

UDK 551.791:556.32(497.12) = 863

Vpliv geoloških dogajanj v pleistocenu na površinske in podzemne vode

Influence of geological events on surficial and underground waters during the Pleistocene

Ljubo Žlebnik

Geološki zavod Ljubljana, Dimičeva 14, 61000 Ljubljana

Kratka vsebina

Menjavanje hladnih in toplih obdobj v pleistocenu je močno vplivalo na podzemne vode v kraških in prodnih vodonosnikih v Sloveniji. Velika znižanja gladine Jadranskega morja v hladnih obdobjih so povzročila postopno poglabljanje podzemnih vodnih tokov na Primorskem krasu globoko pod sedanjo morsko gladino. V dolini reke Save se je v hladnih obdobjih gladina podzemne vode v prodnih naplavinah zaradi močnega rečnega nasipanja dvignila in delno sprala v prejšnjih toplih obdobjih odložene in že nekoliko sprijete prodne plasti. V toplih obdobjih se je gladina zaradi rečne erozije znižala, proces sprijemanja proda pa se je nadaljeval. V geoloških profilih v dolini Save je bilo ugotovljeno veliko število dobro sprijetih prodnih plasti, med katere so vložene zelo porozne in slabo sprijete plasti. To kaže na številne močne klimatske spremembe v pleistocenskem obdobju.

Abstract

Alternation of the cool and warm periods during the Pleistocene strongly affected the underground waters in the karstic and gravel aquifers of Slovenia. Great lowering of the Adriatic sea level during cool periods caused gradual deepening of the groundwater flows of the Slovenian littoral karst region deep below the present sea level. In the Sava river valley the groundwater level in gravel deposits has risen because of strong river unloading. Simultaneously the gravel beds modestly cemented during the warm periods were partly washed out. During the warm periods the river erosion lowered the groundwater level whereas the process of the gravel cementation continued. In the Sava river valley there are numerous well cemented gravel beds intercalated with very porous and poorly cemented layers indicating a number of strong climatic changes in the course of the Pleistocene period.

Splošni pregled geoloških dogajanj v pleistocenu

V pleistocenu je bilo geološko preoblikovanje površja Zemlje zelo hitro in močno zaradi velikih tektonskih premikanj in pospešenih morfoloških procesov, pogojenih s pogostnimi velikimi klimatskimi spremembami. V hladnih poledenitvenih obdobjih so se razvili v severni Evropi in Ameriki kot tudi v Alpah in drugih visokih gorovjih

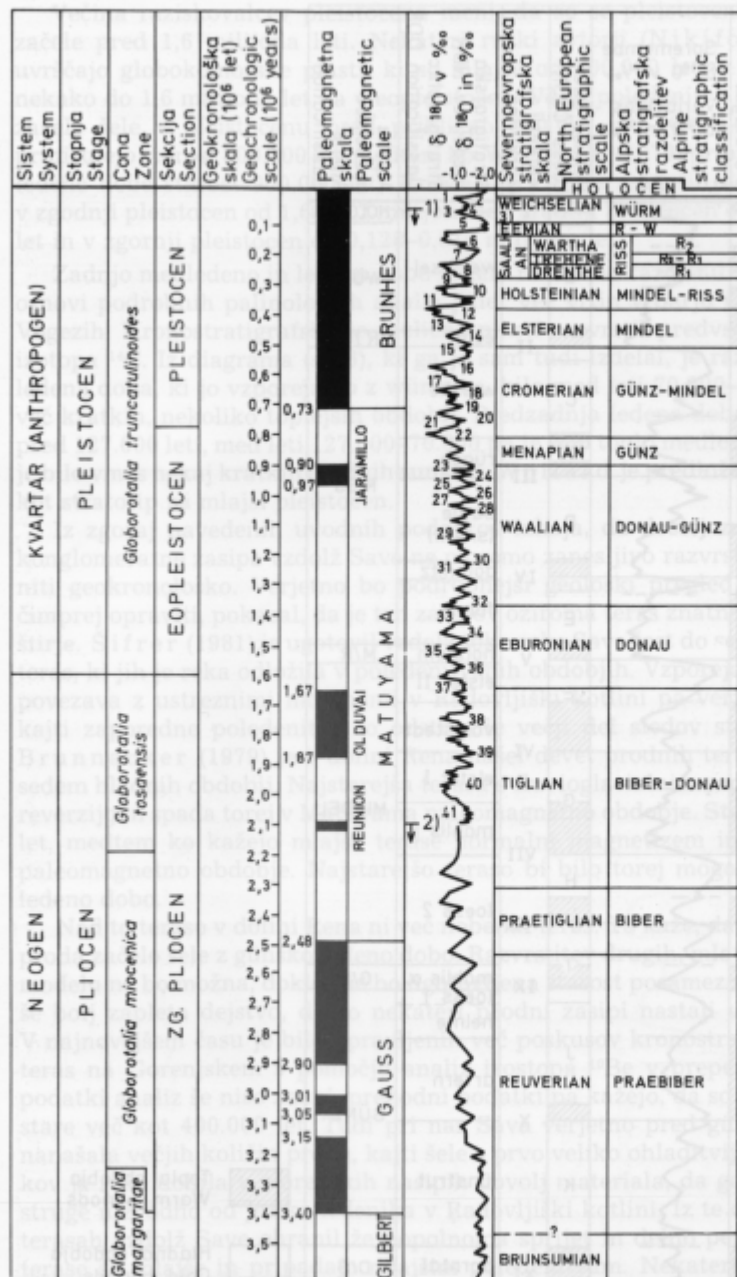
obsežni ledeni pokrovi, s katerih so segali tudi v nižje predele številni dolinski ledeniki. V vmesnih toplejših, medledenih in medstadialnih obdobjih so ledeniki skoraj povsem izginili ali pa so se močno zmanjšali. Prevladuje prepričanje, da je bilo potrebno za nastanek 2,5 km debelega skandinaskega ledenega pokrova 15.000 let hladne klime. Manjši in tanjši ledeniki, npr. do 400 m debeli ledeni pokrov na severnem Škotskem, se je v Loch Lomond hladnem obdobju pred približno 10.500 leti razvil v 1000 letih. Razvoj ledenikov v Alpah je ozko povezan z močno znižano mejo večnega snega. Pri nas je bila le-ta v zadnji poledenitveni dobi na višini okrog 1500 m, na kar sklepamo po morenah krniških ledenikov. Na osnovi opazovanj ledeniških moren, fluvio-glacialnih prodnih zasipov oziroma teras ter jezerskih in barjanskih sedimentov sta Penck in Brückner (1909) razdelila pleistocensko obdobje na štiri ledene dobe: gūnz, mindel, riss in wūrm ter na tri medledene dobe. Holocen prišteva večina raziskovalcev kvartarja v zadnjo medledeno dobo.

