

Dušan Plut,^x Marcel Kompare^{xx}

POKRAJINSKO IN EKONOMSKO-TEHNIČNI VIDIKI IZBORA LOKACIJE IN
GRADNJE MAJHNH HIDROELEKTRARN

Z energetske krizo, ob onesnaževanju življenjskega okolja tudi zaradi proizvodnje električne energije, narodno-obrambnega in drugih interesov, postaja ponovno zanimiva gradnja majhnih hidroelektrarn (MHE). Razen ekonomskih razlogov so vse bolj v ospredju tudi ekološki, saj manjše pregrade zmanjšajo erozijo in spodjedanje bregov, omogoča pa se prezračevanje onesnažene vode. Pred 40 leti je bilo na slovenskih vodnih tokovih okoli 4000 mlinov in žag (Šolc, 1981), ki so izkoriščali obnovljivo, krajevno pomembno vodno energetske moč in uravnavali pretočne količine vode. Po drugi svetovni vojni cena njihove energije ni več konkurirala ceni energije v večjih energetskih objektih, hitro propadanje vodnih obratov pa je pospeševala tudi takratna davčna politika. Zato je velika večina vodnih obratov prenehala obratovati in propadla, kar velja tudi za MHE, ki so proizvajale električno energijo za pogon manjših obrtnih in industrijskih obratov in za krajevno razsvetljavo. V poročilu o analizi razvojnih možnosti SRS v obdobju 1986 - 2000 (Poročevalec, 16.3.1984, priloga I) pa se zaradi gospodarskih razlogov in boljše oskrbljenosti z električno energijo, zlasti v izrednih razmerah (naravne katastrofe, vojne razmere) predvideva tudi pospešena gradnja MHE.

MHE so antropogen element v pokrajini, spreminjajo torej sestavo in dinamiko pokrajinskega sistema. Pri izboru lokacije

^xMag.geografije, Univ.asistent, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete, 61000 Ljubljana, Aškerčeva 12

^{xx}Dipl.ing.stroj., Fakulteta za strojništvo, 61000 Ljubljana, Murnikova 2

je potrebno razen ekonomsko-tehničnih vidikov upoštevati tudi širši, regionalni oziroma pokrajinski vidik (Radinja, 1966). Čeprav gre v primerjavi z ostalimi energetskimi objekti za manjši poseg v dinamično naravno ravnotežje, se le spremeni podoba, dinamika in funkcija dela porečja, vodnega toka. MHE s spremljevalnimi gradbenimi objekti preoblikujejo pejsažno-estetsko, arhitekturno podobo pokrajine. Tudi zato je torej zaželeno, da postavimo MHE na mestu, kjer je v preteklosti obratoval mlin, žaga, adaptacijo ali novo gradnjo pa prilagodimo pejsažnim značilnostim pokrajine. Posebno skrb je potrebno nameniti gradnji v naravovarstveno pomembnih in vodno-ekološko občutljivih območjih in upoštevati, da v varstvenih območjih z najstrožjim režimom gradnja MHE ni možna, drugod pa dovoljena le z upoštevanjem posebnih gradbenih zahtev in posebnosti.

Razen spremembe pejsažne podobe lahko gradnja MHE prepreči ali zavrne drugačno rabo vodnega toka. Lahko jezom pride do dviga višine vode in preplavitve zemljišča, kar preprečuje možnost obdelovanja, v ožjih dolinah pa je popolnoma onemogočena druga raba (promet). Z zadrževanjem vode se spremeni dinamika pretoka, zato so možni vplivi na vodno floro in favno. Čeprav v principu pridobivanje električne energije v MHE ne onesnažuje vode, je potrebno poskrbeti za ustrezne varstvene ukrepe pri rednih vzdrževalnih delih in popravilih.

Osnovni delovni postopki pokrajinsko zasnovanega izbora lokacij za MHE

Brez dvoma je pri izboru lokacije za MHE potrebno v prvi fazi izbora izhajati iz hidroloških vrednosti, strmca (padca), struge v določenem rečnem odseku in pretoka. Vendar je potrebno energetsko najbolj ugodne lokacije soočiti z ekološkimi, naravovarstvenimi vidiki, upoštevati bližino možnega uporabnika in finančne možnosti investitorja, vidik SLO ter možnost večnamenske rabe. Pri gradnji MHE, zlasti v povirnih delih

porečja, se lahko akumulirana voda koristi za vodno oskrbo, pri nekoliko večjih zaježitvah pa v rekreativne namene (ribolov), namakanje in biološko pomembno bogatenje nizkih voda. Potreben je torej celovit pristop, osvetlitev ostalih lokacijskih faktorjev in upoštevanje zahtev drugih možnih uporabnikov vodnih virov. Ne smemo se zadovoljiti zgolj z sicer nujno potrebno hidrološko proučitvijo (Premru, 1979).

