

Alpe so pravzaprav hidrografski klobuk Evrope. V obsežnem, mladonagubanem gorstvu se stikajo povirja živahnih alpskih vodnih tokov, ki se preko tesnih dolin spuščajo proti Sredozemlju (Rhône, Pad, Soča), Severnemu (Ren) in Črnemu morju (Donava). Zlasti za delno karbonatne Alpe je značilna velika reliefna energija. Preko predalpskega sveta se pobočja v osrčju Alp hitro dvignejo vse do nadmorske višine 4810 m (Mont Blanc). Vodnati vodni tokovi so razrezali pobočja v tipične, ozke alpske doline, v povirnih delih preoblikovane v širše, ledeniške doline. V osrčju Alp, v najvišjem svetu (nad 2500 m) so ohranjeni ostanki v pleistocenu obsežnega ledenega pokrova. Ledeniki bistveno vplivajo na rečni režim "pravih" alpskih rek, vendar je njihova skupna površina le okoli 4000 km² (Veyrent, 1972). V Alpah je okoli 1500 ledenikov, njihova prostornina pa znaša okoli 380 km³ (Dukić, 1984). V osrčju in zahodnem delu Alp je okoli dve tretjini vseh ledenikov. Tipični so dolinski, mnogo pa je tudi krniških in visečih ledenikov.

Rečni režim alpskih rek je v veliki meri odraz padavinskih značilnosti, različnega časa začetka topljenja snega in ledu, pomemben je tudi delež ledenikov v porečju. Padavine v splošnem sicer naraščajo z nadmorsko višino, vendar so številne izjeme. Količina padavin v zunanjih delih Alp je največja okoli nadmorske višine 2000 m, v notranjih delih pa pri 3000-3500 m (Gabert-Guichonnet, 1965). V Alpah je namreč pogosto za količino padavin bolj kot nadmorska višina pomembna lega glede na vlažne vetrove. Snežna meja se glede na pokrajinske poteze giblje od 2500 m v severozahodnem delu Alp, kjer je več padavin, pa vse do 3300 m v osrčju Alp (Dukić, 1984).

Količina in razporeditev padavin so rezultat vpliva številnih alpskih pokrajino-tvornih elementov. Najbolj namočen je jugovzhodni del Alp s pobočji, obrnjenimi proti vlažnim jugozahodnim vetrovom Jadrana. V Karnijskih Alpah je povprečno nekaj nad 3500 mm padavin v letu (Gabert, 1965), v povirju Soče pa okoli 3000 mm (Radinja, 1978). Drugo večje območje obilne moče predstavlja višji svet švicarskih Alp, kjer prinašajo padavine vlažni zahodni vetrovi ob prisilnem, reliefno pogojenem dvigovanju. V celoti pa zavzemajo največji obseg površine, kjer je letno 1200-1600 mm padavin. Morda nas preseneča, da je v predalpskem svetu francoskih in zahodnih italijanskih Alp letno v povprečju 800-1200 mm padavin, kar velja tudi za alpske doline v osrčju Alp (Wallis) in vzhodne, proti Panonski nižini odprte doline avstrijskih Alp. V dolini Aoste, neposredno pod Mont Blancom, pade v povprečju letno le okoli 500 mm padavin. Izjemo pa predstavlja tisti del francoskih Alp, kamor neposredno udarijo vlažni

^x Mag., univ. asis., Oddelek za geografijo, Filozofska fakulteta, Univerza Edvarda Kardelja, 61000 Ljubljana, Aškerčeva 12, glej izvleček na koncu Obzornika

zahodni vetrovi in je celo okoli 4000 mm padavin (Glauert, 1975). Na splošno pa se količina padavin niža od zahoda proti vzhodu. Za severne Alpe je značilen močan poletni padavinski višek in sekundarni v januarju, v južnih pa jesenski in spomladanski. V Dolomitih in Južni Tirolski pa je največ padavin poleti, poudarjen pa je tudi jesenski višek.