Leta 1930 je Eberl dodal še eno starejšo ledeno dobo – donau, nato pa Schaffer (1953) še biber ledeno dobo. To je klasični alpski model razdelitve pleistocenskega obdobja, ki se je močno uveljavil tako v srednji Evropi kot drugod po svetu. Tudi v severni Evropi so geologi sprva ugotovili glacialne sedimente štirih ledenih dob in interglacialne plasti treh medledenih dob. Kasnejše raziskave so pokazale, da so ponekod ohranjeni sedimenti še starejših ledenih in medledenih dob.

V Sloveniji je večina geologov in geografov privzela Penckovo in Brücknerjevo razdelitev pleistocena, čeprav so Ampferer (1917), za njim pa tudi Rakovec (1956) in Ilešič (1935) zagovarjali povsem drugo teorijo. Velik del mlajšega prodnega zasipa so uvrstili v zadnjo medledeno dobo, konglomeratne zasipe pa v starejši pleistocen oziroma celo v predkvartarno dobo. V članku iz l. 1971 sem uvrstil (Žlebnik, 1971) pleistocenske morenske in fluvio-glacialne zasipe v štiri različne litostratigrafske enote (starejši, srednji in mlajši konglomeratni zasip ter prodni zasip) in jim pripisal gūnško, mindelsko, riško in wūrmsko starost. Pri razvrstitvi zasipov sem se opiral na njihovo višinsko lego v terasah, na sprijetost proda, skraselost površja teras ter debelino preperinskega pokrova. Kronostratigrafsko teh zasipov nisem mogel razvrstiti. V času, ko sem raziskoval te zasipe, pri nas še niso bile poznane metode določanja absolutne starosti na osnovi vsebnosti raznih izotopov kot tudi ne druge moderne metode, ki jih danes geologi uporabljajo pri raziskavah pleistocenskih plasti, kot npr. paleomagnetizem.

