which determine its age as Norian- Rhaetian. There are numerous foraminifera genera with the index species *Aeoliscus dunningtoni* in the Krka Limestone, which indicate its Lower Liassic age.

The main disintegration of the Pangea continent on the regional scale and the deep-water sedimentation on the former shallow-water platforms began in the upper part of the Lower Jurassic, or more specifically in the Toarcian. The deep-water sedimentation in the investigated area begins with the newly introduced Izvir Formation. It consists of breccia in its basal part, that lies concordantly or discordantly on the Dachstein or Hauptdolomit Formations, and continues with platy limestone with chert. The whole sequence is highly silicified by silica of organic origin. Abundant radiolaria with guide species, such as *Dicerosaturnalis angustus*, *Hexturnalis minor*, *Hexaturnalis nakasekoi* and others, place this formation into the stratigraphic time span from Lower to Upper Jurassic (Toarcian to Tithonian).

The deep-water sedimentation continued into the Upper Jurassic and Lower Cretaceous (Tithonian to Barremian) with platy, mostly micritic limestone with chert. It belongs to the classic Biancone Formation. However, in some places this limestone lies directly on the Triassic basement rocks, which could be explained by the syn-sedimentary submarine erosion of the older Izvir Formation sediments. The age of the Biancone series has been determined by index species of the foraminifera, algae and radiolaria. Detailed subdivision into four biozones of Jurassic and Cretaceous age has been made on the basis of algae genera *Crassicollaria*, *Calpionella*, *Callpionelopsis* and *Callpionelites*. The limestone series ends in some places with mostly red laminated siltstone or claystone. The latter transits into Lower Cretaceous turbidites. The Biancone Formation as a whole marks the maximum extent of the Vardar Ocean as a part of the Neo-Tethys Ocean, including the Slovenian Basin.

The Slovenian Basin gradually closed in the Lower Cretaceous, which was caused by regional events, to be more specific, by a northward movement of the Adriatic microplate. Simultaneously, some parts of the continental crust were uplifted and eroded producing clastic material for ocean fill. This has a flysch character with typical turbidite type of sedimentation. This event is marked by turbidites of the newly introduced Gora Formation in the studied area. Their basal part are usually composed of breccia and conglomerate, which transit into a typical turbiditic section. The latter consists of calcarenite with chert in alternation with siltstone, claystone, and intercalations of conglomerate. The later contains pebbles of mostly Triassic to Lower Cretaceous shallow-marinerocks. The material of the coarse-grained sediments, i.e. of calcarenite and conglomerate, originates from the southern Dinaric Carbonate Platform, whilst the material of fine-grained sediments, i.e. siltstone and claystone, also contain minerals which

originate from the magmatic and metamorphic rocks of the Internal Dinarides. Generally, the lower part of the whole series is more siliciclastic, whilst the upper part is more carbonaceous. In some areas, the turbidites lie directly on the Triassic basement, which can be explained by the syn-sedimentary sub-marine erosion of older deep-water sediments. The age of the Gora Formation has been determined on the basis of guide species of the *Orbitolina* genera as well radiolaria species, such as *Holocryptocanium barbui*, *Cryptaphorella conara*, *Dicerosaturnalis trizonalis*, *Stichomitra japonica* and others, placing it in the time span from Upper Aptian to Cenomanian.

The clastic turbidite sedimentation continued into the Upper Cretaceous up to the Campanian, but mostly as hemipelagic sequence with *in-situ* deposited pelagic sediments. These sediments are determined as the Krško Formation after the so-called *Krško beds*. Their regional equivalent is the classic Scaglia rossa Formation of the Apennine Mts. in Italy. The Krško Formation in the study area consists of mostly red platy limestone with chert and intercalations of thin interbeds of shale. In the western part of the Gorjanci Mts. it directly overlies the Triassic basement, which can be explained either by the sub-marine erosion of Jurassic to Cretaceous deep-water sediments, or by the gradual transgression of the Upper Cretaceous sea. The age of the Krško Formation was determined as Turonian to Campanian by the presence of guide foraminifera species of the *Globotruncana* and *Globorotallia* genera.

The next distinct turbidite cycle began in the Upper Campanian with a thick sequence of breccia and conglomerate, which consist of various older basement rocks. The prominent pebbles here are *plasticlasts* of Scaglia rossa limestone, which indicate a turbiditic current, transporting them into poorly consolidated base sediments. The breccia and conglomerate continue upward into well-bedded calcarenite, which in turn continues into an alternation of marly limestone and marlstone. The whole succession has been referred to as the Veliki Trn Formation after the so-called *Veliki Trn beds*. It lies directly on Triassic basement rocks in the western part of the Krško hribovje (hills) and Gorjanci Mts., which can be explained, as in the previous case, either by submarine erosion of underlying deep-water sediments, or by marine transgression. Its age has been determined as Campanian to Maastrichtian mainly by the presence of index foraminifera species of the *Globotruncana* and *Globorotallia* genera.

All these formations are grouped and denominated as the Krško Group on the basis of their origin, sedimentological and lithological similarities.

The *synorogenic* deep-water sedimentation continued in the present day Dinarides into Palaeogene and lasted until the end of Eocene. However, sediments of Palaeocene and Eocene age are only preserved here as rare isolated outcrops. This gives rise to a question of whether the sedimentation took place over the whole region, or only in particular individual basins.

The collision of the Adriatic and Tisza microplates ended by the end of Eocene, which resulted in the formation of the Dinarides. Structurally, they are characterised by regional longitudinal structures, such as folds and faults, which stretch in NW-SE direction. Dinaric structures are well expressed in the study area in the Krško hribovje and the Gorjanci Mts. Some of the larger structures have been named and described here in more detail (Figure 3).

The Neogene Paratethys sea was formed as the result of the uplift of the Dinaric mountain range. It consisted of more or less isolated lakes which were filled by the *molasse* type of sediments. The investigated area belongs to the Central Paratethys, i.e. to the Pannonian Basin. The oldest sediments of the above mentioned type in the Krško Basin are terrestrial deposits of Ottnangian age, which have been compared with the the Govce Formation of the Sava Folds. They consist of gravel, sand and clay with lenses of coal, which lie directly on various pre-Tertiary rocks. Their age is supposed to be Ottnangian on the basis of comparison to neighbouring areas.

There is a stratigraphic hiatus in the Krško Basin between the Ottnangian and Badenian beds. Sediments of Carpathian age might have been deposited, but later eroded. In the tectonic sense, the first Southern-Alpine structures from this age can be recognized here. They originate, on the regional scale, from the collision of the Adriatic microplate with the Euroasian plate, which, otherwise, ended at the end of Neogene. Southern-Alpine structures are characterised by regional longitudinal structures, such as folds, faults and thrusts, which run in a general E-W direction today. However, the geotectonic boundary between the Southern Alps and Dinarides lies within the so-called Sava Folds, which continue south-

ward to the Gorjanci Mts. Thus, the regional Southern-Alpine structures have been determined here as the Sava Folds structures. Several thrusts of this group of pre-Badenian age have been recognized in the investigated area. Their age has been inferred by the fact that they are partially covered by sediments of Badenian age (Figure 4).

The first Paratethys non-terrestrial beds in the Krško Basin and its surroundings are marine units of Badenian age, which continue into brackish-water rocks of Sarmatian age. Together they form the Laško Formation, which consists of the two members, i.e. the Lithothamnium Limestone and Laško Marl respectively. Generally, the Lithothamnium Limestone is in the lower part of the sequence, whilst the Laško Marl is in the upper part. However, the Laško Marl member entirely replaces the Lithothamnium Limestone in the eastern part of the Krško Basin. The Lithothamnium Limestone is a general term for various types of clastic and bioclastic limestones, where red algae of the genus *Lithothamnium* represent the most common bioclasts. The Laško Marl is mostly calcareous siltstone and sandstone with rare intercalations of coarse-grained debris flows. The age of the Badenian part of the Laško Formation has mostly been determined by foraminifera of the three biozones (*Legenidae*, *Spiroplectamina* and *Bulimina/Bolivina*), which indicate the Early, Middle and Late Badenian. The Sarmatian part of the formation is more heterogeneous, representing the regressive sedimentation tract, which largely consists of calcareous siltstone to sandstone with intercalations of sandstone and gravel, as well as re-sedimented Lithothamnium biocalcarenite. The age has been determined by index foraminifera species of the genus *Elpydium*. The whole Sarmatian sequence (Early, Middle and Late) is developed in the Krško Basin within the Laško Formation. Generally, the transgression starts in the eastern part of the Krško Basin in Early Badenian, and in its western part in Middle to Late Badenian. In places there is also an emersion phase between Badenian and Sarmatian marked by thin beds of brown coal.

The beginning of Pannonian stage was marked by the formation of the Pannonian Basin *sensu stricto*. It was mostly isolated from the Mediterranean ocean during the Pannonian and Pontian stages mostly due to the uplift of the surrounding areas at the end of the Sarmatian. This period was characterised by the deposition of a relatively homogenous series of sediments, consisting of marl and sand with intercalations of gravel. Sediments of Pannonian and Pontian age in the investigated area have been determined as the Posavje Group, due to the similarities in their origin and lithological characteristics. The Posavje Group comprises several newly introduced formations: Drnovo, Bizeljsko and Raka with the Globoko Member. It should be mentioned, that the Pontian stage is omitted in recent Neogene classifications of the Pannonian Basin and included into the Pannonian stage. However, all paleontological determinations during the elaboration of the Geological Map of the Krško Basin include the Pontian stage, so it has been left unchanged.

The Drnovo Formation consists entirely of marl and sandy marl, i.e. of calcareous silt to siltstone with larger or minor amount of quartz sand. Its age has been determined by the presence of ostracod fauna. This indicates an ingression of the Pannonian lake into older basins in the Early to Late Pannonian. Thus, the Late Pannonian marls overlie the Sarmatian marls, or even the pre-Tertiary basement in the Bizeljsko area in the eastern part of the Orlica mountain. In other parts of the Krško Basin, the Lower Pannonian marls lie normally on the Sarmatian beds. The age of the entire Drnovo sequence has been determined by index ostracod species such as: *Hungarocypris hyeroglyphyca*, *Hungarocypris* cf. *marginata*, *Amplocypris* cf. *abscisa*, *Amplocypris* cf. *angulata*, *Loxoconcha porosa*, *Candona (Pontoniella) acuminat*, *Candona (Lineocypris) hodonesis*, and others.