Za rečne režime pa je razen količine in razporeditve padavin pomemben delež vode, ki odteče. Za alpske reke je značilen visok odtočni količnik, saj odteče navadno več kot 60% vode. Največji je odtok tam, kjer je svet strm in visok in kjer prevladujejo prepustne kamenine, velik pa je tudi delež ledenikov. Za visokogorsko porečje Arve pri Chamonixu je značilno, da odteče okoli 90%, v porečju Inna pri Innsbrucku pa 80% vode, kar velja tudi za zgornje porečje Soče.

Specifični odtok alpskih rek je visok in navadno presega 40 l/sek/km^2 (Veyrent, 1972). Največjega imajo reke s pretežno ali delno ledeniškim povirjem. Med reke z največjim srednjim letnim specifičnim odtokom uvrščajo raziskovalci Alp tudi povirno Sočo z odtokom $86,1 \text{ l/sek/km}^2$ (Gabert, 1965), kar je posledica obilnih padavin in njihove razporeditve, strmega reliefa in kraškega zadržka. Za alpske reke ledeniškega rečnega režima so povprečni letni specifični odtoki med 70 in 85 l/sek/km^2 , snežnega okoli 50 l/sek/km^2 in nivo-pluvialnega okoli 40 l/sek/km^2 (P. in G. Veyrent, 1967).

Rečne režime alpskih rek označuje zlasti izrazit zimski nižek in višek v topli dobi leta. Vendar je pokrajinska pestrost Alp vzrok, da se rečni režimi med seboj bistveno razlikujejo. Po Pardéjevi razdelitvi (Pardé, 1955) se v Alpah pojavljajo enostavni in kompleksni rečni režimi. Njegova kategorizacija sloni na zasledovanju deleža treh činiteljev, ki povzročajo kolebanje vodnega stanja alpskih rek glacialnega (ledeniškega), nivalnega (snežnega) in pluvialnega (dežnega) režima. Med enostavnimi režimi je značilen glacialni rečni režim, kjer ledeniki bistveno vplivajo na spreminjanje vodnega stanja. Po Pardéju (1955) je njihov vpliv prevladujoč že povsod, kjer je vsaj 15–20% celotnega porečja pod ledom. Glacialni rečni režim imajo krajše alpske reke (Visp Arve pri Chamonixu, Massa pri Aletschu), ki izvirajo pod ledeniki. Zaradi poznega topljenja ledu so največji pretoki v juliju, avgustu in juniju. Prvi, manj izrazit višek, je v juniju, ko pride do topljenja snega na ledeniku, konec julija ali v začetku avgusta pa pride do topljenja ledu (Glauert, 1975). Pogosto nastopi tudi tretji višek v drugi polovici avgusta, ki je pogojen z dežnimi padavinami. V celoti se torej izoblikuje izrazit poletni, približno tromesečni višek, za zimsko obdobje (november–december–marec/april) pa je značilen 4/5 mesecev trajajoč zimski nižek. Pretok Vispa v Wallisu (Švica) je v petih mesecih od maja do septembra šestkrat večji kot v preostalih sedmih mesecih. V visokih francoskih Alpah odteče od junija do septembra 80–90% letnega odtoka. Za reko Massa pri Aletschhornu (Švica) je značilno, da je povprečni junijski pretok ($46 \text{ m}^3/\text{s}$) 150 – krat večji od februarskega ($0,29 \text{ m}^3/\text{s}$).