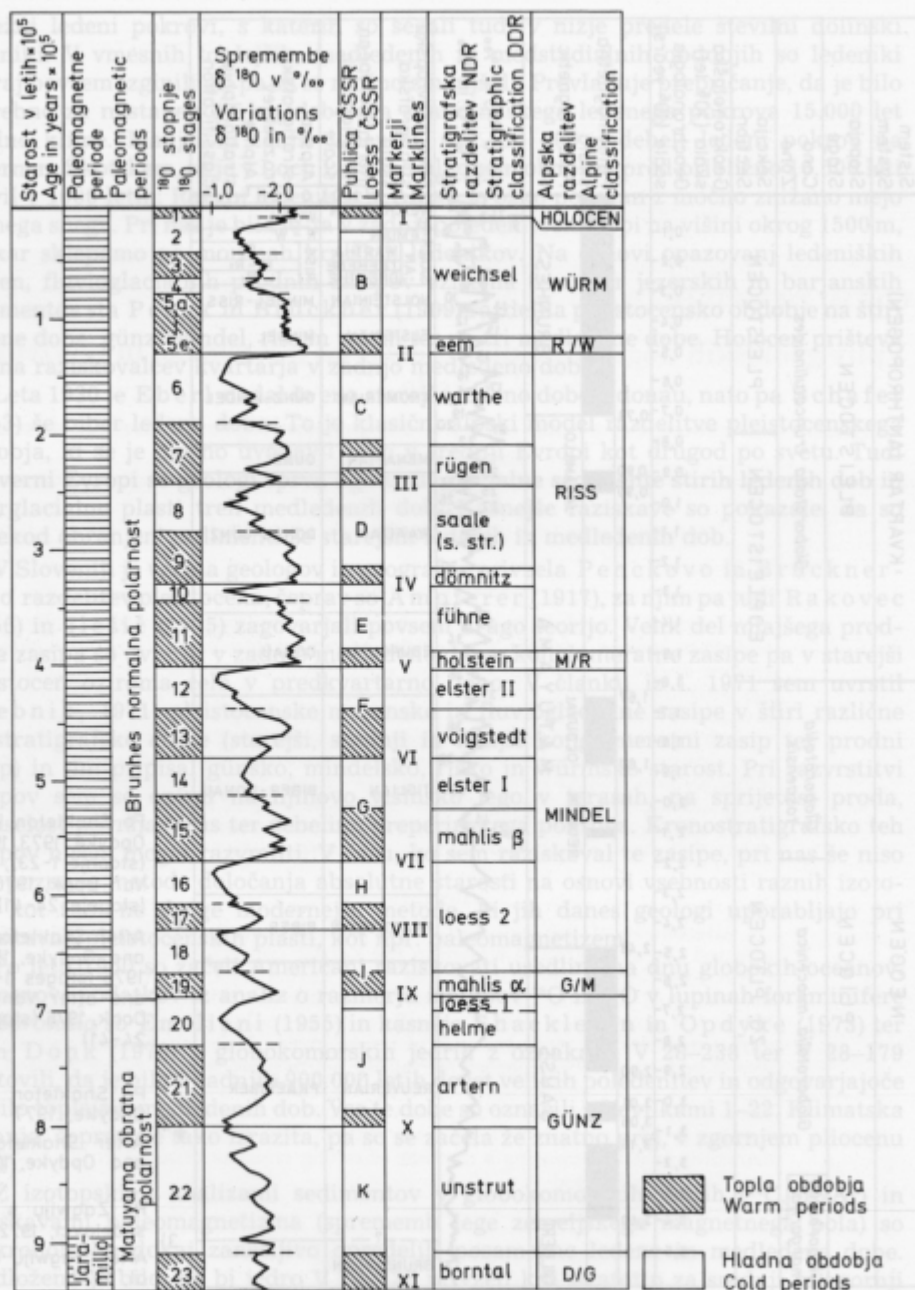
Po letu 1950 so začeli Američani raziskovati usedline na dnu globokih oceanov. Na osnovi podatkov iz analiz o razmerju izotopov ^{18}O in ^{16}O v lupinah foraminifer *Globorotalia* so Emiliani (1955) in kasneje Shackleton in Opdyke (1973) ter Van Donk (1976) v globokomorskih jedrih z oznakami V 28–238 ter V 28–179 ugotovili, da je bilo v zadnjih 900.000 letih devet velikih poledenitev in odgovarjajoče število toplejših medledenih dob. Vse te dobe so označili s številkami 1–22. Klimatska nihanja, čeprav ne tako izrazita, pa so se začela že znatno prej, v zgornjem pliocenu (sl. 1).

Z izotopskimi analizami sedimentov v globokomorskih jedrih (^{14}C , K/Ar) in raziskavami paleomagnetizma (sprememb lege zemeljskega magnetnega pola) so geokronološko dokaj zanesljivo opredelili posamezne ledene in medledene dobe. Predloženo je bilo, da bi jedro V 28–238 privzeli kot stratotip za srednji in zgornji pleistocen. Iz razpredelnice Wieganka (1979, sl. 2) je razvidno, da se je začela poledenitev, ki po alpskem modelu odgovarja gūnzu, pred približno 900.000 leti. Tako gūnška ledena doba kot tudi kasnejše – mindelska, riška in wūrmška – so imele 2–4 hladna obdobja (poledenitve) in vmesne toplejše dobe.