At the beginning of Pontian, sediments transit into a cyclic alternation of marl and sand, which is related, on the regional scale, to the connection of the Pannonian Basin with the Dacian Basin, and to a more dynamic sedimentation within a broad pro-delta environment. This series is only developed in the western part of the Krško Basin and is defined as the Bizeljsko Formation. The age has been determined by index ostracod species, which correspond to the Early and Late Pontian. The Early Pontian species are: *Candona (Reticulocandona) elongata*, *Hemicytheria marginata*, *Amplocypris* cf. *reticulata*, *Bacunella abchazica*, *Leptocythera naca*. The Upper Pontian species are: *Hungarocypris pannonica*, *Hungarocypris croatica*, *Candona (Camptocypris) acuta*, *Loxoconcha schweyeri*, *Candona (Lineocypris) trapezoidea*, *Candona (Lineocypris) granulosa*, *Candona (Typhlocypris) centropunctata*, *Candona (Caspicypris) labiata*, *Candona (Caspicypris) pontica*, and *Cyprideis triangulata*.

The Pannonian Lake was again isolated from other Paratethys basins in the upper part of the Late Pontian, becoming a freshwater environment with terrestrial sedimentation on its margins. In the Krško Basin, these sediments consist of almost pure quartz sand, representing a large delta plain. The climate was mostly arid, which was caused by the closure and drying out of the Mediterranean Sea, the event, known as the Messinian salinity crisis. This series has been defined as the Raka Formation. Its age has been determined by ostracod species: *Candona (Hastacandona) lotzy*, *Candona (Hastacandona) histerica*, *Candona (Camptocypria) balcanica*, *Candona (Camptocypria) flectimarginata*, *Candona (Camptocypria) cf. brusinai*, *Candona (Caspioella) cf. venusta*, *Hemicytheria pejnoviensis*, *Cyprideis triangulata*, *Pontoleberis pontica* and *Bacunella dorsoarquat*. These species are indicative of a freshwater environment during uppermost part of the Pannonian.

Laterally to the sandy facies, the Globoko coal basin is situated in the eastern part of the Krško Basin, consisting of sand, gravel, marl and clay with coal. These sediments have been defined as the Globoko Member within the Raka Formation. The age of the series has been determined by ostracod microfauna and mollusc macrofauna. There are abundant species of the genus *Congerina* in the lower part of the series, which are indicative of a brackish-water environment. There are species of the genus *Dreissena* in the upper part, which are indicative of a fresh-water environment in the Portefarrian, i.e. in the uppermost part of the Pannonian.

The end of Miocene was characterised by the collision of the Euroasian plate with the Adriatic microplate on one side, and with the Tisia microplate on the other. The Southern Alps are the result of the first event, and the Mid-Hungarian structural zone is the result of the second event. The boundary between the Southern Alps and Dinarides is usually regarded the large Kum thrust within the Sava Folds in the central Slovenia. However, the structures of the Southern Alpine type can also be seen further to the south, including the Orlica Mt. anticline, the Krško Basin syncline, and, conditionally, the Gorjanci Mts. anticlinorium, and we can define them as the Sava Folds structures (Figure 4). They were all formed at the end of the Miocene, more specifically after the Pontian.

The Pannonian Lake was again reduced during the Pliocene. The climate was again humid, which was supposedly caused by ingression of sea water from the Atlantic Ocean into the Mediterranean Basin. This probably caused intensive precepitation and enhanced erosion of the uplifted hinterland of the Pannonian Basin during Dacian and Romanian stages. The eroded material was transported as gravel and sand by large braided rivers into the central part of the Pannonian Basin, where another large lake, called the Slavonia Lake, was formed. The coarse-grained sediments have been determined as the Globoko Alloformation in the study area. The clastic material originates from rocks in the Southern Alps and Dinarides. The absence of carbonate particles in these sediments has not been yet satisfactorily explained. The age of this series has been determined from a borehole on the Libna hill by cosmogenic radionuclides (CRN) to be > 1.8 My, which means that it can be of either Pliocene or Early Quaternary age.

The longitudinal compressional faults of the Mid-Hungarian Zone and its southwestern continuation, known as the *Balaton Zone*, re-activated as left-lateral strike-slip faults during the Pliocene and Early Quaternary. They are clearly visible in the Gorjanci Mts., where they determine the structural and morphological relief. The Orlica Fault of the Orlica Mt. can only conditionally be included into this group, because it stretches somewhat obliquely to the dominant direction (WSW- ENE) of the Balaton group of structures. However, some distinct secondary structures are developed along the Orlica Fault, such as the Libna Fold and the Artiče Flexure. They both represent inferred *en echelon* compressional structures of the simple shear mechanism (Figure 7).

The Quaternary is marked by glaciogenic sedimentation on the regional scale, which lasted until the end of the Pleistocene. In the Krško Basin, sediments of Quaternary age are predominately represented by fluvial deposits of the Sava, Krka and Sotla rivers, and only supposedly by peri-glacial sediments. Altogether they have been defined as the Krško Allogroup, which consists of several alloformations with litho- and morphomembers.

The oldest Quaternary sediments are of fluvial origin and of inferred Middle Pleistocene age. They consist of mixed silicate to carbonate gravel, sand, and sandy clay, whilst the coarse-grained material consists of the same rocks as in the Globoko Alloformation, which derive from the Southern Alps and



Dinarides. The ratio of silicate to carbonate content is generally equal. This series, defined as the Brezina Alloformation, stretches along the Krško syncline axis in a WSW - ENE direction. Since it is completely covered by younger Quaternary sediments, it has been determined entirely from the borehole data.

Younger Quaternary sediments built up the upper terraces of the Sava, Krka and Sotla rivers. They have been defined as the Sava, Krka and Sotla alloformations, accordingly and grouped into the Krško Allogroup. They also consist of mixed silicate to carbonate gravel and sand but with dominant carbonate component. Their age has been determined from cemented gravel within the upper Sava river terrace in the town of Krško which indicates their formation during the Rissian Glaciation or Mindle/Rissian interglacial of the Middle Pleistocene. The U/Th isotope age of the cement is cca 250 kyr, what means that the age of the sediment itself is equal or older than the obtained age.

The Upper Pleistocene sediments were deposited as the lower terraces of the Sava and Krka rivers. Their lithological composition is almost identical to that in the upper river terraces. The age of the sediments has been determined from a peat lens within the Krka river terrace. The  $C^{14}$  isotope date is  $17,684 \pm 100$  yr. BP, which places these sediments within the upper part of the Würmian glaciation.

Holocene sediments have been deposited along the Sava and Sotla rivers as the lowermost terraces. They consist, as in the previous case, of predominantly carbonate sand and gravel. However, the Holocene sediments related to the river Krka consist also of flooding fine-grained sediments. Their age has been determined by radiocarbon dating, and it is  $1,463 \pm 40$  yr. BP.

The Dobrava Alloformation, as opposed to the alloformations of the Krško Allogroup, represents mixed alluvial, proluvial and colluvial sediments, which originate from the Krško Basin rims. They have been, regarding to their lithological content and grain size, divided into three allomembers. It may be posited that they were deposited throughout the entire Middle and Late Pleistocene as well as during the Holocene. The exact age has been determined only from the peat within fine grained silt with clay near the town of Brežice. The  $C^{14}$  isotope age is  $9,804 \pm 65$  yr. BP, what places this sediment in the Early Holocene.

As far as structural deformations of Quaternary sediments are concerned, the only sign of inferred tectonic activity is the northward dip of the Middle Pleistocene Brežice terrace at an angle of less than  $1^\circ$ . This is, however, in accordance to other pre-Quaternary geological data, which is indicative of a compressional stress and strain field during Neogene with the sigma-1 axis oriented in a general N- S direction, with resulting dominant compressional deformations. According to the geodetic levelling and GPS data, this stress and strain field is still present today. This assumption is also supported by the seismic activity in this region, because the recent earthquakes in the Krško Basin and its surroundings, according to their focal mechanisms, are largely connected to reverse faulting along fault planes, which stretch in a general W- E direction (Figure 12). However, it is important to stress, that tectonic displacements from the depths do not reach the surface, or have not yet been detected.

Finally, it should be pointed out that numerous anthropogenic features are present in the Krško Basin. They originate from Prehistoric and Roman times, as well as from Middle Ages and Modern time. Some of them, as for instance terraces on the Libna hill and at the Malence village, and artificial Sava, Krka and Sotla river banks, could be mistaken for geologic structures. Therefore, in order to avoid such a mistake, the most prominent ones have been also marked on the presented geological map of the Krško Basin.

## LITERATURA

### OBJAVLJENA

- Acciano, F., Gosar, A., Millahn, K., Nicolich, R., Poljak, M., Rossi, G. & Zgur, F., 2003: Regional and high resolution seismic reflection investigations in the Krško Basin (Slovenia). *Ann. Univ. Sci. Bp. Rolando Eötvös Nomin., Sect. Geol.* 35, 116-117, Budapest.
- Acciano, F., Cernobori, L., Nicolich, R., Rossi, G. & Zgur, F., 2014: Tomographic inversion and pre-stack depth migration of seismic profile KK-2 across the Krško plain. *Bull. Geofis. Teor. Appl.* 55/1, 197-213, Trieste.
- Aničić, B. & Juriša, K., 1985a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Rogatec. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Aničić, B. & Juriša, K., 1985b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tolmač za list Rogatec. Zvezni geološki zavod, 76 pp., Beograd.
- Aničić, B., 1990: Geološke razmere na Orlici. *Geologija* 33, 233-287, Ljubljana.
- Aničić, B. & Dozet, S., 2000: Mlajšepaleozojske in mezozojske kamnine na severnem obrobju Krške kotline. *Geologija* 43/1, 13-35, Ljubljana.
- Aničić, B. & Dozet, S., 2002: Development of the Anisian Stage in the Orlica Anticline Area and Kozjansko Eastern Sava Folds. *RMZ- Materials and Geoinveronment* 49/1, 117-129, Ljubljana.
- Assereto, R., Bosellini, A., Fantini Sestini, N. & Sweet, W. C., 1973: The Permian-Triassic Boundary in the Southern Alps (Italy). *Mem. Canad. Soc. Petrol. Geol., Z. P.*, 176-199, Calgary.
- Auboin, J., 1973: Des tectoniques superposeés et de leur signification par rapport aux modèles géophysiques, I, exemple des Dinarides, paléotectonique, tectonique, tardiotectonique, néotectonique: *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XV/5-6, 426-460.
- Aubouin, J., Blanchet, R., Cadet, J. P., Calet, P., Charvet, J., Chorowitz, J., Cousin, M. & Ramonoux, J. P., 1970: Essai sur la géologie des Dinarides. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XII/6, 1060-1096.
- Babić, Lj., 1974: Paleogeografski problemi mezozoika u prostoru Žumberka i Medvednice. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 104 pp., Zagreb.
- Babić, Lj., 1976: Pomak granice između Unutrašnjih i Vanjskih Dinarida (primjer šireg područja Žumberka). *8. Jug. geol. kongr.*, Bled, 1974, 2, 45-52, Ljubljana.
- Barrier, E., Chamot-Rooke, N. & Girdano, G., 2004: Geodynamic Map of the Mediterranean. *Sheet-Tectonics and Kinematics*. Commission for the Geological Map of the World, Rome.
- Bavec, M. & Poljak, M., 2005: Pleistocenski (?) vršaj pri Škocjanu v Krški kotlini. *Geol. zb.* 18, 4-6, Ljubljana.
- Bavec, M., Poljak, M., Rižnar, I. & Živčić, M., 2011: Kratak pregled geološke zgradbe Krške kotline. *Geol. zb.*, 21, 7-10, Ljubljana.
- Bavec, U., 1998: Velike Malence. *Varstvo spomenikov* 37, 258-138. Ljubljana.
- Bavec, U., 2001: Mikroregionalno vrednotenje poselitve Velikih Malenc. Magistrsko delo, Filozofska fakulteta, Univerza v Ljubljani, 194 pp., Ljubljana.
- Bérczi, I., 1988: Preliminary Sedimentological Investigations of a Neogene Depression in the Great Hungarian Plain. V: L. H. Royden & F. Horváth: *The Pannonian Basin*. AAPG Memoir 45, 107-116.
- Brajković, R., 2014: Sedimentološka analiza apnenčevih breč v mastrichtijskih fliših severovzhodne Bele krajine. Diplomsko delo, Naravoslovnotehnična fakulteta, 61 pp., Ljubljana.
- Brodnar, S., 1955: Kostanjevica ob Krki, Paleolitska postaja na planem. *Razprave IV Raz. SAZU III*, 433-461, Ljubljana.
- Brückl, E., Behm, M., Decker, K., Grad, M., Guterch, A., Keller, G. P. & Thybo, H., 2010: Crustal structure and active tectonics in the Eastern Alps. *Tectonics* 29, 1-17.
- Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., & Čakalo, M., 1984a: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Črnomelj, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Bukovac, J., Poljak, M., Šušnjar, M., & Čakalo, M., 1984b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Črnomelj, Savezni geološki zavod, 63 pp., Beograd.
- Bukovac, J., Grgasović, T., Glovacki-Jernej, Ž., Jerinić, G., Galović, I. & Prtoljan, B., 1995: Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga jugozapadnog Žumberka u okviru radova na Geološkoj karti republike