Kot podtip pri enostavnih režimih uvršča Pardé (1955) nivo – glacialni, kjer ob-

segajo ledeniške površine okoli 10% porečja (zg. Iser, zg. Arc, zg. Inn, zg. Drava). Najvišja voda je v juniju, avgust pa je navadno manj vodnat kot julij. Nizka voda narašča od srede septembra pa vse do aprila, ko se prične topljenje. Nivo-glacialni režim postopno prehaja v čisti nivalni režim, kjer je pretočni višek v juniju, juliju pa ne sledi avgust, temveč maj. Pri omiljenem nivalnem režimu pa je zaradi zgodnejšega topljenja snega primarni pretočni višek maja ali aprila, vendar viški niso tako izraziti kot pri nivo-glacialnem in glacialnem rečnem režimu. Vse navedene tipe alpskih enostavnih rečnih režimov pa označuje ledeniški ali snežni zadržek z nizkim vodnim stanjem v hladni polovici in kopnenje v topli polovici leta ter nadpovprečni pretoki, torej izraziti višek in nižek pretokov.

Med rečnimi režimi je v Alpah najbolj razširjen nivo-pluvialni, ki spada med kompleksne rečne režime. V bistvu gre za tipičen predalpski režim, saj prevladuje v porečjih z nadmorsko višino pod 2000 m s srednjim letnim specifičnim odtokom okoli 40 l/sek/km^2 . Snežno-dežni režim označujeta dva pretočna viška in nižka. Med viški je izrazitejši spomladanski, ki je v veliki meri posledica topljenja snega, jesenski višek pa nastane zaradi jesenskega deževja. Zimskemu nižku pa se pridruži poletni, ki je lahko celo nižji od zimskega, retinenčnega. V južnih, jugovzhodnih in jugozahodnih Alpah (reke Tessin, Brente, Etich, Oglio) je značilno, da spomladi prihaja istočasno do spomladanskega topljenja snega in deževja. Aprilski pretočni višek je višji od majskega, pogosto pa je največji mesečni pretok že v marcu (Glauert, 1975). Zlasti v južnih Alpah pa se pod vplivom Sredozemskega morja izoblikuje mediteranska inačica nivo-pluvialnega režima z drugim, izrazitim jesenskim pretočnim viškom (Soča). Pogosto pluvialno zasnovani jesenski višek prekosi spomladanskega, zaradi večjega izhlapevanja pa je zelo izrazita tudi poletna nizka voda. V bistvu gre že za prehod v pluvio-nivalni režim, kjer je zgodnje kopnenje snega (marec) že močno v ozadju, zelo izraziti pa so poletni nižki, saj se sneg tudi pozimi zadrži le za krajši čas. V primerjavi z ostalimi, zlasti enostavnimi rečnimi režimi, je le-ta za Alpe pravzaprav netipičen in se pojavlja v najnižjem obrobju Alp. V svojem toku večje alpske reke postopoma prehajajo od enostavnih rečnih režimov (Ren, Rhone) v zgornjem toku, h kompleksnim, kjer se glacialnemu, nivalnemu vplivu pridruži in vse bolj uveljavi pluvialni.

Slovenske alpske reke je Ilešič (1948) uvrstil v naslednje rečne režime:

- čisti ali enostavni gorski nivalni oziroma varianta nivo-glacialni: zg. tok Drave do Beljaka;
- omiljeni nivalni: zg. Mura, Soča (do Kobarida) že z močnim učinkom mediteranskega deževja, Koritnica (Radinja, 1978);
- nivo-pluvialni: zg. Sava, zg. Savinja, Kokra, Tržiška in Kamniška Bistrica.