Sodimo, da je potrebno pri izboru lokacij in gradnji MHE v prvi fazi proučevanja osvetliti celotno porečje, zlasti pa naslednje pokrajinske značilnosti:

- morfometrija in oblika porečja z določitvijo velikosti porečja in poteka razvodnice
- petrografska sestava porečja (zlasti delež karbonatnih in nekarbonatnih kamenin)
- strmina, višinski pasovi, pedološka sestava in gozdnatost porečja
- padavine (srednje letne količine, padavinski režim, oblike padavin)
- specifični odtoki in odtočni količniki delov porečja
- gostota in način poselitve, kmetijske rabe in gospodarske usmerjenosti
- analize vodnega gospodarstva v porečju
- potek električnega omrežja, lokacije možnih investorjev in uporabnikov v porečju
- naravovarstvena območja in naravni spomeniki v porečju, naravovarstveni režimi.

V drugi fazi je potrebno podrobneje osvetliti rečno mrežo, rečni režim vodnih tokov v porečju, posebno skrbno pa pretok in strmec najbolj pomembnih vodnih tokov, opraviti (če ni sistematičnih meritev) vzorčna merjenja zlasti ob nizkem vodnem stanju. Za hidrološko najbolj primerne lokacije je potrebno izračunati moč vode in agregate ter predvideno proizvodnjo električne energije.

Hidroenergetski oceni vodnih tokov oziroma posameznih odsekov rečne struge sledi popis obstoječih ali že opuščениh vodnih objektov (Plut, 1984). Obstajata namreč dve možnosti: postavitve MHE na mestu nekdanjega vodnega obrata s preureditvami ali nova gradnja. Ker je bila lokacija vodnih obratov skrbno izbrana na osnovi poznavanja naravnih in družbenih značilnosti pokrajine, je popis koristen pripomoček za ocenjevanje dejanskih možnosti ponovne hidroenergetske rabe. Tudi zaradi velikih gradbenih stroškov (zgradba, jez, ureditev pristopa, cevovodi, kanali) je smotrnejše izkoristiti obstoječe vodne obrate in jih primerno preurediti. Poslužimo se lahko smernic za geografsko raziskovanje vodnih mlinov in mlinarstva na Slovenskem (Radinja, 1979), prilagojene specifičnostim za eventuelno proizvodnjo električne energije. S terenskim delom in analizo kartografskega materiala in pisnih virov osvetlimo zlasti način in moč koriščenja vode, lastništvo, prometno dostopnost, spremembe v razvoju vodnega obrata, čas obratovanja (suše, poplave, čas zamrznjenosti vode), ohranjenost jezu in vodnega objekta ter interes lastnika za gradnjo MHE.

Pri naslednji fazi izbora najbolj primernih lokacij za gradnjo upoštevamo naslednje lokacijske faktorje:

- naravovarstveni vidik (izbor ekološko najbolj primerne mesta za gradnjo, način gradnje novega vodnega obrata ali adaptacije in spremljevalnih objektov glede na pejsažno podobo pokrajine, upoštevanje naravovarstvenih omejitev glede na varstveni režim)
- narodno-obrambni vidik (skrita in odmaknjena lega glede naselij, prometnih poti ali gradnja v bližini za SLO pomembnih objektov)
- bližina možnega uporabnika (mlin, žaga, obrtna delavnica, uporaba letne električne energije pri organizaciji celične proizvodnje na podeželju, industrijski obrat, zaselek, naselje) zaradi načina koriščenja proizvedene električne energije (otočno obratovanje, priključitev na obstoječe električno omrežje)

- večnamenska raba akumulacije in objektov (preprečevanje erozije, vodna oskrba, rekreacija; organizacija obrtne ali celične proizvodnje z uporabo lastnih energetskih potencialov)
- izbor investitorjev in njihove finančne možnosti (privatni ali družbeni sektor, SLO), ki lahko pomembno vpliva na lokacijo, gradnjo in izbor moči MHE.

Vrednotenje in pretehtanje izbora lokacije in gradnje sloni torej na proučitvi številnih lokacijskih faktorjev, ki v veliki meri slonijo na pokrajinskih značilnostih porečja. V Sloveniji se prepletajo številni pokrajinski tipi, zato izhaja izbor in vrednotenje lokacijskih dejavnikov za MHE iz svojstvenih pokrajinskih potez določenega porečja, vodnega toka.

Najbolj ugodni lokacijski pogoji za postavitev MHE so v visokogorskem svetu Slovenije, pa tudi na vodnatih vodnih tokovih slovenskega sredogorskega in nizkega krasa (porečje Kolpe, Krke). Gre za krajše, strme in vodnate vodne tokove, ki so že v preteklosti imeli lokalno pomembno energetsko vlogo. V visokogorskem alpskem svetu Slovenije zaradi vodnoenergetske tradicije, višje stopnje gospodarskega razvoja, pa tudi cenejše gradnje ponovno dokaj hitro narašča število MHE, zlasti v zgornjem porečju Savinje, Meže, Sore, Soče, Tržiške Bistrice, izdelani pa so tudi projekti za energetsko oživitev večine alpskih vodnih tokov. Dolenjski in belokranjski vodni tokovi pa trenutno praktično niso hidroenergetsko izkoriščeni in celoviteje ovrednoteni.