- Hrvatske 1:50 000. 1. Hrv. geol. kongr., Opatija, 1995, Zbor. radova 1, 137-142, Zagreb.
- Buser, S., 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Celje. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S., 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tolmač lista Celje. Zvezni geološki zavod, 72 pp., Beograd.
- Buser, S., 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin. *Mem. Soc. Geol. Ital.* 40 (1987), 313-320.
- Buser, S. & Pavšič, J., 1978: Spodnjekredni nanoplankton med Sevnico in Brestanico. *Rud.- metal. zb.* 2-3, 199-2-5, Ljubljana.
- Buser, S., Grad, K., Ogorelec, B., Ramovš, A. & Šribar, L., 1988: Stratigraphical, paleontological and sedimentological characteristics of Upper Permian beds in Slovenia, NW Yugoslavia. *Mem. Soc. Geol. It.* 34 (1986), 195-210.
- Caporali, A., Aichorn, C., Barlik, M., Becker, M., Fejes, I., Gerhatova, I., Ghitau, D., Grencerczy, G., Hefty, J., Krauss, S., Medak, D., Milev, G., Mojzes, M., Mulic, M., Nardo, A., Pesec, P., Rus, T., Simek, J., Sledzinski, J., Solaric, M., Stangl, Stopar, B. & Virag, G., 2009: Surface kinematics in the Alpine-Carpathian-Dinaric and Balkan region inferred from a new multi-network GPS combination solutions. *Tectonophysics* 474, 205-321.
- Caron, M. & Cousin, M., 1972: Le sillon Slovène: les formations terrigènes crétacées des unités externes au Nord-East de Tolmin (Slovénie occidentale). *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XIV,34-43.
- Cline, L, Cline, M., Bavec, M., Poljak, M, & Rižnar, I., 2014: Pliocene and Quaternary Incision Rate for the Sava River: Implications for Tectonic Deformation in the Krško Basin, Slovenia. 4. *Slov. geol. kongr.* (Ankaran), Povzetki in ekskurzije, 11-12, Ljubljana.
- Cousin, M., 1970: Esquisse géologique des confins italo-yugoslaves: leur place dans les Dinarides et les Alpes méridionales. *Bull. Soc. Géol. France*, (7), XII/6, 1034-1047.
- Crnjaković, M., 1987: Sedimentologija krednih in paleogenskih klastita na Medvednici Ivanščici i Žumberku. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- Cohen, K.M., Finney, S., Gibbard, P.L., 2015: International Chronostratigraphic Chart (PDF), International Commission on Stratigraphy .
- Ćorić, S., Pavelić, D., Rögl, F., Mandić, O., Vrabac, S., Avanić, R., Jerković, L. & Vranjković, A., 2009: Revised Middle Miocene datum for initial marine flooding of North Croatian basin (Pannonian basin System, Central Paratethys). *Geol. Croat.* 62/1, 37-43, Zagreb.
- Devidé-Nedžela, Babić, Lj. & Zupanič, J., 1982: Mاستrihtska starost fliša Vivodine u Žumberku i kod Ozlja (zapadna Hrvatsk) na temelju planktonskih foraminifera. *Geol. vjesn.* 35, 21-36, Zagreb.
- Dimitrijević, M., 1979: Pojam »formacija« u Nacrtu uputstva za izradu Tematske geološke karte. *Geol. vjesn.* 12, 113-120, Zagreb.
- Dozet, S., 1993: Lofer Cyclothem from the Lower Krka Limestone. *Riv. It. Paleont. Strat.* 99/1, 81-100.
- Dozet, S. & Stojanovič, B., 1998: Geološka reambulacija severnega pobočja Gorjancev in južnega obrobja Krško–Brežiške ravni med Mokricami in Šentjernejem. *Rud. – metal. zbor.* 46, 3-4, 295-313, Ljubljana.
- Dozet, S. & Aničić, B., 2000: Pre-Tertiary basement of the Krško depression. *RMZ – Materials and Geoenvironment* 47/1, 27-55, Ljubljana.
- Dozet, S., Rijavec, J., Aničić, B., Škerlj, Ž. & Stojanovič, B., 1998: Neogene beds of the Krško-Brežice plain and its borderland (southeastern Slovenia). *RMZ – Materials and Geoenvironment* 45, 3/4, 375- 404, Ljubljana.
- Gabrovec, S., Jesse, S., Petru, P., Šašel, J & Truhlar, F. (eds.), 1975: Arheološka najdišča Slovenije. SAZU, Inštitut za arheologijo, Ljubljana.
- Gosar, A., 1996: Seizmična refleksijska metoda v strukturnih raziskavah za oceno potresne nevarnosti v Krški kotlini. Doktorska disertacija, Naravoslovnotehnična fakulteta, Univerza v Ljubljani, 288 pp., Ljubljana.
- Gosar, A., 1998: Seismic-reflection surveys of the Krško basin structure: Implication for earthquake hazard at the Krško nuclear power plant, SE Slovenia. *Jour. Appl. Geophys.* 39, 131-153.
- Gosar, A. 1999: Geofizikalne raziskave v okolici Jedrske elektrarne Krško – Projekt Phare. Raziskovalni projekti s področja geodezije in geofizike, Zbor. predavanj 2, 5-17, Ljubljana.
- Gosar, A., Komac, M. & Poljak, M., Strukturni model pred-terciarne podlage Krške kotline. *Geologija* 48/1, 23-32, Ljubljana.

- Grad, K., 1969: Psevdoziljski skladi med Celjem in Vranskim. *Geologija* 12, 91-195, Ljubljana.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D. & Ogg, G. M. (eds.), 2012: *The Geologic Time Scale, Volume 1, 1-435; Volume 2, 437-1144*, Elsevier.
- Guštin, M., 1976: *Libna. Posavski muzej Brežice, Knj. 3, 137 pp.*, Brežice.
- Guštin, M., Novaković, P., Grosman, D., Mušič, B. & Lubšina-Tušek, M., 1996: *Rimsko podeželje. Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, 157 pp.*, Ljubljana.
- Guštin, M. & Olič, S., 2003: Čateški grič. V: D. Prešern (ed.), 2003: *Zemlja pod vašimi nogami: Arheologija na avtocestah Slovenije- Vodnik po najdiščih*, 110-112. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Ljubljana.
- Heidbach, O., Tingay, M., Barth, A., Reinecker, J., Kurfeß, D. & Müller, B., 2009: *The World Stress Map based on the database release 2008, equatorial scale 1:46,000,000, Commission for the Geological Map of the World, Paris, doi:10.1594/GFZ.WSM.Map2009*.
- Herak, M., 1986: A new concept of geotectonic of the Dinarids. *Act. Geol. JAZU* 16/1, 1-42, Zagreb.
- Herak, M., 1990: Tectonic Interrerelation of the Dinarides and the Southern Alps. *Geol. Croat.* 52/1, 83-98, Zagreb.
- Herak M., Herak, D., & Markušić, S., 1996: Revision of the earthquake catalogue and seismicity of Croatia, 1908-1992, *Terra Nova* 8, 86-94.
- Heritsch, F. & Seidl, F., 1919: Das Erdbeben von Rann an der Save vom 29. Jänner 1917, Zweiter Teil. *Mitteil. der Erbeben Kommission, Neue Folge* 55, 1-156, Wien.
- Hoernes, M., 1870: *Die fossilen Mollusken des Tertiär-Beckens von Wien. 2. Teil, Bivalven, Abb. Geol. Reichanst, 4, Wien.*
- Horvat, A., 2004: *Srednjemiocenske kremenične alge Slovenije. ZRC, SAZU, 255 pp.*, Ljubljana.
- Horvat, A., Bartol, M. & Mikuž, V., 2010: New facts about the upper Badenian Paratethys paleogeography. 4. *Hrv. geol. kongr. (Šibenik), Knj. sažetaka* 67-68, Zagreb.
- Horváth, F. & Berckhemer, H., 1982: Mediterranean Back-arc Basins. In: H. Berckhemer & K. Hsü (eds.): *Alpine-Mediterranean Geodynamics. Geodyn. Ser. 7, 141-173.*
- Hrvatović, H., 2005: *Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina. Geological Survey of Federation of Bosnia and Herzegovina, 172 pp.*, Sarajevo.
- Hughes, P. H., 2010: Geomorphology and Quaternary stratigraphy: The roles of morpho-, litho-, and allostratigraphy. *Geomorphology* 123, 189-199.
- Ivanković, J. & Nosan, A., 1973: Hidrogeologija Čateških Toplic. *Geologija* 16, 353-361, Ljubljana.
- Jelen, M., Budkovič, T. & Grad, K., 1981: *Cruciaciclites variusulcatus* v permskih plasteh uranovega rudišča Žirovski vrh. *Geologija* 24/2, 319-325, Ljubljana.
- Jenko, K., 1944: Stratigrafski i tektonski snošaj pliocena južnog pobočja Požeške gore i Kusonja brda. *Vjes. Geol. zavoda i muzeja* 2-3, 89-159, Zagreb.
- Jurkovšek, B., 2010. *Geološka karta severnega dela Tržaško-komenske planote 1:25 000, Tolmač. Geološki zavod Slovenije, 72 pp.*, Ljubljana.
- Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šribar, L., Drobne, K., Poljak, M. & Šribar, L., 1996: *Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogenske kamnine, Geološki zavod Ljubljana, 143 pp.*, Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T. & Jurkovšek, B., 2015: Conodont zonation of Lower Triassic strata in Slovenia. *Geologija* 58/2, 155-174, Ljubljana.
- Koler, B. & Breznikar, A., 1999: Določitev vertikalnih premikov na območju Krškega in Krške kotline. Raziskovalni projekti s področja geodezije in geofizike, *Slov. združenje za geod. in geof.*, Zbor. predavanj 2, 31-49, Ljubljana.
- Kogoj, D., 1997. Geodetske meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih v Sloveniji. Novejši dosežki na področju geodezije in geofizike v Sloveniji, *Slov. združenje za geod. in geof.*, Zbor. predavanj, 133-144, Ljubljana.
- Krenmayr, H. G. (ed.), 2000: *Rocky Austria: A Brief History of Austria. Geological Survey of Austria, 60 p.*, Wien.
- Kuščer, D., 1967: Zagorski terciar. *Geologija* 10, 5-58, Ljubljana.
- Lapajne, J., 1975a. Geofizikalne raziskave na območju Četeških Toplic. *Geologija* 18, 315-324, Ljubljana.
- Lapajne, J., 1975b; Geofizikalne raziskave vodonosnikov v Sloveniji. *Geologija* 18, 339-355, Ljubljana.