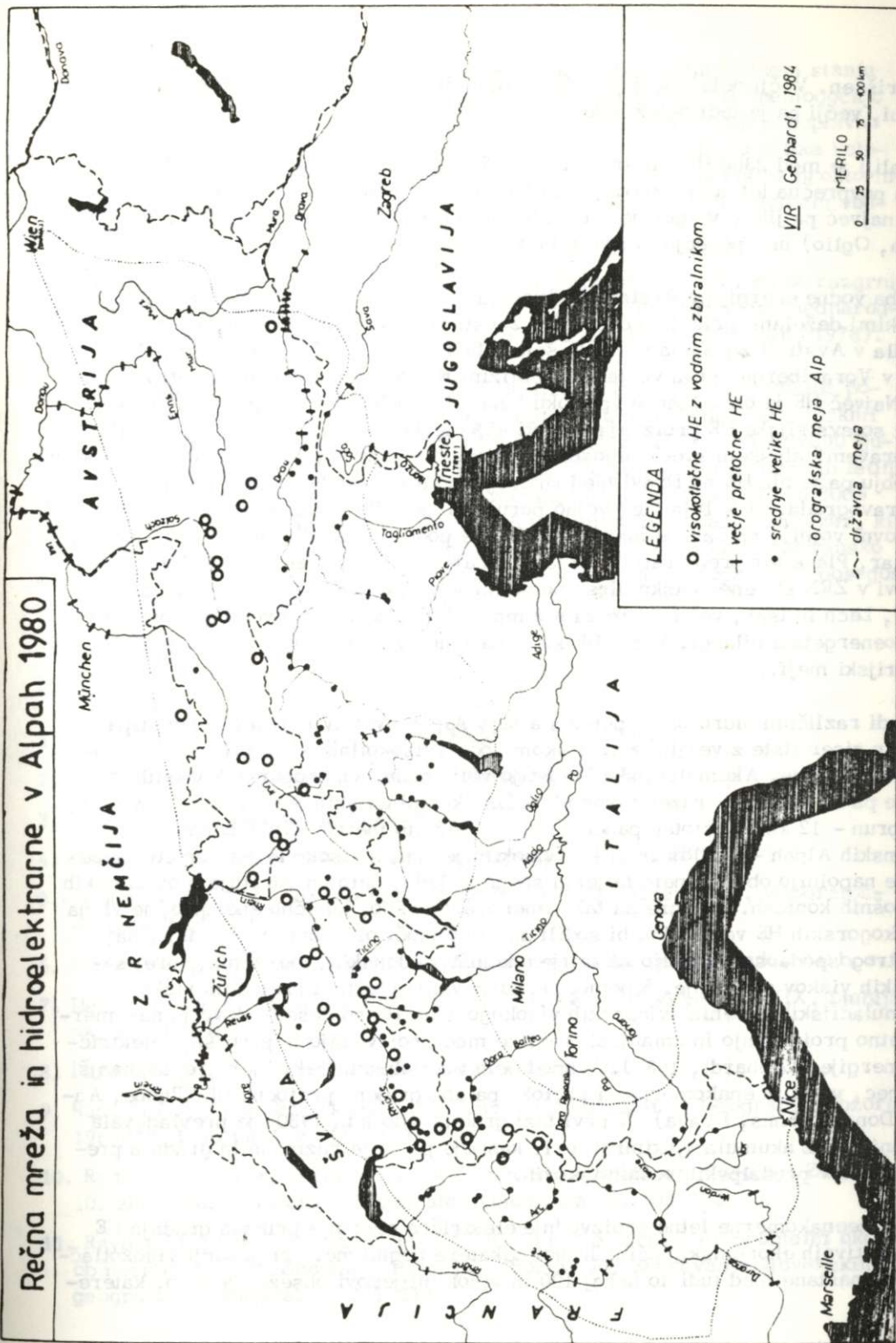
Prebivalci Alp so pričeli že zelo zgodaj uporabljati mehansko vodno moč za žaganje lesa, mletje žita, pri proizvodnji masla, fužinarstvu. O pomenu možnosti rabe krajevnega energetskega vira nam pričajo številni vodni obrati tudi na