Zgornje in srednje porečje Kokre predstavlja alpsko pretežno kraško porečje, ki ga označujejo strma pobočja, ki segajo celo nekaj nad 2500 m visoko. Prevladujejo torej strma, pretežno z gozdom poraščena pobočja, razrezana z ozkimi in globokimi grapami, dolinska dna, prekrita s kvartarnimi sedimenti pa so ozka in redko naseljena (prevladuje razpršena poselitev).

Srednja letna vsota padavin je nad 2000 mm, zaradi skromnega izhlapevanja, strmih pobočij in prevlado karbonatnih kamenin je odtočni količnik visok (65 - 75). Vodne tokove označujejo zlasti veliki strmci, a neenakomerni, hudourniški pretoki z značilnim nivalno-pluvialnim režimom. Zaradi snežne retinence je zelo poudarjen zimski nižek, ki presega poletnega ter spomladanski (nivalni) in jesenski (pluvialni) višek. Ugodno je dejstvo, da poteka električno omrežje po dolini Kokre, hidroenergetsko rabo pa ovira cesta Preddvor - Jezersko, ki poteka po ozki dolini. Zgornje in srednje porečje Kokre do Preddvora sodi v predlagani Savinjsko-karavanški krajinski park z naravovarstvenimi omejitvami za antropogene posege (Inventar..., 1976). Omejitve je potrebno upoštevati pri izboru lokacije in načinu gradnje MHE.

Po študiji lokacij malih HE v občini Kranj (Inženirski biro Elektroprojekt, 1984) je bilo 22 MHE, danes pa jih obratuje 12. V porečju Kokre jih je bilo 10, danes pa obratujejo le še tri. V študiji so hidrološko argumentirani razlogi za gradnjo šestih MHE v zgornjem porečju Kokre na novih lokacijah (3 Kokra, 2 Reka, 1 Jezernica), ki naj bi izkoriščali zlasti energetske zelo ugodne padce, bruto instalirane moči posameznih MHE pa bi bile od 2100 kW (srednja Kokra) do 100 kW (Reka). Gre za energetske sicer najbolj ugodne lokacije, vendar bi bilo potrebno pred izvedbo seveda podrobneje osvetliti tudi druge lokacijske vidike, zlasti naravovarstvene, ekonomsko-tehnične, bližino uporabnikov in investicijske možnosti. Preko Znanstvenega inštituta FF je v izdelavi študija, ki bo na željo IS SO Kranj nadaljevala proučevanje IBE-ja z alternativno celovito proučitvijo lokacijskih faktorjev tudi za gradnjo MHE z močjo do 50 kW, slonečih v večini primerov na lokacijah starih vodnih obratov. Njihova preureditev ne bi pomenila večjega posega v pokrajino, manjšo potrebno investicijo pa bi ob pomoči družbene skupnosti zmoželi tudi privatni sektor.

V okviru Inštituta za geografijo Univerze E. Kardelja v Ljubljani pa je v zaključni fazi večletna raziskovalna naloga o vodnih virih Bele krajine. Proučevali smo tudi možnosti za gradnjo MHE na belokranjskih vodah. Bela krajina (600 km^2) je pokrajina nizkega krasa, kjer prevladuje kraško odtekanje vode. Na površju so ostali le večji vodni tokovi. Osrednja belokranjska reka je pravzaprav Lahinja, ki se pri Primostku izliva v Kolpo. Za razliko od vodnih tokov alpske Kokre imajo belokranjske vode zelo skromen strmec ($0,5 - 1,0 \text{ ‰}$). Zaradi drugačnih pokrajinskih (zlasti klimatskih) potez pa prevladuje pluvio-nivalni rečni režim z nekoliko bolj poudarjenim jesenskim viškom in zelo izrazitim poletnim nižkom, ki je skoraj dvakrat nižji od zimskega. Za razliko od Kokre in njenih pritokov, zlasti pa zaradi izrazitejše kraške retinence in padavinskega režima so nihanja pretočnih koeficientov manj izrazita. Na belokranjskih vodah je bilo v preteklosti okoli 80 mlinov in žag, danes pa jih redno ali občasno obratuje le peščica (karta).