- Lapajne, J. & Fajfar, P., 1997: Seismic hazard reassessment of an existing NPP in Slovenia. *Nuclear Engineering and Design* 175, 215-226.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B. & Zupančič, P., 2001: Karta projektnega pospeška tal Slovenije. Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, 40-49, Ljubljana.
- Lipold, M., 1858: Bericht Über die Geologische Aufnahme in Unter-Krein im Jahre 1957. *Jb. Geologische Reichsanstalt* 9, 257-276, Wien.
- Ložar, M. & Živčič M., 2007: Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letu 2005. V: R. Vidrih (ed.): Potresi v letu 2005. Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 57-62, Ljubljana.
- Ložar, M. & Živčič M., 2008: Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2006 in 2007. V: R. Vidrih (ed.): Potresi v letu 2007. Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 48-53, Ljubljana.
- Ložar Stopar, M. & Živčič, M., 2011: Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2008 in 2009. V: A. Gosar (ed.): Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, 71 – 75, Ljubljana.
- Ložar Stopar, M. & Živčič, M., 2012: Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2010 in 2011. V: A. Gosar (ed.): Potresi v letu 2011. Agencija Republike Slovenije za okolje, 58-62, Ljubljana.
- Lužar-Oberiter, B., Mikes, T., von Eynatten, H. & Babić, Lj., 2008: Ophiolite detritus in Cretaceous clastic formation of the Dinarides (Croatia): Evidence from Cr-spinel chemistry. *Inter. Jour. Earth Sci.* 98, 1097-1108.
- Lužar-Oberiter, B., Mikes, T., Dunkl, I., Babić, Lj. & von Eynatten, H., 2012: Provenance of Cretaceous synorogenic sediments from NW Dinarides (Croatia). *Swiss. Jour. Geosci.* 105, 377-399.
- Magyar, I., Geary, D. H. & Müller, P., 1999: Paleogeographic Evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 211, 325-344.
- Markič, M. & Rokavec, D., 2002: Geološka zgradba, nekovinske mineralne surovine in lignit okolice Globokega (Krška kotlina). *RMZ-Materials and Geoenvironment* 49/2, 229-266, Ljubljana.
- Márton, E., Jelen, B., Tomljenović, B., Poljak., Márton, P., Avanić, R. & Pamić, J., 2006: Late Neogene counterclockwise rotation in the SW part of the Pannonian basin. *Geol. Carpathica* 57/1, 41-46.
- Mason, P., 2003a: Rimska vojaška utrdba. V: D. Prešern (ed.): Zemlja pod vašimi nogami: Arheologija na avtocestah Slovenije - Vodnik po najdiščih, 66-71, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, Ljubljana.
- Mason, P., 2003b: Obrežje MMP. V: D. Prešern (ed.): Zemlja pod vašimi nogami: Arheologija na avtocestah Slovenije – Vodnik po nahajališčih, 202-203, Zavod za varstvo kulturne dediščine, Ljubljana.
- Melik, A., 1959: Posavska Slovenija. Slovenska matica, 595 str., Ljubljana.
- Mikuž, V., 2003: Novi najdbi delfina v Sloveniji iz srednjemiocenskih plasti pri Beli cerkvi na Dolenjskem. *Razprave IV Raz. SAZU XLIV/1*, 163-173. Ljubljana.
- Mikuž, V., 2005: Delfin *Champsodelphis ? carniolicus* z Janževe gorice na Bizeljskem. *Razprave IV raz. SAZU 42/1*, 79- 1001, Ljubljana.
- Mlinar, I., 1940: Iz Rimskega ozidja v Krajini. *CZN, XXXV*, 3-4, 64-74, Ljubljana.
- Nagymarosy, A. & Müller, P., 1988: Some Aspects of Neogene Biostratigraphy in the Pannonian Basin. In: L. H. Royden & F. Horváth (eds.): *The Pannonian Basin. AAPG Memoir* 45, 69-87.
- Neuendorf, K., Mehl, J. P. Jr. & Jackson, L., 2005: *Glossary of Geology*, 5th ed. American Geological Institute, Alexandria, VA, USA.
- Nicolich, R., Polizzi, D. & Furlani, S (eds.): *Transalp Conference. Mem. Sci. Geol. (Spec. Pub.)* 54, 1-268, Padova.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983: *North American Stratigraphic Code. AAPG Bull.* 67/5, 841-875.
- Nosan, A., 1959: Hidrogeologija Čateških Toplic. *Geologija* 5, 63-79, Ljubljana. Nosan, A., 1973: Termalni vrelci v Sloveniji. *Geologija* 16, 5-81, Ljubljana.
- Otoničar, B. & Cimerman, F., 2006: Facialna analiza, biostratigrafija in depozicijski model srednjemiocenskih kamnin med Krško Vasjo in Obrežjem. 2. Slov. geol. kongr. (Idrija), Zbor. povzetkov, 71, Idrija.
- Ožegović, F., 1944: Prilog geologiji mlađeg tercijsara na temelju podataka iz novijih bušotina u Hrvatskoj. *Vjes. Geol. zav. i muz.* 2-3, 389-491, Zagreb.

- Pavšič, J., 1981: Nanoplanktonska biostratigrafija krednih in paleocenskih plasti Slovenije. Rud.-met. zbor. 28/4, 369-362, Ljubljana.
- Pavšič, J., 1994: Biostratigraphy of Cretaceous, Paleocene and Eocene Clastics of Slovenia. Razprave IV Raz. SAZU XXXV/3, 65-84, Ljubljana.
- Petru, S. & Petru, P., 1978: Neviodunum (Drnovo pri Krškem). Katalogi in monografije 15, 1-51, Narodni muzej v Ljubljani.
- Pierau, H., 1958: Zur Stratigraphie und Tektonik jungtertiärer Ablagerungen in nordwestlicher Krško polje in Slowenien. Geologija 4, 111-148, Ljubljana.
- Pikija, M., 1982: Turbiditne karakteristike dijela gornjopanonskih sedimenata u području Mihovljan-Labor (sjeverozapadna Hrvatska). Geol. vjesn. 35, 59-63, Zagreb.
- Piller, W. E., Harzhauser & M. Mandić, O., 2007: Miocene Central Paratethys stratigraphy – current status and future directions. Stratigraphy 4, 151-168.
- Placer, L., 1999: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. Geologija 41, 223-255, Ljubljana.
- Placer, L., 2009: Tektonska razčlenitev Slovenije. V: M. Pleničar, B. Ogorelec & M. Novak (eds.): Geologija Slovenije, 43-60, Ljubljana.
- Pleničar, M. & Premru, U., 1975: Facielne karakteristike sjeverozapadnih Dinarida. 2. Godišnji znanstveni skup sekcije za primjenu geologije, geofizike i geokemije, Znanst. savjet za naftu, JAZU, 17-54, Zagreb.
- Pleničar, M., Premru, U. & Herak, M., 1976: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Novo mesto. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Pleničar, M. & Premru, U., 1977: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tolmač za list Novo mesto. Zvezni geološki zavod, 61 pp., Beograd.
- Pleničar, M., Ogorelec, B. & Novak, M. (eds.), 2009: Geologija Slovenije. Geološki zavod Slovenije, 612 str., Ljubljana.
- Poljak, M. & Živčić, M., 1995: Tectonics and Seismicity of the Krško Basin. 1. Hrv. geol.kongr. (Opatija), Zbor. radova 2, 475-479, Zagreb.
- Poljak, M., Živčić, M. & Zupančič, P., 2000: The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. Pure Appl. Geophys. 157, 37-35.
- Poljak, M. & Gosar, A., 2001: Strukturna zgradba Krške kotline po podatkih geofizikalnih raziskav v letih 1994-2000. Geol. zbor. 16, 79-82, Ljubljana.
- Poljak, M., Rižnar, I. & Verbič, T., 2002: Geološka zgradba Krške kotline. 1. Slov. geol. kongr. (Črna na Koroškem), Knj. povzetkov, 73-74, Ljubljana.
- Poljak, M. & Rižnar, I., 2005: Geologija Krške kotline. Znanstveno- stručni skup istraživača krša Žubmeračke gore, Zbor. Sažetaka, p. 23, Speleološko društvo »Samobor«, Bregana.
- Poljak, M. & Ribičič, M., 2005: Fosilni kamninski plaz pri Čatežu ob Savi. Geol. zbor. 18, 96-100, Ljubljana.
- Poljak, M., Placer, L., Živčić, M., Bilc, A. & Vodopivec, F., 2006: Crustal movements in the Eastern Alps and the Medirteranean, Slovenian part of WP:10.1: Geodynamics of the Alps-Dinarides junction in Slovenia after geological, seismological and geodetic data. Reports of geodesy, 153-168, Warsaw University of Technology, Warsawa .
- Poljak, M., Gosar, A. & Živčić, M., 2010: Active tectonics in Slovenia. Geoacta, Spec. Publ. 3, 15-24.
- Poljak, M. & Milanič, B., 2011: Nekaj novih podatkov o starosti nekaterih kvartarnih sedimentov v Krški kotlini. Geol. zbor. 21, 100-103. Ljubljana.
- Poljak, M., Calsteren, P., Marjanac, T., Marjanac, Lj., Bavec, M. & Rižnar, I., 2013: Contribution to the Origin and Age Determination of some Quaternary Sediments in the Krško Basin. Geol. zbor. 22, 124-127. Ljubljana.
- Predovnik, K., 2003: Trdnjava Kostanjevica na Starem gradu nad Kostanjevico. Arheologia Historica Slovenika 4, 1-42, Ljubljana.
- Premru, U., 1976: Neotektonika vzhodne Slovenije. Geologija 19, 211-249, Ljubljana.
- Premru, U., 1996: Recente tektonische Aktivität des Krško-Einbruchstaes (Slowenien). Geologija 39, 239-281, Ljubljana.
- Prešern, D. (ed.), 2003: Zemlja pod vašimi nogami: Arheologija na avtocestah Slovenije- Vodnik po najdiščih. Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije, 287 pp., Ljubljana.