Sl. 1. Stratigrafska razdelitev pleistocena in zgornjega pliocena na osnovi podatkov globokomorskih vrtin in podatkov na kopnem (po Nikiforova, Kind & Krasnov, 1984)

Fig. 1. Stratigraphic classification of the Pleistocene and Upper Pliocene, based on the deep-sea boreholes and continental data (after Nikiforova, Kind & Krasnov, 1984)



Sl. 2. Stratigrafska in geokronološka korelacija pleistocenskih obdobj na osnovi podatkov globokomorskih vrtin in podatkov na kopnem (po Wiegank, 1979)

Fig. 2. Stratigraphic and geochronologic correlation of the Pleistocene periods, based on the deep-sea boreholes and continental data (after Wiegank, 1979)

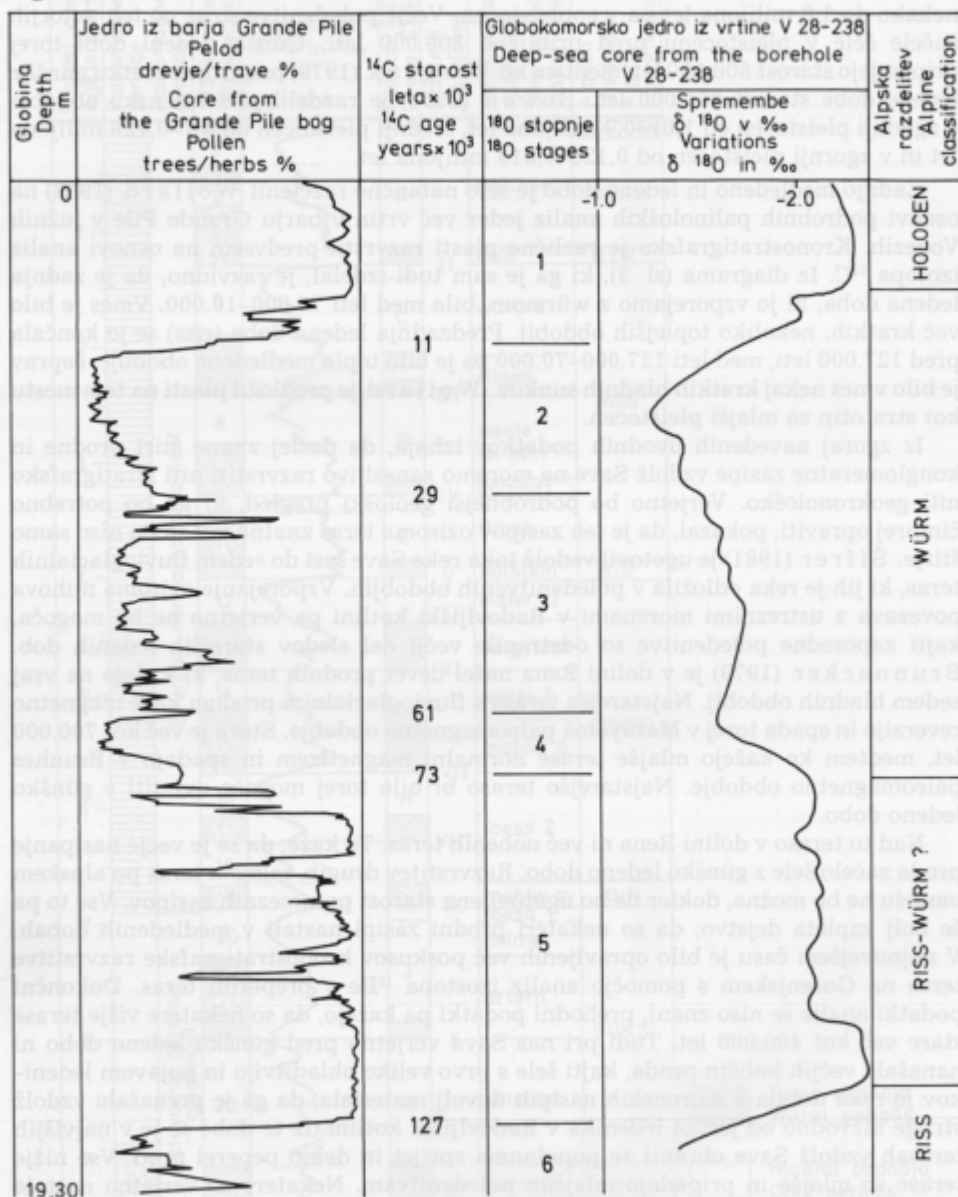
Večina raziskovalcev pleistocena meni, da so se pleistocenske ohlavitve klime začele pred 1,6 milijona leti. Nekateri ruski avtorji (Nikiforova et al., 1984) uvrščajo globokomorske plasti, ki so mlajše od 800.000 let, v pleistocen, starejše, nekako do 1,6 milijona let pa v eopleistocen. Večje poledenitve so se po teh avtorjih začele šele v pleistocenu pred približno 800.000 leti. Günški ledeni dobi torej pripisujejo starost 800.000 let, medtem ko Wiegank (1979) pripisuje začetku günške ledene dobe starost 900.000 let. Bowen (1978) je razdelil pleistocensko obdobje v zgodnji pleistocen od 1,61–0,7 milijona let, srednji pleistocen od 0,7–0,128 milijona let in v zgornji pleistocen od 0,128–0,010 milijona let.