slovenskih alpskih rekah, ki pa so zlasti po drugi svetovni vojni propadli. Odkritje možnosti proizvodnje električne energije s pomočjo rabe hidroenergetskega potenciala alpskih voda v drugi polovici 19. stoletja pa je povzročilo gradnjo hidroelektrarn. Zaradi številnih razlogov, zlasti pa obnovljivosti energije, se je gradnja HE zelo razmahnila. Prostorska razporeditev HE v Alpah je odraz prepletanja številnih dejavnikov, prirodno in družbeno geografskih. Med hidrološkimi vrednostmi sta v ospredju pretok in strmec, ki odločata o hidroenergetski moči na posameznih delih rečne struge. Najbolj ugodne so tiste lokacije, kjer ima reka velik strmec in močan pretok. Pri lokaciji alpskih HE je zelo pomembna tudi vloga ledenikov, saj je za ledeniške reke značilen izrazit pretočni poletni višek. V porečjih z ledeniki je posebno ugodno, če se skupaj srečata velika reliefna energija in poldenitev (Birkenhauer, 1980), pa tudi večja namočenost. Zaradi večjih strmcev, pa tudi zgodovinsko-političnih razlogov proizvajajo HE v zahodnih Alpah dve tretjini električne energije v primerjavi z vzhodnimi Alpami, ki imajo približno isto površino (Gebhardt, 1984).

V francoskih Alpah so pričeli najprej proizvajati električno energijo s hidroenergetskim potencialom alpskih vodnih tokov, od tu izvira tudi izraz "beli premog" (Glauert, 1975). Vzroki za zgodnjo rabo francoskih alpskih vodnih tokov so razen hidroloških (velik strmec in pretok - večja namočenost zahodnih Alp, ledeniški značaj vodnih tokov in rečnega režima) tudi družbeno-geografski. V bližini se je razvilo večje urbano središče - Grenoble, Francija pa je imela tudi skromnejše energetske vire v primerjavi z Avstro-ogrsko monarhijo, kjer so bila večja ležišča premoga. Pri gradnji HE v francoskih Alpah je potrebno ločiti tri razvojne faze. V prvi (1890-1920) so gradili manjše HE na zaključku visokogorskih stranskih dolinah. Električno energijo so uporabljali v neposredni bližini HE, zlasti za razvijajočo črno metalurgijo (Gebhardt, 1984). V obdobju do druge svetovne vojne je zraslo več večjih HE z obsežnejšimi akumulacijskimi jezери, razvila pa se je možnost prenosa električne energije na večje razdalje. Ob nadaljnji gradnji HE po drugi svetovni vojni je nastal na posameznih francoskih alpskih rekah cel niz HE (reke Arc, Drac, Durana, Rhône) in medsebojno povezan sistem električnega omrežja. Med zadnjimi večjimi HE v francoskih Alpah je bila zgrajena HE Monteynard na Dracu (levi pritok Isère) z močjo 360 MW (več kot polovica moči JE Krško), akumulacijsko jezero pa ima prostornino 150 milijonov m³ (Rees, 1973). Francija proizvaja letno s pomočjo HE okoli 75 milijard kWh, od tega v ožjem, alpskem svetu okoli 34 milijard kWh (Gebhardt, 1984), torej skoraj polovico.

Tudi v Švici se je pričela izraba vodne moči zgodaj, kmalu po letu 1880. Zgodnja gradnja HE in elektrifikacija je značilna zlasti za pokrajino Wallis, kjer je hidroenergetski razvoj v tesni zvezi z zgodnjo industrializacijo (elektrokemična in aluminijaska industrija). Do leta 1918 je bilo zgrajenih že 32 HE. V kasnejših obdobjih se je vloga HE pri proizvodnji električne energije še okrepila, v začetku 80 let so HE proizvedle preko tri četrtine švicarske električne energije (Gebhardt, 1984). Največ HE je na pritokih Rhône (zlasti pod visokim Matterhornom), posamezne švicarske HE pa imajo moč nad 400 MW. Skupno proizvajajo HE v Švici letno okoli 35 milijard kWh, hidroenergetski potencial pa je skoraj v celoti

Rečna mreža in hidroelektrarne v Alpah 1980



LEGENDA

○ visokotlačne HE z vodnim zbiralnikom

+ večje pretočne HE

• srednje velike HE

— orografska meja Alp

~ državna meja

VIR Gebhardt, 1984

MERILO
0 25 50 75 100 km

izkoriščen. Večji delež HE je v južnem delu Švice, kjer so vodni tokovi bolj strmi, večji pa je tudi delež ledenikov.