- Radics, P. v, 1902/03: Krainer Beben nach Aufzeichnungen bei Schoenleben und Valvazor, Die Erdbebenwarte 2 . 153-156, Laibach.
- Radics, P. v., 1910: Erdbeben in Gurkfeld (Nach Aufzeichnungen im dortigen Stadtarchive), Die Erdbebenwarte, 9, 60-61, Laibach.
- Rajh, G., Car, M. & Gosar, A., 2014: Electrical resistivity tomography investigations along the planned dykes of the HPP Brežice water accumulation basin. *Geologija* 57/2, 183-192, Ljubljana.
- Rajver, D., 2001: Geotermalne značilnosti Krške kotline s poudarkom na geofizikalnih raziskavah. Magistrsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 203 pp., Ljubljana.
- Rajver, D. & Ravnik, D., 2003: Geothermal characteristics of the Krško basin, Slovenia, based on geophysical research. *Physics and Chemistry of the Earth* 28, 443-455.
- Rakovec, I., 1954: O fosilnih slonih iz Slovenije. Razprave IV raz. SAZU II, 215-275, Ljubljana.
- Rakovec, I., 1956: Pregled tektonske zgradbe Slovenije. 1. Jug. geol. kongr. (Bled, 1954), Predavanja in poročila 73-83, Ljubljana.
- Ramovš, A., 1958: Razvoj zgornjega perma v loških in polhograjskih hribih. Razprave IV. Raz. SAZU 4, 451-622, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1994: Potresi v Sloveniji: ob stoti obletnici velikega ljubljanskega potresa, Slovenska matica v Ljubljani, 173 pp., Ljubljana.
- Rižnar, I., 2005: Geološka zgradba mejnega področja med Zunanjimi in Notranjimi Dinaridi vzhodne Slovenije. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematični fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 146 pp Zagreb.
- Rižnar, I., 2006: Zgodovina raziskav krških in velikotrnskih plasti (revizija krških in velikotrnskih plasti). Razprave IV raz. SAZU XLVII 2, 79-99, Ljubljana.
- Rižnar, I., Miletič, D., Verbič, T. & Horvat, A., 2002: Srednjemiocenske kamnine severnega pobočja Gorjancev med Čatežem in Kostanjevico. *Geologija* 45/2, 531-536, Ljubljana.
- Roberts, N., 2014: *The Holocene, An environmental history*. 364 pp., Wiley Blackwell.
- Rokavec, D. & Mirtič, B., 1997a: Karakterizacija glina ležišča Globoko. *Rud.-Metal. zbor.* 4, 3-4, 187–199, Ljubljana.
- Rokavec, D. & Mirtič, B., 1997b: Uporaba gline iz ležišča Globoko v keramični industriji. *Rud. – Metal. zbor.* 44, 3-4, 187-199, Ljubljana.
- Rožič, B., 2005: Albian- Cenomanian resedimented limestone in the Lower flyschoid Formation in the Mt. Mrzli vrh area (Tolmin region, NW Slovenia). *Geologija* 48/2, 193-210, Ljubljana.
- Rožič, B., 2009: Pebla and Tolmin formations: Revised Toarcian to Tithonian stratigraphy of the Tolmin Basin. *Bull. Soc. Geol. Fr.* 180/5, 411-430.
- Salopek, M., 1936: O cefalopodnoj fauni Gregorić-brijega u Samoborskoj gori. *Prirodoslovna istraživanja, JAZU* 20, Zagreb.
- Savezni geološki zavod, 1985: Nacrt uputstva za izradu Tematske geološke karte SFRJ (OGK-2) – Regionalna istraživanja. 129 pp., Beograd.
- Savšek-Savtič, S., Ambrožič, T. & Kogoj, D., 2011: Geodetic Terrestrial Observations for the Determining of the Stability in the Krško Nuclear Power Plant Region. *Nuclear Power – Operations, Safety and Environment*, 71-88.
- Schmidt, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M. & Ustaszewski, K., 2008: The Alpine-Carpathian orogenetic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swis. Jour. Geosci.* 101, 139-183.
- Seidl, F., 1918: Zemeljski potres pri Brežicah in Krški vasi dne 29. januarja 1917. "Carniola", 1- 2, 43-60, Ljubljana.
- Senegačnik, J., 2012: Slovenija in njene pokrajine. Modrijan založba d.o.o., 471 pp., Ljubljana.
- Sirovich, L., Suhadolc, P., Costa, G. & Pettenati, F., 2014: A review of the seismotectonics and some considerations of the seismic hazard of the Krško NPP area (SE Slovenia). *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 55/1, 175-195, Trieste.
- Skobe, S., Goričan, Š., Skaberne, D., Verbič, T., Mišič, M. & Zupančič, N., 2013: K-feldspar-rich shales from Jurassic bedded cherts in southwestern Slovenia. *Swiss, Jour. Geosc.* 106, 491-504.
- Steininger, F.F., Müller, C. & Rögl, E., 1988: Correlation of Central Paratethys, Eastern Paratethys and Mediterranean Neogene Stages, 79-87. In: L. R. Royden & F. Horvath (eds.) : *The Pannonian Basin. AAPG Memoir* 45, 79-87.



- Stevanović, P. & Škerlj, Ž., 1985: Prilog biostratigrafiji panonsko-pontskih sedimenata u okolini Videm-Krškog. Razprave IV. Raz. SAZU XXVI, 281-304, Ljubljana.
- Šebek, Ž., 2009: Krško, Življenje z reko Savo. Neviodunum, 116 str., Krško.
- Šercelj, A., 1963: Razvoj würmske in holocenske gozdne vegetacije v Sloveniji. Razprave SAZU, IV. raz. 7, 363-417. Ljubljana.
- Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A., 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Zagreb. Savezni geološki zavod Beograd.
- Šikić, K., Basch, O. & Šimunić, A., 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Zagreb. Savezni geološki zavod, 81 str., Beograd.
- Šikić, K. (ed.), 1995: Geološki vodič Medvednice. Institut za geološka istraživanja. 199 str., Zagreb. Šimunić, A., Šparica, M. & Grimani, M., 1976: Sedimentacija i dijageneza donjokrednih naslaga Banije. Geol. vjesn. 29, 199-211, Zagreb.
- Šimunić, A., Pikija, M. & Hećimović, I., 1982a: Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100 000, list Varaždin. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šimunić, A., Pikija, M. & Hećimović, I., 1982b: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, Tumač za list Varaždin. Savezni geološki zavod, 75 str., Beograd.
- Šparica, M., 1981: Mezozoik Banije, Korduna i dodirnog područja Bosne. Nafta, Spec. Publ., 245 pp., Zagreb.
- Šumatovac, F., Orešković, J., Grad, M. & ALP 2002 Working Group, 2014: Crustal structure at the contact of the Dinarides and Pannonian basin based on 2-D seismic and gravity interpretation of the Alp07 profile in the ALP 2002 experiment. Geophys. Jour. Int. 179, 61-133.
- Teller, F., 1889: Daonella lommelli in den Pseudogeiltaler von Cilli. Geol. Rund. An. 11, 210-211, Wien.
- Teller, F., 1907: Geologische Karte der Osterr.-Ungar. Monarchie. Cilli – Ratschach, Wien.
- Tiller, V., 1938: Krško in okolica. Univerzitetna tiskarna in litografija, 26 pp., Ljubljana.
- Timár, G., Biszak, S., Molnár, G., Székely, B., Imecs, Z. & Jankó, A., 2007: Digitized maps of the Habsburg Empire – First and Second Military Survey, Grossfürstenthum Siebenbürgen. DVD issue, Arcanum Database Ltd., Budapest. ISBN 978-963-73746-0-9
- Tollmann, A., 1963: Ostalpannsynthese. Deuticke, 265 pp., Vienna.
- Tomljenović, B. & Csontos, L., 2001: Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin ( Hrvatsko zagorje and Karlovac Basin, Croatia). Int. Jour. Earth Sciences (Geol. Rundsch.) 90, 560-578.
- Tornquist, A., 1918: Das Erbeben von Rann an der Save von 29. Jänner 1917, Erster Teil. Mitteil. der Erbeben-Kommission, Neue Folge 52, 1-117, Wien, 1918.
- Trajanova, M. & Poljak, M., 2015: Neogenski prod Krške kotline. Geol. zbornik 23, 194-197, Ljubljana.
- Verbič, T., 2002: Lito- in alostratigrafija kvartarnih sedimentov ter neotektonska aktivnost v vzhodnem delu Krške kotline. 1. Slov. geol. kongr. (Črna na Koroškem), Knj. povzetkov, 98-99, Ljubljana.
- Verbič, T., 2004: Stratigrafija kvartarja in neotektonika vzhodnega dela Krške kotline. 1. del: Stratigrafija. Razprave IV Raz. SAZU 45, 171-225, Ljubljana.
- Verbič, T., 2005: Stratigrafija kvartarja in neotektonika vzhodnega dela Krške kotline. 2. del: Neotektonika. Razprave IV Raz. SAZU 46, 171-216, Ljubljana.
- Verbič, T., 2008: Kvartarni sedimenti, stratigrafija in neotektonika vzhodnega dela Krške kotline. Doktorska disertacija, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 140 pp., Ljubljana.
- Verbič, T. & Berič, B., 1993-1994: Struge reke Save med Krškim in Brežicami v 19. stoletju. Proteus 56, 327-333, Ljubljana.
- Verbič, T., Rižnar, I., Poljak, M., Demšar, M. & Toman, M., 2000: Quaternary Sediments in the Krško Basin. 2. Hrv. geol. kongr., (Cavtat), Zbor. radova, 451-457, Zagreb.
- Verbovšek, R., 1989: Geotermični model Krško-Brežiškega polja. Geologija 31/32, 581-592, Ljubljana.
- Vesel-Lukič, M., Hajek-Tadesse, V. & Poljak, M., 2014: Paleoekologija zgornjemiocenskih ostrakodov profila Bizeljsko. 4. Slov. geol. kongr. (Ankaran), Povzetki in ekskurzije, 73-74, Ljubljana.
- Vidrih, R., Cecić, I. & Godec, M., 1991: Serija potresov na Krškem polju. Ujma 5, 169-173.
- Vodopivec, F. & Kogoj, D., 1999: Geodetske meritve morebitnih horizontalnih premikov tal v Krški kotlini. Raziskovalni projekti s področja geodezije in geofizike, Slov. združenje. za geod. in geof., Zbor. predavanj 2, 18-30. Ljubljana.