Glede na hidrološki potencial ima najbolj ugodne pogoje za MHE vodnata Kolpa, sledita ji Lahinja in Krupa. Za razliko od alpske Kokre in njenih pritokov so za energetske rabo ugodnejše pretočne vrednosti, strmec pa je zelo majhen. Tudi zaradi poplav pa bi bili le v izjemnih primerih jezovi na belokranjskih rekah višji od 2 - 3 m. Zaradi ekonomskih, obrambnih in naravovarstvenih razlogov sodimo, da bi bilo za MHE najbolj ugodno izkoristiti obstoječe jezove in vodne obrate (Prelesje, Vinica, Adlešiči, Krasinec, Križevska vas - Kolpa). Zaradi siceršnje plitve in široke struge, zlasti Kolpe, bi imeli jezovi tudi rekreacijsko vlogo (možnost kopanja, čolnarjenja), pa tudi ekološko (prezračevanje vse bolj onesnažene vode). Pri adaptaciji jezov in objektov pa bi bilo potrebno zlasti ob zgornjem toku belokranjske Kolpe še posebno pozornost nameniti pejzažno-estetskemu kriteriju. Z manjšimi spremembami bi lahko glede na pretočne razmere, bistveno povečali inštalirani pretok (vsaj na okoli $10 \text{ m}^3/\text{s}$), padec bi bil 2-3 m, moč MHE pa 100-150 kW. Izbor moči MHE je odvisen tudi od sposobnosti investitorja. Pri privatnih gradnjah bi bile MHE lahko tudi manjše (pod 50 kW).

Položajna energija masne enote tekočine je tista specifična oblika energije v začetni obliki, ki jo lahko vodni turbinski stroji preoblikujejo v mehansko obliko energije, to pa električni generatorji v električno energijo.

Razpoložljiva moč hidroenergetskega potenciala je odvisna od dveh vplivnih veličin, to sta izbrana instalirana pretočna količina in neto padec na obravnavani potencialni lokaciji MHE nekega vodotoka. Na velikost instaliranega pretoka vpliva naravna letna dinamika pretoka z najnižjo vrednostjo tako imenovane dvanajstmesečne vode (dvanajstmesečna voda je definirana kot količina pod katero ne pade kapaciteta obravnavanega vodotoka na leto za več kot deset dni - Horvat, 1965, str.244), karakteristike različnih tipov turbin pri obratovanju s spremenljivimi razpoložljivimi pretočnimi količinami, potrebe po instalirani moči in ne nazadnje investicijske sposobnosti zainteresiranih. Neto padec je posledica bruto padca na neki izbrani potencialni lokaciji, pri čemer je bruto padec geodetska razlika med najvišjo in najnižjo kvoto obravnavane lokacije nekega vodotoka. Neto padec določimo iz bruto padca tako, da od njega odštejemo v višinah vodnega stolpca izražene izgube specifične energije v dovodnem sistemu k turbini in v odvodnem sistemu od nje. Na velikost izbranega bruto padca vplivajo podobni faktorji kot na instalirano pretočno količino, to je potreba po instalirani moči, investicijska sposobnost in v praktično zanemarljivi meri dinamika spreminjanja izbranega bruto padca, ki je odvisna od dinamike pretočne količine.

S splošnega vidika družbene odgovornosti je potrebno težiti k čim smotrnejši izrabi razpoložljivih energetskih virov in s tem tudi razpoložljivih hidropotencialov vodotokov na katerih nameravamo graditi MHE, vendar so za tovrstne gradnje tudi izjeme, zaradi katerih pravkar omenjeni motiv ne more biti vedno primaren. Poleg že naštetih izhodišč za tehtanje odločitve o gradnji MHE moramo upoštevati investicijske sposobnosti interesentov ob

obravnavanem vodotoku, kar je že izrazita lastnost regije, v kateri je obravnavani vodotok. Ta investicijska sposobnost v sedanjih razmerah odločujoče vpliva na izbrane instalirane moči potencialnih in realiziranih lokacij za gradnjo MHE. Zavedati se moramo, da je tudi tako izhodišče zelo pozitivno, vendar mora postopoma z upoštevanjem vseh omejitev privedi do izhodiščnega načela kar najracionalnejše izrabe razpoložljivih hidro-potencialov.

Na velikost in število agregatov obravnavane lokacije MHE vplivajo torej tako naravne poteze z razpoložljivim potencialom kot tudi investicijska sposobnost, odvisna od ekonomskega položaja regije, pa tudi bližina uporabnikov oziroma električnega omrežja. Izhodišča pogojujejo tudi izvedbo ostalih komplementarnih elementov MHE. Sem sodita dovodni in odvodni sistem, jez, strojnica, sistem regulacije in upravljanja, električni distribucijski sistem ter ostala oprema.

Tehniška tradicija populacije v neki regiji lahko bistveno vpliva na odločitve o gradnji male HE in na delež lastne izdelave posameznih elementov.

Poleg hidroenergetskega potenciala vodotoka ima na tehniške rešitve MHE pomemben vpliv tudi kemična sestava vode, zlasti zaradi usedanja karbonatov.

Značaj porabnikov električne ali mehanske energije vpliva na mnoge konstrukcijske posebnosti same turbine. Pri porabnikih mehanske energije praktično skorajda nimamo zahtev po stalni vrtilni hitrosti turbine, pač pa je konstantna vrtilna hitrost zahtevana pri pogonu generatorjev.