Zadnjo medledeno in ledeno dobo je zelo natančno razčlenil Woilard (1982) na osnovi podrobnih palinoloških analiz jeder več vrtn in barju Grande Pile v južnih Vogezih. Kronostratigrafsko je različne plasti razvrstil predvsem na osnovi analiz izotopa ^{14}C . Iz diagrama (sl. 3), ki ga je sam tudi izdelal, je razvidno, da je zadnja ledena doba, ki jo vzporejamo z würmom, bila med leti 70.000–10.000. Vmes je bilo več kratkih, nekoliko toplejših obdobj. Predzadnja ledena doba (riss) se je končala pred 127.000 leti, med leti 127.000–70.000 pa je bilo toplo medledeno obdobje, čeprav je bilo vmes nekaj kratkih hladnih sunkov. Woilard je predložil plasti na tem mestu kot stratotip za mlajši pleistocen.

Iz zgoraj navedenih uvodnih podatkov izhaja, da doslej znane štiri prodne in konglomeratne zasoje vzdolž Save ne moremo zanesljivo razvrstiti niti stratigrafsko niti geokronološko. Verjetno bo podrobnejši geološki pregled, ki ga bo potrebno čimprej opraviti, pokazal, da je teh zasipov oziroma teras znatno več in da niso samo štirje. Šifrer (1981) je ugotovil vzdolž toka reke Save šest do sedem fluvio-glacialnih teras, ki jih je reka odložila v poledenitvenih obdobjih. Vzporanje oziroma njihova povezava z ustreznimi morenami v Radovljški kotlini pa verjetno ne bo mogoča, kajti zaporedne poledenitve so odstranile večji del sledov starejših ledenih dob. Brunnacker (1979) je v dolini Rena našel devet prodnih teras, ki kažejo na vsaj sedem hladnih obdobj. Najstarejša terasa s fluvio-glacialnim prodom kaže magnetno reverzijo in spada torej v Matuyama paleomagnetno obdobje. Stara je več kot 700.000 let, medtem ko kažejo mlajše terase normalni magnetizem in spadajo v Brunhes paleomagnetno obdobje. Najstarejšo teraso bi bilo torej mogoče uvrstiti v günško ledeno dobo.

Nad to teraso v dolini Rena ni več nobenih teras. To kaže, da se je večje nasipanje proda začelo šele z günško ledeno dobo. Razvrstitev drugih, mlajših teras po alpskem modelu ne bo možna, dokler ne bo ugotovljena starost posameznih zasipov. Vse to pa še bolj zapleta dejstvo, da so nekateri prodni zasipi nastali v medledenih dobah. V najnovejšem času je bilo opravljenih več poskusov kronostratigrafske razvrstitve teras na Gorenjskem s pomočjo analiz izotopa ^{10}Be v preperini teras. Dokončni podatki analiz še niso znani, prehodni podatki pa kažejo, da so nekatere višje terase stare več kot 400.000 let. Tudi pri nas Sava verjetno pred günško ledeno dobo ni nanašala večjih količin proda, kajti šele s prvo veliko ohlavitvijo in pojavom ledenikov je reka dobila v morenskih nasipih dovolj materiala, da ga je prenašala vzdolž struge nizvodno od jezika ledenika v Radovljški kotlini. Iz te dobe se je v najvišjih terasah vzdolž Save ohranil že popolnoma sprijet in delno peperel prod. Vse nižje terase so mlajše in pripadajo mlajšim poledenitvam. Nekatere so verjetno nastale tudi v medledenih dobah. Na Kranjsko-Sorškem in Ljubljanskem polju so se posamezni prodni zasipi zaradi grezanja nalagali eden na drugega, tako da je najgloblje ležeči zasip najstarejši. Koliko je bilo pri nas poledenitev in z njimi povezanih fluvio-glacialnih prodnih zasipov, bodo pokazale nadaljnje podrobnejše raziskave

teras vzdolž Save. Dokler teh podatkov ni, je najbolj umestno, da obdržimo stratigrafsko razčlenitev na tri konglomeratne in en prodni zasip ter njihovo uvrstitev v günz, mindel, ris in würm.