V Italiji je med 2300 HE kar tri četrtine HE v alpskem svetu (Rees, 1973). Njihova povprečna letna proizvodnja je okoli 10 milijard kWh. Prevladujejo manjše HE, največ pa jih je v zgornjem toku levih pritokov Pada (Doire Baltee, Tessin, Adda, Oglio) in v porečju Adige in Piave.

Izraba vodne energije v Avstriji in Jugoslaviji se je v primerjavi z ostalimi alpskimi deželami pričela s časovnim zaostankom zaradi zalog premoga. Tako je bila v Avstriji zgrajena prva HE šele leta 1920 s pomočjo švicarskega kapitala v Vorarlbergu, prva večja HE (v bližini Kapruna) pa po drugi svetovni vojni. Največ HE je ob Salzachu (pritoku Inna), sledi Inn, Drava in Mura. Leta 1971 so avstrijske HE proizvajale okoli 45% električne energije (Rees, 1973). V "pravem" alpskem svetu Jugoslavije HE pravzaprav ni, v bližnjem predalpskem obrobju pa je niz HE na Dravi med Dravogradom in Mariborom (z izjemo Fale in Dravograda, ki je bila med vojno porušena, so bile vse zgrajene po drugi svetovni vojni), na Savi je manjša HE Moste pod Jesenicami, na srednji Soči pa Doblar, Plave ter pred kratkim (1984) zgrajeni Solkan. Med alpskimi vodnimi tokovi v ZRN sta energetske širše pomembna pravzaprav le desna pritoka Donave, Lech in Isar, vendar gre za niz manjših HE, ki nimajo večjega pomena v hidroenergetski bilanci. Večje HE so le na Innu, v spodnjem toku ob nemško-avstrijski meji.

Zaradi različnih hidroloških potoz sta se v Alpah uveljavila dva osnovna tipa HE, in sicer tiste z večjim zbiralnikom vode (visokotlačne) in pretočne oziroma nizkotlačne. Akumulacijske koristijo velik padec visokogorskih vodnih tokov, zanje pa so značilni, razen visoko ležečih akumulacijskih jezer, dolgi cevovodi (Kaprun - 12 km), celoten padec pa znaša več sto metrov (HE Chandolline v Peninskih Alpah - 1750 m in 284 m visokim jezom). Visoko ležeča umetna jezera se napolnijo ob poletnem taljenju snega in ledu, nato pa obratujejo ob zimskih potrošnih konicah. Ker gre za tako imenovano vršno, konično energijo, je vloga visokogorskih HE večja, kot bi sodili zgolj po moči oziroma proizvodnji, saj v elektrogospodarstvu služijo za kritje dnevnih, tedenskih, mesečnih, torej sezonskih viškov potrošnje. S pomočjo zadrževanja poletnih pretočnih viškov v akumulacijskih bazenih švicarskih visokogorskih HE so dosegli dovolj enakomerno letno proizvodnjo in zmanjšali razlike med proizvodnjo in potrošnjo električne energije (Gebhardt, 1984). V spodnjem toku alpskih rek, kjer gre za manjši strmec, večji in enakomernjši pretok, pa so zgrajene pretočne HE (Rhône, Aare, Donava, Enns, Drava). V prvi fazi gradnje (do leta 1930) je prevladovala gradnja HE z akumulacijskimi jezovi, kasneje pa se je razmahnila gradnja pretočnih HE v predalpskih vodnih tokovih.

Razen neenakomerne letne proizvodnje električne energije prinaša gradnja HE ob pozitivnih ekonomskih učinkih tudi nekatere negativne. Pri gradnji visokotlačnih HE nastane med tudi do nekaj 100 m visokimi jezovi obsežno jezero, katere-

ga velikost se zelo spreminja. Gola, blatna pobočja ob nizkem vodnem stanju (oktober-april) kazijo podobo alpske pokrajine in skoraj v celoti onemogočajo drugačno rabo. Pozitivno pa je dejstvo, da umetna jezera zadržujejo poplavno vodo, ki jo lahko porabimo za vodno oskrbo. V jezeru se nabirajo velike količine pretežno morenskega gradiva, zato se postopno manjša koristna prostornina. Poseg v dinamiko pretokov vpliva na vodno floro in favno ob celotnem vodnem toku.