Frekvenca izmeničnega toka, ki jo daje električni generator, je tolerančno pogojena in se sme gibati v intervalu $50 \text{ Hz} \pm 0,5 \text{ Hz}$. Zato je glavna naloga turbinskega regulatorja vzdrževati stalno

vrtilno hitrost turbine. Seveda so karakteristike regulacije zahtevnejše pri samostojnem otočnem obratovanju kot pa pri paralelnem delu na mreži. Pri zadnji varianti vzdržuje frekvenco sama mreža, seveda če je dovolj močna, kar je razen v redkih primerih izpolnjeno. Glede na omenjena tipa obratovanja izberemo tudi ustrezen generator. Samostojno otočno obratovanje zahteva sinhronske generatorje z vsemi spremljajočimi elementi, kot so sistem vzbujanja generatorja, regulacija napetosti itd., medtem ko za paralelno delo na mrežo zadoščajo asinhronski generatorji, to so standardni asinhronski motorji, ki jih turbina žene z vrtilno hitrostjo, ki je večja od sinhronske vrtilne hitrosti. Proizvajalec tovrstnih generatorjev oziroma elektromotorjev "Gorenje SEVER" iz Subotice je pripravil tudi varianto asinhronskih generatorjev s kondenzatorskim vzbujanjem za samostojno obratovanje, vendar je ta izvedba z aspekta kvalitete električne energije (jalova energija) slabša kot sinhronska varianta, je pa cenejša od nje.

Način obratovanja vpliva na način regulacije MHE: Pri delu na mrežo poznamo kot najugodnejši varianti, varianto blokirane obratovanja s stalno močjo in frekvenco in varianto reguliranja moči pri stalni frekvenci, kjer agregat izravnava proizvedeno energijo s potrebami mreže. Pri več agregatih v MHE imamo lahko skupen regulator ali individualne regulatorje. Pri otočnem obratovanju je nujno reguliranje frekvence, to je reguliranje vrtilne hitrosti turbine. Sistem reguliranja in vodenja je močno odvisen od moči agregatov oziroma moči MHE. Pri majhnih močeh je težnja po enostavnosti in avtonomnosti, pri večjih močeh, ki so zanimive tudi za stabilnost lokalnih mrež elektrogospodarstva, pa je izhodišče popolna avtomatizacija obratovanja s centralnim vodenjem.

Brez dvoma sodi izgradnja MHE glede na možnosti zainteresiranih v velika investicijska vlaganja. Zato se moramo posluževati

ustreznih ekonomskih kriterijev za oceno ekonomske upravičenosti gradnje MHE, kot so npr. specifična cena proizvedene cene električne energije v MHE, ki mora biti manjša od specifične cene električne energije vzete iz distribucijske mreže, kriterij amortizacijske dobe z izračunom časa izenačenja investicije z amortizacijo (Eržen, 1983, str. 32, 33), izračun upravičenosti z obrestno-obrestnim oz. rentnim računom itd.

Applikacija splošnih zakonitosti je izvedena za dva karakteristična, po parametrih hidroenergetskega potenciala si zelo nasprotujoča primera. To je primerjava med razpoložljivim hidropotencialom Kolpe z nizkimi neto padci in velikimi pretočnimi količinami s hidropotencialom Kokre z izrazito velikimi neto padci in manjšimi pretočnimi količinami. Tudi letna dinamika spremenljivosti pretočnih količin je za oba primera različna. Nižinska, a vodnata Kolpa ima minimalne pretoke v poletnih mesecih (Plut, 1984). Nekateri pritoki Kokre pa v zimskih mesecih povsem usahnejo zaradi zmrzali, kot n.pr. Jezernica (Plut, Kompore, 1984).

Pri oceni ugodnosti gradnje MHE z aspekta instalirane moči in letne proizvodnje električne energije kaže izdelati skrbno primerjavo med dinamiko pretočnih količin z eventualnim upoštevanjem dinamike spreminjanja bruto oziroma neto padca na nižinskem vodotoku Kolpe z njenimi pritoki z dinamiko potrebne proizvedene električne moči. Neusklajenost teh dveh dinamik lahko zmanjša upravičenost gradnja MHE na nekaterih vodotokih. Tak primer je z tega gledišča lahko prtok Kokre-Jezernica, kar smo že omenili.