Sl. 3. Stratigrafska in geokronološka korelacija klimatskih nihanj za mlajši pleistocen (po Woilard, 1982)

Fig. 3. Stratigraphic and geochronologic correlation of the climatic oscillations for the Late Pleistocene (after Woilard, 1982)

Vpliv menjave toplih in hladnih obdobj na hidrogeološke razmere v pleistocenu

V pliocenski dobi je bilo podnebje precej toplejše kot v pleistocenu, vendar so se tudi takrat menjavala toplejša obdobja z nekoliko hladnejšimi. Pri morfološkem oblikovanju površja sta prevladovali erozija in uravnavanje, kajti Alpe in obrobje sta se v glavnem dvigala, le vmesne tektonske udorine so se v primerjavi z okoliškim dvigajočim se ozemljem grezale ali pa so zastajale. Površje je bilo poraščeno z gozdom do velikih višin, hudourniško nanašanje je bilo neznatno, zato reke niso imele materiala, ki bi ga prenašale in odlagale. Vsa vodna sila je bila usmerjena v zarezovalne in uravnavanje površja. Vzdolž rečnega toka ni bilo prodnih zasipov, kjer bi se zbirale večje količine podzemnih voda. Tudi v hribinah so se zbirale le majhne količine podzemnih voda. Zaradi močne erozije površinskih vodotokov in uravnave površja je bila vrhnja preperela in prepustna plast, kjer se je zbirala podzemna voda, sproti odnesena. V nepreperelih hribinah pa se ne morejo akumulirati večje količine podzemnih voda zaradi njihove male poroznosti in prepustnosti. V obsežnih apnenčevih masivih, ki sestavljajo kras, se je s stalnim vrezovanjem rek zniževala tudi erozijska baza površinskih in podzemnih kraških voda. Zaradi tega so prvotni površinski tokovi postopoma izginjali v globino in si tam s spiranjem razpok ustvarjali podzemne poti. Višje ležeči kanali in razpoke, po katerih se je nekoč prej pretakala podzemna voda, so se postopoma v veliki meri zapolnjevali z glino. Občasne visoke vode, ki so preplavile te kanale, so namreč prenašale velike količine melja in gline in ga odlagale na mestih, kjer je bil tok zaradi naravnih ovir upočasen.

S prvo poledenitvijo pri nas, verjetno v gūnški ledeni dobi pred približno 900.000 leti, je bil proces zarezovalja rek in uravnavanja površja prekinjen. Ledeniki so začeli prenašati velike količine preperelih in odkrušenih kamenin iz višjih predelov Alp v doline in jih odlagati v morenske nasipe. Iz čelnih moren so ledeniške reke poleti odnašale ogromne količine grušča in ga odlagale vzdolž toka. Tudi pritoki rek zunaj poledenelega ozemlja so v rečne doline nanašali ogromne količine grušča. Pobočja gora so bila namreč skoraj povsem gola, preperevanje pa je bilo zelo močno. Zaradi istočasne obremenitve Alp s skoraj strnjenim ledenim pokrovom se je dviganje gora ustavilo ali pa so se začele celo pogrezati. Vsi ti procesi so omogočili zasipanje obsežnih ravninskih predelov zunaj poledenelega ozemlja. To je bilo še posebno intenzivno v Ljubljanski kotlini, ki se je zaradi tektonskih procesov še dodatno pogrezala. V poroznih prodnih zasipih so se zbrale velike količine podzemnih voda, ki so se stalno obnavljale iz rek in padavin. Gladina podzemnih voda je bila plitvo pod površino, kajti tudi rečne struge so bile plitve. Po mrtvih rečnih rokavih so se pretakale studenčnice, ki so se napajale iz plitvo ležečih podzemnih voda.

V kraških apnenčevih in dolomitnih masivih zunaj poledenitve se je padanje gladine podzemnih voda ustavilo. To velja za porečji Save in Soče, kajti obe reki sta svoji strugi prenehali poglobljati. V Primorju se je padanje gladine podzemnih voda v skraselih apnenčevih masivih nadaljevalo, kajti gladina Jadranskega morja se je med poledenitvami znižala za več kot 50 m. Kraške podzemne vode so si poiskale poti skozi kanale in razpoke pod sedanjo morsko gladino. Ob višanju morske gladine v naslednjem toplem medledenem obdobju se je dvignila gladina sladke vode v skraselih apnenčevih masivih nad gladino morja ter zapolnila izpraznjene višje ležeče kanale in razpoke. S tem pa se je močno povečala količina akumulirane podzemne vode. Iztoki kraških podzemnih voda so marsikje ostali pod morsko gladino, pojavile so se vrulje.

Nasprotno temu je gladina podzemnih voda v porečjih Save in Soče začela v topli medleden dobi zaradi vrezovanja rek padati tako v prodnih zasipih kot tudi v apnenčevih in dolomitnih masivih na pobočjih rečnih dolin.