V razpravah ob načrtovanih HE Trnovo in Kobarid ob zgornji Soči so se razgrnili vsi problemi v zvezi z gradnjo HE ob alpski reki, ki ima vrednost mednarodno pomembnega naravnega spomenika (Radinja, 1966, Ravbar-Orožen, 1978).

Premalo pretehtana in utemeljena gradnja HE ima lahko tudi katastrofalne posledice. Oktobra 1963 je zaradi plazu pri Vaianu (Italija) vodni val pljusnil preko jezua in v mestu Longaronu in bližnjih vaseh povzročil smrt nad 2000 ljudi. Število umetnih jezer v Alpah zelo hitro narašča, v zadnjih petdesetih letih se je njihovo število povečalo za 113,5%, v francoskih Alpah pa celo za 300% (Glauert, 1975). V Alpah je danes že nad 10 000 umetnih in naravnih jezer, ki imajo pomembno gospodarsko vlogo, gradnja HE pa povzroča tudi pokrajinsko - ekološke spremembe in dileme, povezane z vse večjim antropogenim posegom v sestavo in dinamiko alpskih pokrajin.

Literatura

1. Birkenhauer J., 1980, Die Alpen, Paderborn, s. 231
2. Dukić D., 1984, Hidrologija kopna, Beograd, s. 497
3. Egli E., 1978, Switzerland, Bern, s. 229
4. Gabert P., Guichonnet R., 1965, Les Alpes, Paris, s. 286
5. Gebhardt H., 1984, Hydroenergie und Industrie in Alpenraum, Geographische Rundschau 1984/8, s. 410-416
6. Glauert G., 1975, Die Alpen, eine Einführung in die Landeskunde, Kiel, s. 104
7. Ilešič S., 1948, Rečni režimi v Jugoslaviji, Geografski vestnik XIX, Ljubljana, s. 71-110
8. Pardé M., 1955, Fleuves et rivieres, Paris, s. 223
9. Radinja D., 1966, Projektirana HE Trnovo v Soški dolini, Geografski obzornik 1965/12, Ljubljana, s. 114-119
10. Radinja D., 1978, Rečni režimi v Zgornjem in Srednjem Posočju, Zbornik 10. zborovanja slovenskih geografov, Ljubljana, s. 101-123
11. Ravbar M., Orožen-Adamič M., 1978, Varstvo narave ter problemi okolja ob načrtih za HE v Zgornjem Posočju, Zbornik 10. zborovanja slovenskih geografov, Ljubljana, s. 231-249

12. Rees H., 1973, Italy, Switzerland and Austria, London, s. 358
13. Veyrent P.G., 1967, Au cœur de l'Europe - les Alpes, Paris, s. 546
14. Veyrent P., 1972, Les Alpes, Paris, s. 126

LITERATURA

1. Birkhäuser, 1950, Die Alpen, Zürich, s. 358
2. Davis D., 1958, The Alps, London, s. 358
3. Ellis, 1978, Switzerland, Bern, s. 546
4. Gabor, 1958, Die Alpen, Zürich, s. 358
5. Gabor, 1981, Technologie und Industrie in den Alpen, Zürich, s. 358
6. Gabor, 1981, Technologie und Industrie in den Alpen, Zürich, s. 358
7. Hiltl, 1981, Die Alpen, Zürich, s. 358
8. Hiltl, 1981, Die Alpen, Zürich, s. 358
9. Radtke, 1981, Die Alpen, Zürich, s. 358
10. Radtke, 1981, Die Alpen, Zürich, s. 358
11. Radtke, 1981, Die Alpen, Zürich, s. 358