Od izbranega bruto oziroma neto padca in od konfiguracije terena je odvisna izvedba doseganja tega padca in varianta dovoda vode do turbine. Na Kolpi z že izgrajenimi jezovi je ugodna namestitve turbin neposredno ob jez. Tako postane tudi strojnica integralni del jezu in gradnja MHE le malo spreminja že obstoječo podobo jezu in bližnje pokrajine. Taki gradnji ustrezajo tudi cevne turbine propellerskega tipa (Kompore, 1984), ki jih narekujejo že razpoložljive hidrološke vrednosti. Če želimo pri teh

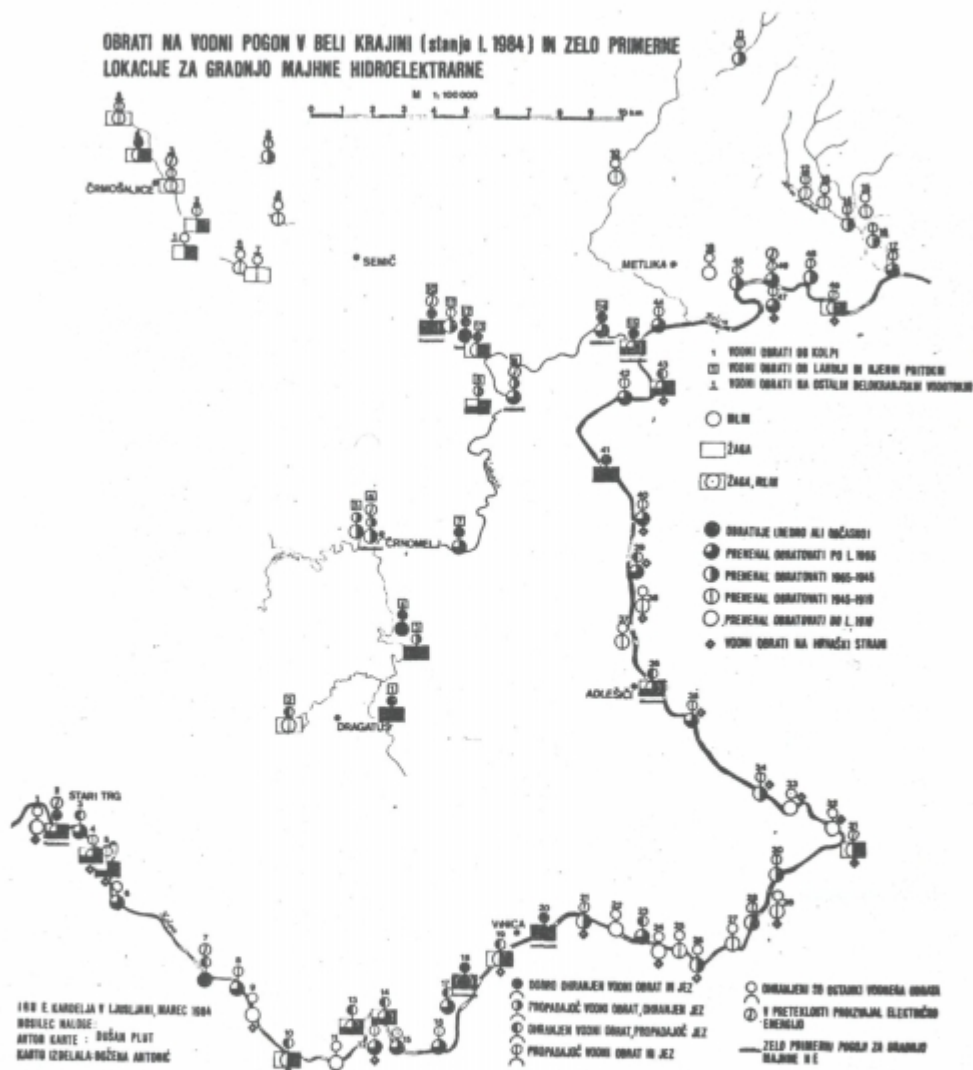
pogojih uporabiti standardne tipizirane cevne turbine TZ Lito-stroja ali Inštituta za turbinske stroje (Šolc, 1983, str. 36, 50, 51), moramo za celotno izkoriščanje razpoložljivega instaliranega pretoka, ki znaša npr. pri Radencih $9,6 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri Metliki $13,92 \text{ m}^3/\text{s}$, pri razpoložljivem neto padcu brez dviganja krone obstoječih jezov okoli 2 m, uporabiti večagregatne variante malih HE (Kompore, 1984). Tak koncept izvedbe male HE je ugoden tako z eksploatacijskega vidika (obratovanje glede na letno dinamiko pretočnih količin), kot tudi z investicijskega vidika (možnost postopne izgradnje MHE). Na alpskih vodotokih katerih vzorčni primer je Kokra, imamo na razpolago velike bruto in neto padce (poročilo IBE, 1984), ki imajo velikostni razred med 50 in 100 m. Pretočne količine z instalirano vrednostjo se gibljejo med $0,3$ in $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ na pritokih Kokre in v njenem zgornjem toku (pred sotočjem z Jezernico), v spodnjem toku Kokre pa dosega do $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ti razpoložljivi parametri omogočajo tako izvedbo velikih moči z aspekta malih HE z izkoriščanjem velikih neto padcev kot tudi izvedbo manjših moči z izkoriščanjem manjših padcev. Velikim bruto padcem ustrezajo zaježitve z visokotlačnimi cevovodi, ki so po potrebi v začetnem delu dovodnega sistema lahko izvedeni kot delno nizekotlačni dovodni sistem v obliki dovodnega kanala, ki se pred turbino nadaljuje v visokotlačni cevovod. Pri manjših bruto padcih imamo lahko nizkotlačne cevovode ali pa odprte dovodne kanale. Slednji pridejo zlasti v poštev pri že izgrajenih objektih, ki jih je potrebno le obnoviti. Za dovodne cevovode lahko izbiramo različne materiale. Cevovodi so lahko jekleni (brezšivne cevi, varjene cevi), betonski, salonični, plastični (Šolc, 1983, str. 103) in leseni (Horvat, 1965, str. 285). Zlasti za alpski svet in samogradnjo ne bi pri manjših močeh smeli zanemariti lesenih cevovodov opasnih z jeklenimi obroči, ki jih je možno narediti in sestaviti na mestu lokacije iz relativno cenene gradiva, ki je na razpolago. Na vodotokih alpskega značaja pridejo v poštev jezovi, ki oblikujejo majhen prag z odvodom vode v derivacijo in jezovi, ki nekoliko dvignejo