Na vznožju Alp so se razmere po umiku ledenikov povsem spremenile. V ledeniških kotanjah za čelnimi morenami so nastala velika jezera. Iz jezer so iztekale jezernice, ki niso nosile s seboj skoraj nobenega materiala, zato so se začele zarezovati v lastne prodne naplavine in svoje struge poglobljati. Ta pojav je opazen v moderni dobi, ko so na naših rekah za jezovi nastala številna umetna jezera. Rečno erozijo je še pospešilo dviganje Alp in obrobja, ko je izginil ledeni pokrov in je prišlo do razbremenitve gorovja.

V zvezi z naglim zarezovanjem rek se je zniževala gladina podzemne vode v dolinskih rečnih naplavinah in v dolomitnih in apnenčevih bregovih dolin. Pretežno anenčeve prodne naplavine, ki so zaradi znižanja gladine podzemne vode postale suhe, so se začele sprijemati v konglomerat. Proces sprijemanja je še pospešila znatno toplejša klima.

Za medledenim obdobjem je zopet nastopila ledena doba. V rečnih dolinah se je začelo ponovno nasipanje proda, dvigala se je rečna struga, s tem pa tudi gladina podzemne vode v prodnih naplavinah ter v dolomitnih in apnenčevih masivih na pobočjih dolin. Pretakajoča se podzemna voda je spirala in raztapljala v konglomerat sprijeti prod posebno tam, kjer je bil slabše sprijet in s tem močno povečala njegovo poroznost in prepustnost v vodoravni smeri. Tako so nastale cone zelo poroznega konglomerata, ki jih med seboj ločujejo plasti dobro sprijetega, skoraj neprepustnega konglomerata.

Tudi v apnenčevih in dolomitnih masivih na pobočjih dolin si je pretakajoča podzemna voda zopet poiskala više ležeče, v medledenih dobah opuščene in z glino delno zapolnjene razpoke in kanale ter jih začela spirati. Obenem se je podzemna voda pretakala tudi skozi globlje ležeče razpoke, ki si jih je izdelala v medledenih dobah.

V kraških masivih v Primorju se je gladina kraških podzemnih voda zaradi močnega padca morske gladine zopet močno znižala in si ponovno poiskala globlje ležeče kanale in razpoke, ki so bile v medledenih dobah delno zapolnjene z glino.

Vsi zgoraj opisani procesi so se v pleistocenu stalno odvijali vzporedno s klimatskimi spremembami. Končni rezultat teh procesov so obsežne akumulacije podzemnih voda v dolinskih prodnih konglomeratnih naplavinah ter v apnenčevih in dolomitnih masivih na pobočjih rečnih dolin in v Primorju. Pretežni del teh akumulacij je torej nastal zaradi geoloških procesov, ki so se odvijali vzporedno s pogostnimi močnimi klimatskimi spremembami v tem obdobju. V Sloveniji je torej pripisati sorazmerno velike količine podzemnih voda (ok. $38 \text{ m}^3/\text{s}$ pretoka pri nizkem vodnem stanju) skoraj izključno geološkim procesom, ki so se dogajali v pleistocenu.

Poznavanje procesov, ki so se dogajali v pleistocenu, je pomembno tudi pri raziskavah podzemnih voda. Na Ljubljanskem ter Kranjsko-Sorškem polju so se odložile fluvioglacialne prodne naplavine v več zaporednih poledenitvenih obdobjih ena na drugo. Med seboj jih ločijo plasti fosilne zemlje, ki so nastale v medledenih obdobjih. Spodaj ležeče plasti proda, ki so bile podvržene več zaporednim obdobjem sprijemanja v medledenih dobah in spiranju s podzemnimi vodami v ledenih dobah, imajo povsem drugačne hidrogeološke lastnosti (poroznost, prepustnost) kot više ležeče mlajše plasti. Iz tega izhaja, da so tod vodonosniki zelo heterogeni predvsem v navpični, nekoliko manj pa v vodoravni smeri. Ta podatek je zelo pomemben pri vseh hidrogeoloških računih in ocenah.

V skraselih apnenčevih masivih je globina skraselosti močno odvisna od procesov, ki so se odvijali v pleistocenu. V Primorju sega znatno pod gladino morja zaradi močnega znižanja morske gladine v poledenitvenih obdobjih. Apnenčevi masivi na bregovih rečnih dolin Save in Soče so skraseli precej nad sedanjo gladino podzemnih voda zaradi znatno višjega dolinskega dna v starejših poledenitvenih obdobjih. V zvezi s tem je nastalo več con pretakanja kraških podzemnih voda. Više ležeči, pretežni del leta suhi kanali in razpoke se ob deževjih najprej napolnijo, tako da večina padavinske vode odteče skozi to najvišjo skraselo cono. Ta voda se tudi najmočnejše skali in zaradi spiranja glin v razpokah onesnaži in ni pitna. Skozi globlje ležeče kanale in razpoke se pretok v tolikšni meri ne poveča, zato se tudi voda le malenkostno skali in jo je mogoče uporabljati kot pitno vodo. V novejšem času je bilo na kraških izvirih izdelanih več zajetij, iz katerih so dobili znatno kvalitetnejšo kraško podzemno vodo v globlje ležečih kanalih in razpokah. Ta voda se tudi ob deževjih le neznatno onesnaži.