- Vodopivec, F., Bilc, A., Poljak, M. & Placer, L., 2007: Šest let projekta CERGOP , Centralno evropski regionalni geodinamični projekt. Raziskave s področja geodezije in geofizike, Slov. združenje. za geod. in geof., Zbor. predavanj, 29-39, Ljubljana.
- Vozar, J. (ed.), 2010: Variscian and Alpine terranes in the Circum-Pannonian region. 231 p., Slovak Academy of Science, 231 pp., Bratislava.
- Zajc, M., 2015: Optimizacija nizkofrekvenčnih georadarskih raziskav za karakterizacijo plitvih geoloških struktur. Doktorska disertacija, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, 196 pp., Ljubljana.
- Zupanc, A., 2014: Opredelitev geogenih parametrov terroir-ja na izbranih vinogradih na Bizeljskem. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, 45 pp., Ljubljana.
- Zupanič, J., 1974: Sedimentologija gornje krede sjeverne Hrvatske. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematični fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 155 pp., Zagreb.
- Zupanič, J., 1981: Nekarbonatni detritus arenitnih stijena mastrihtskog fliša Vivodine (Žumberak, Zapadni Dinaridi). Geol. vjesn. 54, 109-120, Zagreb.
- Zupanič, J., Babić, Lj. & Crnjaković, M., 1981: Bazenski klastiti gornje krede (Oštrc formacija) Ivanščice u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Acta Geol. JAZU 11/1, 1-44, Zagreb.
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčić-Prešern, P., Dixon, T., Jiang, Y. & Stopar, B., 2010: GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po Plain sites, and geodynamic implications. Tectonics 483, 214-222.

## NEOBJAVLJENA

- Arsovski, M., Stojković, M., Mihailov, V. & Petrovski, D., 1975; Summary of the geological and seismological investigation of the nuclear power plant »Krško« location. Institute of earthquake engineering and engineering seismology, University Kiril and Metod, 33 pp., Skopje.
- Baumont, D., 2010: NPP II Krško (Slovenia) – magnitude and depth estimates of historical earthquakes. GG&S Project, Krško NPP-II, Task 4.4.2.b, Raport DEI/SARG/2010.029, IRSN, France.
- Bavec, M., Novak, M., Poljak, M. & Skaberne, D., 2003: Peleoseismic investigations on Krško basin. Geological Survey of Slovenia, 19 pp. Ljubljana.
- Bavec, M., Celarc, B. & Poljak, M., 2004a: Novelacija geoloških podatkov na območju akumulacijskega bazena in pregrade HE Blanca. Geološki zavod Slovenije, 8 pp., Ljubljana.
- Bavec, M., Poljak, M., Celarc, B. & Toman, M., 2004: Novelacija geoloških podatkov na območju akumulacijskega bazena in pregrade HE Boštanj. Geološki zavod Slovenije, 7 pp., Ljubljana.
- Bavec, M., Poljak, M., Verbič, T., Culiberg M., Čertalič S. & Stojanova, S., 2004. Zaključno poročilo o geološkem naravovarstvenem nadzoru na trasi AC Velika vas- Krška vas. Geološki zavod Slovenije, 32 pp., Ljubljana.
- Bavec, M., Poljak, M., Celarc, B., Toman, M. & Čertalič, S., 2005: Novelacija geoloških podatkov na območju akumulacijskega bazena in pregrade HE Krško. Geološki zavod Slovenije, 9 pp., Ljubljana.
- Bavec, M. (ed.), 2004: Overview of geological data for deep depository for radioactive waste in argillaceous formations in Slovenia. Geological Survey of Slovenia, 142 pp., Ljubljana.
- Bole, B., 2011: Sedimentološke preiskave vzorcev iz Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Božovič, M., 1955: Poročilo o izdelavi vrtine AFP-1/95 v Dobovi. Podjetje za geotehnična dela, 3 pp., Ljubljana.
- Brenčič, M. (ed.), 2006: Izvedba terenskih raziskav na potencialnih lokacijah v Republiki Sloveniji za prostorsko umestitev odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO), v postopku priprave državnega lokacijskega načrta (DLN) za odlagališče NSRAO, 2. faza – začetne terenske raziskave geosfere in hidrosfere, potencialna lokacija Vrbina v občini Krško. Končno poročilo, Geološki zavod Slovenije, 41 str., Ljubljana.
- Brezigar, A., Tomšič, B., Stopar, R. & Živanović, M., 1993: Pregled in reinterpretacija geofizikalnih raziskav v okolici NE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 32 str., Ljubljana.
- Car, M., Stopar, B., Giustiniani, M. & Acciano, F., 2006: Izvedba terenskih raziskav na potencialnih lokacijah v Republiki Sloveniji za prostorsko umestitev odlagališča nizko in srednje radioaktivnih odpadkov (NSRAO), v postopku priprave državnega lokacijskega načrta (DLN) za odlagališče NSRAO, 2. faza – začetne terenske raziskave geosfere in hidrosfere, potencialna lokacija Vrbina v občini Krško, Sklop 3. Površinska geofizikalne raziskave. Geoinženiring, Ljubljana.
- Celarc, B., Poljak, M., Bavec, M. & Toman, M., 2004: Novelacija geoloških podatkov na območju akumulacijskega bazena in pregrade HE Krško. Geološki zavod Slovenije, 9 pp., Ljubljana.
- Cecić I., 2010: Recent re-evaluation of some historical earthquakes in Slovenia and nearby area, Report NEK 2523-08-40013/1a-Appendix 1, Seismology and geology office, ARSO, Ljubljana
- Celarc, B., Milanič, B., Jamšek-Rupnik, P., Trajanova, M. Kralj, P. & Bole, B., 2009: Zaključno poročilo za Segment 1: Geološke in specialne geološke raziskave; obdelava podatkov; zbiranje, pregled in analiza podatkov; geološka raziskave; popis jeder in laboratorijske preiskave. V B. Petkovšek, ured., 2009: Izvedba programa dopolnilnih začetnih terenskih raziskav geosfere in hidrosfere za potencialno lokacijo Vrbina v občini Krško ter za izvedbo programa začetnih terenskih raziskav geosfere in hidrosfere za potencialno lokacijo Vrbina v občini Brežice. Geološki zavod Slovenije, 39 pp., Ljubljana.
- Cline, M. I., 1913: Final report, Characterisation of the Libna feature, Proposed Krško-2 Nuclear power plant, Krško, Slovenija. Project No. 12-4835. Paul C. Rizzo Associates, Inc., 78 pp., Pitsburg, PA, USA.
- Demšar, M., 1996: Geološko kartiranje vzhodnega dela Krškega hribovja (severozahodno od Krškega), 19 str. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. 11 pp., Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Dimkovski, T., 1971; Raziskave glin in kremenčevih peskov ter izračun rezerv na območju rudnika Globoko. Geološki zavod Ljubljana, 38 pp., Ljubljana.

- Djurasek, S., 1995: Interpretacija refleksijskih seizmičnih profila na Krškem polju (KP- 83-59, KP-84-59, KP-85-59, KP-86-59). Uprava RS za jedrsko varnost, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Drobne, F. (ed.), 1984a: HEp Brežice na Savi, Geološko-geotehnični elaborat. Knj. 1-6, Geološki zavod Ljubljana.
- Drobne, F. (ed.), 1984b: HEp Mokrice na Savi, Geološko-geotehnični elaborat. Knj. 1-6, Geološki zavod Ljubljana.
- Drobne, F. (ed.), 1986: HEp Blanca na Savi, Geološko-geotehnični elaborat. Knj. 1-6, Geološki zavod Ljubljana.
- Fajfar, P. in Lapajne, J. (eds.), 1994: Verjetnostna ocena potresne nevarnosti na lokaciji NE Krško. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Geofizika, 1959: Seizmično refleksijski profili na Krškem polju KP-83-59, KP-84-59, KP-85-59, KP-86-59. Geofizika, Zagreb.
- Giardini, D., Woessner, J., Danciu, H., Crowley, F., Cotton, G. Grünthal, R., Pinho, G., Valensise, S., Akkar, R., Arvidsson, R., Basili, T., Cameelbeeck, A., Campos-Costa, J., Douglas, M. B., Demircioglu, M., Erdik, J., Fonseca, B., Glavatovic, C., Lindholm, K. Makropoulos, F., Meletti, R., Musson, K., Pitilakis, K., Sesetyan, D., Stromeyer, M., Stucchi, M. & Rovida, A., 2013: Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE.
- Gosar, A., Živanović, M., Tomšič, B. & Poljak, M., 1994: Geofizikalne raziskave na Krškem polju, 31 str. V: M. Poljak et al.,: Neotektonske raziskave na območju JE Krško. 22 pp., Geološki zavod Ljubljana.
- Gosar, A. & Živanović, M., 1995: Geofizikalne raziskave na Krškem polju. Geološki zavod Ljubljana, 64 pp., Ljubljana.
- Hajek-Tadesse, V., 2007a: Mikropaleontološke analize uzoraka profila Bizeljsko. Hrvatski geološki institut, 15 pp., Zagreb.
- Hajek-Tadesse, V., 2007b: Mikropaleontološke analize uzoraka R-87 i R-89. Hrvatski geološki institut, 2 pp., Zagreb.
- Hoetzel, M. & Medić, M., 2004: Zaključno hidrogeološko poročilo o vzpostavitvi in izvajanju obratovalnega monitoringa na AC odseku Velika vas- Krška vas (februar 2004 do december 2004). Geološki zavod Slovenije, 11 pp., Ljubljana.
- Horvat, A. & Mikuž, V., 2003: Paleontološke, paleoekološke in stratigrafske raziskave na gradbišču AC pododseka Kronovo – Dobruška vas v okolici Bele Cerkve na Dolenjskem. 74 str. V: M. Poljak in M. Toman: Poročilo o geološkem naravovarstvenem nadzoru na AC pododseka Kronovo – Dobruška vas. Geološki zavod Slovenije, 9 pp., Ljubljana.
- Hržič, M., 1995: Seizmološke raziskave Krškega polja. Uprava RS za jedrsko varnost, 46 pp., Ljubljana.
- Ivanković, J., 1972: Poročilo o raziskavah na območju termalnega izvira Topličnik pri Kostanjevici in program za naslednjo fazo raziskav. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Ivanković, J., 1973: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah na območju termalnega izvira Topličnik pri Kostanjevici. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Jelen, B. & Rifelj, H., 1999: Poročilo o mikropaleontološko-stratigrafski preiskavi vzorcev iz Krške kotline. Geološki zavod Ljubljana, 4 pp., Ljubljana.
- Jerše, Z., 1981a: Poročilo o raziskavah premoga v širši okolici rudnika Globoko. Geološki zavod Ljubljana, 14 pp., Ljubljana.
- Jerše, Z., 1981b: Raziskave premoga v širši okolici rudnika Globoko. Geološki zavod Ljubljana, 23 pp., Ljubljana.
- Jerše, Z. & Marin, M., 1984: Poročilo o raziskavah premoga v letu 1983 na območju Globoko- Dečno selo. Geološki zavod Ljubljana, 26 pp., Ljubljana.
- Kaloper, D., 1984: Krško polje-Brežice, analogna obrada profila KP-83-59, KP-84-59, KP-85-59, KP-86-59. Geofizika, 3 pp., Zagreb.
- Karník, V., 1968: Seismicity of the European Area, Part 1, Czechoslovak Academy of Sciences, Praha.
- Kolar-Jurkovšek, T., 1996: Poročilo o konodontnih analizah triasnih kamnin Krškega hribovja. 2 str. V: M. Poljak, (ur): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. 11 str., Geološki Zavod Ljubljana, Ljubljana,