gladine vode za njimi in oblikujejo delno akumulacijo. Pri majhnih enotah na pritokih Kokre bi v gotovih primerih kazalo oblikovati manjše akumulacije (dnevna akumulacija), ker bi to bil eden izmed ukrepov delne odprave neusklajenosti letne dinamike razpoložljivih pretokov glede na letno dinamiko porabe električne energije. Od turbinskih tipov pridejo v poštev peltonove turbine iz tipiziranih vrst Inštituta za turbinske stroje in litostroja ter tipizirane francisove špiralne turbine že omenjenih proizvajalcev (Šolc, 1983, str. 26, 31, 41, 42, 43). Iz aspekta investicijske ugodnosti in možnosti samogradnje pa bi vsaj v začetku izgradnje dali prednost v porečju Kokre bankijevim turbinam, kljub temu pa so v hidravličnem in energetskem smislu manj ugodne od predhodnih dveh naštetih tipov. Tovrstne tipizirane turbine izdeluje Elektrokovinar iz Laškega (Šolc, 1984, str. 54), so pa kot rečeno zelo ugodne tudi za samogradnjo.

Ker imajo vodotoki porečja Kokre bogato tovrstno tradicijo, kaže v prvi fazi izgradnje MHE na tem porečju najprej obnoviti obstoječe objekte. Na pritokih zgornje Kokre lahko nastopi gotova posebnost zaradi vsebnosti lahko izločljivih karbonatov v vodi. V takih primerih moramo izvesti dovodni sistem z možnostjo čiščenja, kot turbine pa imajo absolutno prioriteto enakotlačni turbinski stroji, to so peltonove in bankijeve turbine, prav zaradi lahkega izločanja karbonatov iz vode.

Kot smo že omenili, zahteva gradnja MHE relativno velika vlaganja. Zato predlagamo v začetni fazi izgradnjo in obnovo manjših moči z uporabo cenениh materialov ob kar najenostavnejših po tehniški kvaliteti še dopustnih rešitev z močnim poudarkom na samogradnjo. Ta korak se nam zdi zlasti opravičljiv v porečju Kokre z mnogimi ohranjenimi ali delno ohranjenimi objekti z bogato tradicijo. Tudi porečje Kolpe ima mnogokje ugodna izhodišča za pričetek gradnje MHE, zlasti na mestih obstoječih jezov in ostalih vodnih obratov. Pri takšnih za razmere MHE

**OBRATI NA VODNI POGON V BELI KRAJINI (stanje l. 1984) IN ZELO PRIMERNE
LOKACIJE ZA GRADNJO MAJHNE HYDROELEKTRARNE**



"gigantskih" jezovih (dolžine preko 50 m) je že izgrajen jez brez dvoma več kot vzpodbudna osnova za gradnjo MHE, saj izgradnja jazu v teh razmerah brez dvoma predstavlja vsaj polovico celotne investicije. Elektrostrojno opremo je zaradi izbranih večagregatnih izvedb možno zgraditi postopno.

V Sloveniji in Jugoslaviji imamo na razpolago tipizirano elektrostrojno opremo za MHE z vsemi spremljevalnimi elementi, kot so razna zspirala, cevovodi ipd. Ta paleta elementov MHE ob ugodnih hidroenergetskih potencialih, na kar kaže zgodovina vodnih obratov, in tehnični kulturi prebivalstva s pripravljenostjo za samogradnjo, brez dvoma predstavlja ugodno osnovo za razcvet gradnje MHE tudi ob ekonomsko ugodnih pokazateljih. Izgradnja prve faze manjših MHE pa bi nujno morala motivirati gradnjo večjih MHE z združevanjem sredstev združenega dela, ustreznih samoupravnih interesnih skupnosti in drugih zainteresiranih organov družbenopolitičnih skupnosti ter privatnega sektorja. Tako izgrajeni sistem MHE pa bi predstavljal ustrezen komplementarni sistem integralnega sistema električnega distribucijskega omrežja, zgrajen ob upoštevanju in vrednotenju niza lokacijskih faktorjev (hidrološki, naravovarstveni, narodno-obrambni, ekonomski, tehnični, tehnološki).