Na Primorskem krasu je bilo možno v Brestovici zajeti velike količine kraške podzemne vode, kajti apnenec je skrasel znatno globlje kot je gladina morja. Pri tem so se zaradi globoke skraselosti in sorazmerno velike poroznosti (ki je nastajala v pleistocenu) v podzemlju akumulirale velike količine sladke podzemne vode, katero je mogoče tudi črpati brez nevarnosti vdora slane vode v podzemlje.

Vsi navedeni podatki kažejo na velik pomen poznavanja pleistocenskih procesov in njihovega vpliva na podzemne vode. Pravilno je mogoče razumeti in oceniti hidrogeološke razmere v prodnih zasipih rečnih dolin in v apnenčevih masivih na krasu le, če poznamo dogajanja, ki so se odvijala v pleistocenu. Zato bi morali tudi hidrogeologi podrobno poznati stratigrafijo pleistocena. Morali bi razumeti dogajanja, ki so jih povzročale močne klimatske spremembe in z njimi povezano zaporedje nasipanja rečnih dolin, erozije, sprijemanja proda in nato spiranja, padanja gladine podzemnih voda v apnencih in dolomitnih masivih, poglobljanja kanalov in razpok, ponovnega dviganja gladine in ponovnega preplavljanja više ležečih opuščenih kanalov in razpok. Šele na osnovi tega znanja lahko hidrogeolog pravilno tolmači podatke, ki jih dobi s hidrogeološkimi raziskavami in na osnovi tega poda pravilne sklepe.

Literatura

- Ampferer, O. 1917, Über die Saveterassen in Oberkrain, Jb. geol. R. R. A., 67, Wien.
- Bowen, D. Q. 1978, Quaternary geology, Pergamon Press, Oxford.
- Brunnacker, K. 1979, Classification and stratigraphy of the Quaternary terraces of the lower Rhine area, Quaternary glaciations in the northern hemisphere, Praga.
- Eberl, B. 1930, Die Eiszeitenfolge in nördlichen Alpen-vorlande, Augsburg.
- Emiliani, C. 1955, Pleistocene temperatures, J. Geol., No 63, Chicago.
- Flint, R. F. 1971, Glacial and Pleistocene Geology, New York.
- Ilešič, S. 1935, Terasa na gorenjski ravnini. Geogr. vestnik, XI., Ljubljana.
- Kukla, G. J. 1970, Correlation between loesses and deep sea sediments, Geol. Foren Stockholm Förb.
- Kuščer, D. 1955, Prispevek h glacialni geologiji radovljiške kotline, Geologija 3, Ljubljana.
- Nikiforova, K. V., Kind, N. N. & Krasnov, I. I. 1984, Chronostratigraphic Scale of the Upper Pliocene and Quaternary. Proceedings of the 27 th International Geological Congress, Moskva.
- Penck, A. & Brückner, E. 1909, Die Alpen in Eiszeit alter, Leipzig.
- Rakovec, J. 1956, Razvoj pleistocena na Slovenskem. Zbornik. Prvi jugosl. geol. kongres, Ljubljana.

Schafer, J. 1953, Die donauiszeitlichen Ablagerungen in Lech und Wertach, Geol. Bavarica, 19, München.

Shackleton, N. J. & Opdyke, N. D. 1973, Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of Equatorial Pacific core V28-238; oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 year and 10^6 year scale, Quat. Res., 3, Washington.

Sissons, J. B. 1979, The Loch Lomond Stadial in the British isles, Nature, vol. 280, London.

Sifrer, M. 1981, Nova dognanja v razvoju reliefa na Gorenjskem, 12. zborovanje slov. geografov, Kranj-Bled.

Van Donk, J. 1976, 140 record of the Atlantic Ocean for the entire Pleistocene Epoch, Geol. Soc. Amer. Memoir 145, Boulder.

Wiegand, F. 1979, Paleomagnetic dating and correlation of quaternary deposits in the GDR. Quaternary glaciations in the northern hemisphere, Praga.

Woillard, G. 1982, Palynology and radiocarbon datings at Grande Pile (NE France). Quaternary glaciations in the northern hemisphere, Praga.

Žlebnik, L. 1971, Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja, Geologija 14, Ljubljana.

Žlebnik, L. 1975, Hidrogeološke razmere na Sorškem polju, Geologija 18, Ljubljana.

Žlebnik, L. 1981, Hidrogeološki pogoji za gradnjo elektrarne Mavčiče, Geologija 24, Ljubljana.