- Kolar-Jurkovšek, T., 2003a: Poročilo o mikropaleontološki analizi vzorca R-15/01 za nalogo »Geološka karta Krške kotline 1:5000«. Geološki zavod Slovenije, 1 pp., Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T., 2003b: Poročilo o mikropaleontoloških analizah – konodonti. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Kolar-Turkovšek, T., 2006: Poročilo o analizah triasnih kamnin Krškega hribovja. Geološki zavod Ljubljana, 2 pp., Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T., 2006c: Poročilo o konodontnih analizah vzorcev za nalogo Geološka karta Krške kotline 1: 5 000. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Kolar-Jurkovšek, T., 2011: Poročilo o preiskavi vzorcev iz lokalnosti Sremič in Obrežje na fosilno mikrofavno – konodonti. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Kralj, P., Mišič, M. & Trajanova, M., 2004: Poročilo o mineraloški in petrografski sestavi preiskavi vzorcev iz površinskega kopa v Globokem in dolomitov iz okolice Krškega. 2 str. V: M. Poljak: Neotektonske raziskave na območju JE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 22 pp., Ljubljana.
- Kranjc, S., Božović, M. & Matoz, T., 1990: Končno poročilo o geoloških raziskavah na Krškem polju za potrebe podzemnega skladiščenja plina. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Krivic, J., 2011: Hidrogeološka okoljevarstvena ocena odložnega elektrofilterskega pepela na lokaciji kompleksa Krka Krško. Geološki zavod Slovenije, 13 str., Ljubljana.
- Kuščer, D., 1973: Summary of reports on preliminary geologic site investigations for the Krško Nuclear Power Plant. Geološki zavod Ljubljana.
- Kuščer, D., 1993: Neotektonika Krške kotline, Predhodno poročilo. Republiška uprava za jedrsko varnost, 28 pp., Ljubljana.
- Lapajne, V., 1976: Kremenov pesek Bizeljsko. Geološki zavod Ljubljana, 40 pp., Ljubljana.
- Ložar, M., 2008: Žariščni mehanizmi nekaterih nekaterih močnejših potresov v Sloveniji od 2002-2007. Interno poročilo, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Marin, M., Markič, M., Žuža, M., Trček, B., Klaič, Z, Božnar, P. & Zakrajšek, S., 1988: Študija strukture, geotehničnih jasnosti in hidrografskih razmer na območju za pripravo podlog za glavni rudarski projekt in investicijski program – II del. Geološki zavod Ljubljana, 18 pp., Ljubljana.
- Marin, M. & Markič, M., 1989: Geološko- strukturne raziskave ugotavljanja premogonostnosti območja Piršenberg – Župelevec vzhodno od Globokega. Geološki zavod Ljubljana, 16 pp., Ljubljana.
- Marin, M., Markič, M., Zakrajšek, S., Žuža, T., Mišič, M. & Paček, D., 1989: Spremljava in obdelava podatkov geotehničnih lasnosti hribin, strukturnih in hidrogeoloških razmer na območju rudnika Globoko pri poiskusnem odkopavanju za izdelavo glavnega rudarskega projekta in investicijskega programa – III del. Geološki zavod Ljubljana, 36 pp., Ljubljana.
- Markič, M., 1999: Geološka zgradba premogišča Globoko. 26 str. V M. Poljak: Detajlno geološko kartiranje območja Globokega. Geološki zavod Slovenije, 25 pp., Ljubljana.
- Mervič, H., 1990: Mikropaleontološke analize in biostratigrafska interpretacija, Vrtina DRN-1, (Interval 590-877 m). V: S. Kranjc et al.: Vrtina DRN-1/89, Končno poročilo. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Miknić, M. & Hajek-Tadesse, V., 2014: Derermination and analysis of microfossils fauna from two samples HE Brežice-1 and HE Brežice-2 from Bizeljsko area (Eastern Slovenia). Croatian geological survey, 5 pp., Zagreb.
- Nosan, A. & Ivanković, J., 1973: Poročilo o hidrogeoloških raziskavah za termalno vodo na Čateškem polju. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Ogorelec, B., 1996: Poročilo o petrografskih analizah karbonatnih kamnin Krškega hribovja. V M. Poljak (ed.) : Detajlno geološko kartiranje Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Ogorelec, B. & Trajanova, M., 1994: Poročilo o in petrografski sestavi vzorcev iz površinskega kopa v Globokem in dolomita iz okolice Krškega. 2 str. V: M. Poljak et al., 1995: Geološke raziskave Krške kotline in njenega obrobja. Geološki zavod Ljubljana, 76 pp., Ljubljana.
- Ogorelec, B., Mišič, M. & Kralj, P., 1996: Poročilo o petrografskih analizah karbonatnih kamnin Krškega hribovja (profila Arto in Telče). 5 pp. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.

- Orehek, S., 1990: Sedimentno-petrografske raziskave, Vrtina DRN-1. V: S. Kranjc, M. Božović, M. in T. Matoz: Končno poročilo o geoloških raziskavah na Krškem polju za potrebe podzemnega skladiščenja plina. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Pavc, O., 2011: Hidrogeološko poročilo o raziskavi podzemne vode na parcelah 407/37 in 407/30 k.o. 1476 – Šentjernej. GEOLAB, 5 pp., Ljubljana.
- Persoglia, S. (ed.), 2000: Geophysical Research in the Surroundings of the Krško NPP (Contract No. 98-0286.00). OGS, 64 pp., Trieste.
- Petauer, D. 1983-1986. Hidrogeološke raziskave za zajem pitne vode na visoki terasi pri Brežicah, I-IV faza. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Petauer, D., 1992: Hidrogeološke raziskave vodnih virov u občini Brežice v letu 1991. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Petauer, D. & Hiti, T., 2009: Hidrogeološko poročilo. Črpalna vrtina VC-1/9, Dobova. GEORAZ, d.o.o, Ljubljana.
- Pleničar, M., Poljak, M., Čakalo, M. & Mioč, P., 1981: Paleogeografska sinteza »Pregibne« cone karbonatnega šelfa Slovenije. Geološki zavod Ljubljana, 125 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., 1996: Geološko kartiranje na območju hriba Libne pri Krškem. 16 str. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Poljak, M. 1997a: Geološka reambulacija hriba Libne pri Krškem. Geološki zavod Ljubljana, 21 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., 1997b: Geološka reambulacija hriba Libne pri Krškem- razkopi. Geološki zavod Ljubljana, 17 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., 1999: Detajlno geološko kartiranje območja Globokega v merilu 1:5 000. Geološki zavod Slovenije, 25 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., 2000: Detajlno geološko kartiranje vzhodno od Bizeljskega – Bizeljsko z okolico 1:5 000. Geološki zavod Slovenije, 23 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., 2001: Detajlno geološko kartiranje geološko kartiranje na območju Raka – Ravni v merilu 1 : 5 000. Geološki zavod Slovenije, 18 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., Žnidaršič, M, Demšar, M. & Cajhen, J., 1985: Raziskave premoga Globoko. Geološki zavod Ljubljana, 23 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., Marjanac, Lj., Stojanovič, B., Pleteš, G., Cajhen, J., Šribar, L., Orehek, S., Oreški, E. & Štor, S., 1987: 1. Stratimetrijske raziskave na območju zahodno od Krškega, 2. Naftno-geološko kartiranje na območju pregibne cone med Krškim in Novim mestom. V: D. Šatara in B. Ogorelec (ed.), 1987: Raziskave nafte in plina v SR Sloveniji – geološke raziskave, 2. Dinaridi in Alpe. Geološki zavod Ljubljana; INA Projekt, Zagreb.
- Poljak, M., Dozet, S., Stojanovič, B., Rižnar, I. & Demšar, M., 1995: Geološke raziskave Krške kotline v letih 1994-1995. Geološki zavod Ljubljana, 76 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., Živčič, M., Marjanac, T. & Marjanac, Lj., 1999: Paleozeizmične raziskave na območju Jadrana, panonskega bazena in Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 40 pp., Ljubljana.
- Poljak, M., Živčič, M., Marjanac, T. & Marjanac, Lj., 2000: Paleozeizmične raziskave na območju Jadrana, Panonskega bazena in Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 21 pp., Ljubljana.
- Poljak, M. & Toman, M., 2003: Poročilo o geološkem naravovarstvenem nadzoru na AC Kronovo – Dobruška vas. Geološki zavod Slovenije, 9 pp., Ljubljana.
- Poljak, M. & Bavec, M., 2004a: Zaključno poročilo o naravovarstvenem nadzoru na trasi AC Dobruška vas – Smednik II. Geološki zavod Slovenije, 8 pp., Ljubljana.
- Poljak, M & Bavec, M., 2004b: Končno poročilo o geološki spremljavi v okviru varstva naravne dediščine, Strukturno-tektonske značilnosti na območju gradnje AC odseka Krška vas- Obrežje. Geološki zavod Slovenije, 36 pp., Ljubljana.
- Poljak, M. & Rajver, D., 2006: Geološke in geotermalne raziskave v vrtini PDt, Brod pri Podbočju. Interno poročilo. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Poljak, M. (ed.), 1996: Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Poljak, M. (ed.), 1997: Geološka interpretacija geodetskih meritev v okvirju projekta stalnega določanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 13 pp., Ljubljana.