Literatura

1. Eržen J., 1983: Mali turbinski hidroagregati, Diplomaska naloga višješolskega študija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana (tipkopis).
2. Gregorič L., 1978: Standardizacija malih vodnih turbin, raziskovalna naloga RSS, št. 2-229/2044-76, Ljubljana.
3. Horvat R., 1965: Vodne turbine, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
4. Knapp B., 1979: Elements of Geographical Hidrology, London, str. 85.

5. Kompare M., 1984: Tehniški vidiki izbora lokacij majhnih hidroelektrarn v Beli krajini, Ljubljana (tipkopis).
6. Kompare M., 1984: Tehniško ekonomski vidiki izgradnje malih HE v alpskem svetu, Ljubljana (tipkopis).
7. Plut D., Kompare M., 1984: Delno poročilo o pokrajinskih vidikih lokacije in gradnje malih HE v porečju Kokre, Ljubljana (tipkopis).
8. Plut D., 1984: Vode v Beli krajini in njihova uporaba, Ljubljana, tipkopis.
9. Požar H., 1979: Izvori energije, Zagreb, str. 275.
10. Premrou V., 1980: Gradnja manjših HE za potrebe SLO in vpliv na okolje. Naše okolje 1979/3-4, Ljubljana, str. 156-160.
11. Radinja D., 1979: Geografsko raziskovanje vodnih mlinov in mlinarstva na Slovenskem, tipkopis, Ljubljana, str. 30.
12. Radinja D., 1966: Geografska problematika hidroenergetskega izkoriščanja Soške doline, Geografski obzornik 1966/3-4, str. 98 - 104.
13. Struna A., 1955: Vodni pogoni na Slovenskem, Ljubljana, str. 449.
14. Šolc L., 1981: Zgradimo majhno hidroelektrarno (Prvi, drugi del), Ljubljana, str. 61.
15. Šolc L., 1983: Zgradimo majhno hidroelektrarno (tretji del), Ljubljana, str. 107.
16. Zbornik konference, 1984: Proceedings of the conference on fluid machinery and flow measurements, Volume 2, Turboinštitut, Ljubljana.

UDC 91:627 (662.1):504.6 = 20

D.Plut, M.Kompare

SELECTION OF SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS LOCATION ON THE BASIS OF LANDSCAPE AND TECHNO-ECONOMIC ASPECTS (THE CASE OF KOLPA-LOW KARST AND KOKRA-HIGH KARST)

Summary

Small hydroelectric power plants became very important because of energy crisis, rapid growth of human environmental pollution, electric production, self people's resistance interests and national defence aspects. Small water streams are predominating in Slovenia because of distinctive relief dispersion. And these streams are suitable for small hydroelectric power plant location. About 4,000 mills and saw mills were operating on these streams in Slovenia before the second world war, but today just few of them.

Small hydroelectric power plant location is an antropogenic encroachment into landscape. Therefore it is necessary to select its location and to consider beside its techno-economic indecies also its regional (landscape) aspect. Multipurpose principle must be the main principle in water encroachments.

The basic location factor is hydrologic one: slope, river bed inclination, flow. But it is also need to stress other natural and sociogeographic characteristics of river basin, such as determination of other water uses, and water ecologic sensibility of river basin landscape.

The river basin structure and its dynamics analysis must be followed by water network analyses, particularly its slopes and flows. It is necessary to calculate its gross and net flow potencial. Further step in hydrologic assessment of small electric power plant location is to register existing and abundant water works.

At the end of landscape assessment we need to confront the following factors of location:

- preservation aspect;
- allocation of possible users and energetic network;
- water requirements of other water users;
- national defence aspect.

Because of Slovenian landscape colourfullness we need to examine very closely specific river basin and river flows characteristic of plant location.

Irregular flow is the main characteristic of alpine river basin of Kokra, and small slopes and bigger flows for river basin of Belokranian river Krka.

Different landscape structure of river basins, their water users and natural preservation restrains are among the basic factors for plant location and machinery appliances. Installed flow and net slopes are determining number and type of turbine aggregates. The nature of energy consumers (closeness of settlements and electric network with connecting possibility) is affecting the nature of operating. It can function as an entirely independent appliance (isolated operation), or with connection to existed

electric network, or it can operate in combination. The nature of plant work is determining selection of electric generator (synchronous, asynchronous with condensers-induction, or without it) and partly also its mode of regulation, with the type of regulator.

Defense and natural preservation aspects are affecting engine house location (under surface ground, or dug in). Discussed aspects are affecting also construction of inlet-pipe.

And at last we must consider also financial capability of social and private sector, for it is need to invest a lot of money in to hydroelectric power plant. National industry already developed necessary electric appliances of high standard, so we can give more opportunities to practice with them.