- Premru, U. & Marinčič, S., 1971: Tektonska zgradba jugovzhodne Slovenije in severozahodne Hrvatske, Študija za projekt nuklearne elektrarne v Krškem. Geološki zavod Ljubljana, 24 pp., Ljubljana.
- Ribarič, V., 1982, Seismicity of Slovenia- Catalogue of Earthquakes (792 A.D.- 1981), SZ SRS, Publication, Series A, No. 1-1, 650 pp., Ljubljana.
- Rifelj, M., 2001: Poročilo o mikropaleontološki preiskavi vzorcev iz Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 1 pp., Ljubljana.
- Rifelj, H., 2012: Poročilo o preiskavi vzorca R-233 iz lokalnosti Kostanjevica na fosilno mikrofavno za projekt geološka karta Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Rifelj, H. & Jelen, B., 2000: Poročilo o mikropaleontološko-stratigrafski preiskavi vzorcev iz Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 3 pp., Ljubljana.
- Rifelj, H. & Jelen, B., 2003: Poročilo o mikropaleontološko-stratigrafski preiskavi vzorcev iz Koritnega pri Mokricah. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Rifelj, H. & Jelen, B., 2004: Poročilo o mikropaleontološko-stratigrafski preiskavo vzorca iz lokalnosti Ru-hna vas. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Rižnar, I., 1996: Geološko kartiranje na območju Zgornje Pohance. 16 str. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Rižnar, I., 1998: Geološka karta ozemlja med Izvirom in Starim gradom v merilu 1:5000. Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana.
- Rižnar, I., 1999: Geološka karta okolice Kostanjevice v merilu 1:5000. Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana.
- Shebalin, N.V., V. Karnik & D. Hadžievski (eds.), 1974: Catalogue of Earthquakes. Part I 1901-1970; Part II prior to 1901. UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region. pp. 65, Skopje.
- Skaberne, D., 1990: Makroskopski opisi jedrovanih odsekov vrtine DRN-1 (Drnovo na Krškem polju), 1-22. V: Kranjc et al.: Končno poročilo o geoloških raziskavah na Krškem polju za potrebe podzemnega skladiščenje plina – Vrtina DRN-1/89. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Skaberne, D., 1996: Poročilo za območje Gora zahodno od Krškega. 4 str. V M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 str., Ljubljana.
- Skaberne, D., Ogorelec, B. & Mišič, M., 1996: Poročilo o sedimentno petrografskih raziskavah vzorcev neogenskih kamnin iz Krškega. 4 pp. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Swan, F. H. (ed.), 2004: Probabilistic Seismic Hazard Assessment for Krško-NPP, Slovenia. Geomatrix Consultants, Inc., Oakland, CA, USA; Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana.
- Škerlj, Ž., 1990: Mikropaleontološke analize in biostratigrafska interpretacija, Vrtina DRN-1, (Interval 194-580 m). V: S. Kranjc et al.: Vrtina DRN-1/89, Končno poročilo. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Škerlj, Ž. & Mervič, H., 1994. Mikropaleontološke raziskave vzorcev za nalogo Neotektonske raziskave na območju JE Krško. 4 str., Geološki zavod Ljubljana. V: M. Poljak, 1994: Neotektonske raziskave na območju JE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 22 pp., Ljubljana.
- Škerlj, Ž. & Mervič, H., 1995: Mikropaleontološke raziskave vzorcev za nalogo Neotektonske raziskave na območju JE Krško. Geološki zavod Ljubljana. V: M. Poljak et al.: Neotektonske raziskave na območju JE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 76 pp., Ljubljana.
- Šribar, L., 1990: Mikropaleontološke analize in biostratigrafska interpretacija, Vrtina DRN-1, (Interval 983-1252 m), 35-36. V: S. Kranjc et al.: Vrtina DRN-1/89- Končno poročilo. Geološki zavod Ljubljana, 19 pp., Ljubljana.
- Šolar, S., 1990.: Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji in izračunu zaloga v nahajališčih kremenovega peska Ravno in Prapreče, Geološki zavod Ljubljana, 29 pp., Ljubljana.
- Toman, M., 1996: Geološko kartiranje vzhodnega dela Krškega hribovja (severozahodno od Krškega), 13 pp. V: M. Poljak, ed.: Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju hriba Libne pri Krškem. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 1998: Poročilo o makroskopski preiskavi vzorcev savskega proda s Krškega polja, 3 pp. V: M. Živanović et al.: Geofizikalne in geološke raziskave na treh ostankih srednjepleistocenskega zasipa pri Stari vasi. Geološki zavod Ljubljana, 23 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 1999: Poročilo o makroskopsko, kvalitativno-kvantitativni litološki preiskavi vzorca KK-1/99 savskega proda s Krškega polja, 2 pp. V: M. Poljak: Detajlno geološko kartiranje območja Globo-

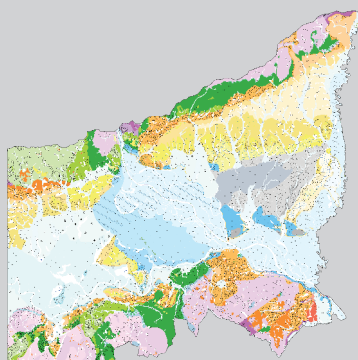


- kega v merilu 1:5 000, Geološki zavod Slovenije, 25 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2005: Poročilo o petrografski preiskavi prodnika iz Krške kotline. Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2006: Granulometrijska in litološka sestava vzorcev proda iz lokacije Vrbina (Sv. Urh in Libna). Geološki zavod Slovenije, 9 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2011a: Poročilo o petrografski preiskavi proda iz vrtin na lokacijah Kalce, Sajevece in Krško. Geološki zavod Slovenije, 3 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2011b: Poročilo o informativni preiskavi vzorca ottangijskega proda z Gorjancev. Geološki zavod Slovenije, 3 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2011c: Poročilo o informativni preiskavi proda s Kapelskih goric. Geološki zavod Slovenije, 3 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2011d: Poročilo o informativni petrografski proda z Dobrave. Geološki zavod Slovenije, 3 pp., Ljubljana.
- Trajanova, M., 2015: Petrografska analiza dveh vzorcev iz izkopa za He Brežice, Geološki zavod Slovenije, 2 pp., Ljubljana.
- Verbič, T., 1994: Kvarterni sedimenti v vzhodnem delu Krške kotline. 32 str. V: M. Poljak: Neotektonske raziskave na območju JE Krško. Geološki zavod Ljubljana, 22 pp., Ljubljana.
- Verbič, T., 1995: Kvarterni sedimenti v vzhodnem delu Krške kotline. Uprava RS za jedrsko varnost, 248 pp., Ljubljana.
- Verbič, T., 1996: Geološko kartiranje Krške kotline. 24 str. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Verbič, T., 1996: Izdelava in kartiranje ter vzorčevanje razkopov v Krški kotlini, 11 str. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Verbič, T., 1999: Poročilo o raziskavah kvartarnih sedimentov vzdolž refleksijskih seizmičnih profilov na Krškem polju in pripravljala dela za postavitve seizmičnih opazovalnic v širši okolici NE Krško. Uprava RS za jedrsko varnost, 16 pp., Ljubljana.
- Verbič, T. & Rižnar, I., 1997: Geološka karta ozemlja med Prilipami in Velikim Bregom. Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana.
- Verbovšek, R., Ločniškar, A. & Nosan, A., 1986: Raziskave termalne vode na Čateškem polju. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Verbovšek, R., Ločniškar, A., Ravnik, D. & Crnković, I., 1986: Raziskave termalne vode pri Kostanjevici. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Vodopivec, F. (ed.) 1997: Projekt stalnega določanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Vodopivec, F. (ed.), 1998: Projekt stalnega določanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Vodopivec, F. (ed.): 1999: Projekt stalnega določanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Vodopivec, F. (ed.), 2000: Zaključno poročilo Projekta stalnega določevanja tektonskih premikov vzdolž Orliškega preloma. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana.
- Vrščaj, B., 1998: Pedološko poročilo o pregledu jeder vrtin ostankov srednje pleistocenskih teras pri Stari vasi v Krškem, 17 str. V: M. Živanović et al.: Geofizikalne in geološke raziskave na treh ostankih srednjepleistocenskega zasipa pri Stari vasi. Geološki zavod Ljubljana, 23 pp., Ljubljana.
- Vukadin, V. (ed.), 2014: Geološko-geomehansko poročilo o opravljenih preiskavah za visokovodni nasip na HE Brežice. Inštitut za rudarstvo geotehnologijo in okolje. Ljubljana.
- Živanović, M. & Poljak, M., 1995: Poročilo o pregledu terena in geoelektričnih raziskavah za določitev mikrolokacij raziskovalnih razkopov. 10 str. V: M. Poljak (ed.), 1996: Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Ljubljana, 11 pp., Ljubljana.
- Živanović, M., 1996: Dopolnitev k poročilu o pregledu terena in geoelektričnih raziskavah za določitev mikrolokacij raziskovalnih razkopov, 4 pp. V: M. Poljak (ed.): Poročilo o detajlnem geološkem kartiranju Libne pri krškem in okolice. Geološki zavod Slovenije, 11 str., Ljubljana.

- Živanović, M., Stopar, R., Gazzano, G. & Poljak, M., 1998: Geofizikalne in geološke raziskave na treh ostankih srednjepleistocenskega zasipa pri Stari vasi. Geološki zavod Ljubljana, 23 pp., Ljubljana.
- Živčić, M., 1994, Earthquake Catalogue. In: P. Fajfar & J. Lapajne (eds.): Probabilistic Assessment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant, Rev.1, University of Ljubljana, Dept. of Civil Engineering.
- Živčić, M., 2004, Earthquake Catalogue. In: P. Fajfar (ed.): Revised PSHA for NPP Krško site, PSR-NEK-2.7.2, Revision 1, Ljubljana.
- Živčić, M., 2010: Fault plane solutions and the principal stress. V: Geološki zavod Slovenije: Geotechnical, Geological, and Seismological (GG&S) Evaluations for the New Nuclear Power Plant at the Krško Site (NPP Krško II), Geology – Phase 1. 169 pp., Ljubljana.
- Živčić, M., Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M., & Pahor, J., 2010: Earthquake catalogue, Rev. 2, Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Žnidarčič, M. & Čerina, D., 1986: 1. Stratimetrijske raziskave v vzhodnem delu Krškega bazena, 2. Geokemične in fizikalne raziskave vzhodnega dela Krškega bazena, 3. Naftnogeološko kartiranje vzhodnega dela Krškega bazena. V D. Šatara in B. Ogorelec (ed.), 1996: Raziskave nafte in plina v SR Sloveniji – geološke raziskave, 4. Izolirani bazeni. Geološki zavod Ljubljana; INA Projekt, Zagreb.

Geološka karta vzhodnega dela  
Krške kotline 1 : 25 000  
Geological Map of the Eastern Part of the  
Krško Basin 1:25,000

Avtorji / Authors: Marijan Poljak



Izdal in založil: Geološki zavod Slovenije

Recenzenti: Ladislav Placer, Tihomir Marjanac, Ljerka Marjanac

Lektoriranje slovenskega jezika: Jaroslav Novak

Lektoriranje angleškega jezika: Philip Mason

Naklada: 70 izvodov

Izdajo so finančno podprli:

- Ministrstvo za okolje in prostor – Uprava RS za jedrsko varnost
- Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport – Javna agencija za raziskovalno dejavnost
- Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
- Geološki zavod Slovenije



ISBN

