



KTH Mark- och vattenteknik

Rehabilitering av vatten- och strandbiotoper genom ekoteknik – objektprioritering med stöd av fjärranalys och GIS

**Identification and prioritising of biotopes potentially suitable for rehabilitation
along regulated rivers in northern Sweden using remote sensing and GIS**

Gunno Renman
Duncan McConnachie
Sindre Langaas
Jenny McCarthy

Slutrapport
Kungl Tekniska Högskolan

Stockholm 2003

Sammanfattning

Vattenkraften är en mycket viktig del av svensk energiförsörjning. Även om vattenkraften kan betraktas som en ”ren” energikälla så har den effekter på miljön som t ex störningar i älvarnas naturliga funktioner och processer. Biotoper med sina innehåll av mikrohabitat och nischer är en förutsättning för många växt- och djurarters existens. Störda biotoper i reglerade älvar kan rehabiliteras om man tillämpar ekotekniska metoder.

Ur ett systemekologiskt perspektiv konstituerar de organismer som skapar en homogen ö (eng: patch) en biotop. Dessa biotoper bygger i en mosaikstruktur upp hela landskapet, där gränssnitten mellan olika biotoper (ekotoner) karakteriseras av förändringar i både artsammansättning och transformationen av energi, vatten och andra ämnen. Vattendrag och dess stränder bildar korridorer i landskapet som åtminstone i Norrland tycks fungera som livsnerv genom i övrigt karga landskap. Utspridda, mer sällsynta biotoper, kan därigenom ha en naturlig kontakt med varandra vilket är allra viktigast för de organismer som lever där.

Detta projekt skapades i syfte att utveckla ett rumsligt beslutsstödsystem för att identifiera och kvantifiera biotoper lämpliga för rehabilitering längs reglerade älvar. Databasen och det GIS som upprättades syftade också till att ge underlag för studier av älvarnas korridorfunktion.

En sammanhängande biotopkarta skapades längs en 215 km lång sträcka av Ljusnan, genom en ny och avancerad metodik som bygger på en kombination av GIS, satellitbaserad fjärranalysdata och s k beslutsträdanalys. Traditionella metoder för biotopkartläggning är långsam och arbetsintensiv. Den här presenterade metoden har sin styrka i att uppföljningar kan göras regelbundet och därmed ingå i ett kostnadseffektivt övervakningssystem. Beslutsträdalgoritmer har en signifikant potential inom detta område, särskilt med hänsyn till att älvkorridorer oftast utgör mycket fragmenterade landskap.

Flera tematiska lager från en digital höjdmödel (topografiskt fuktighetsindex, lutning), Landsat-/ ETM+ data (vegetationsindex, principal komponent analys) och andra tillhörande GIS lager (avstånd, gräns för 100 årsflöde, etc.) kombinerades och behandlades med hjälp av en mjukvara, KnowledgeSTUDIO™ beslutsträd. En serie av hierarkiska två-klass beslutsträd genererades och användes sedan för sammanställning av ett set av klassificeringsregler. Tolkningen av dessa regler resulterade i en klassificerad biotopkarta (nio klasser). En genomsnittlig överensstämmelse med valideringsdata på 50% erhöles efter en korrigering som var nödvändig på grund av fel vid fältmätningen. Om man frångår den statistiska metoden för

riktighetsbedömning och jämför fältdata och ortofoto med den digitala biotopkartan får man betydligt högre noggrannhet. Slutsatsen är att den prövade metodiken har en betydande potential för kartläggning av biotoper, och därmed för en långsiktig, uthållig skötsel av strand-korridorer längs reglerade älvar i norra Sverige. Att studera reglerade älvar med detta koncept kan också ge en annan bild av kvarvarande, av vattenkraften opåverkad natur, än den som vanligtvis framställs.

Mer information om resultaten finns på hemsidan:

<http://www.lwr.kth.se/Forskningsprojekt/stem/index.htm>

Summary

With the help of GIS and Remote Sensing, together with additional existing and collected landscape data, a method has been developed which enable the analysis and interpretation of a rivers natural and potential biotope structure (biotope = distinctive area with specific plant and animal communities). This can lead to the basis for a large-scale and widely applicable decision support system to evaluate where, when and how the rehabilitation of biotopes and riparian zones along regulated rivers in Sweden can be carried out. The area of interest is limited to the river course and its adjacent surroundings. This comprises a corridor of higher biological diversity. The corridor, in this project, is defined as that area that at some stage can be flooded (100-year flood) plus a 200m horizontal (Euclidean) distance from the highest water line. When, for example, the hydropower companies apply for their operation permits to be renewed, it is valuable to have a comprehensive and objective overview of the watercourse and the measures that can be taken to improve the environmental conditions.

A methodology to achieve the above stated goal was developed. For this purpose ArcView, ArcInfo and IDRISI GIS software has been used in our analysis. A Landsat TM 7 satellite scene from July 2000 has also been acquired, which covers the main part of the Ljusnan River's drainage basin, the study area. The Landsat data has a resolution of 30 metres and has been used as the basis for the biotope classification scheme (derived layers include NDVI image, False Colour Composite, etc.). A Digital Elevation Model (DEM) has also been used to generate thematic layers, such as slope, topography, relative elevation to distance from river image and a topographic wetness index for the study area. Other valuable digital data to be incorporated into the model includes road data, dam locations and the Pilot-GIS dataset. The latter was obtained from local authorities and includes, amongst other things, SMHI data (100-year flood level) for the Ljusnan River. This modelling data was combined with the reference data from field maps of smaller detailed areas, GPS-measurements and interpretation of black-and-white orthophotos, obtained from Landmåteriverket (National Land Survey).

For the field data collection, a total of 20 random sample points were generated in the middle and lower regions of the Ljusnan River. These were limited to areas within the SMHI 100 year flood zone. From the 15 points that were accessible, a precise transect was walked in a northerly, easterly, southerly and westerly direction. At 30 meter intervals along each transect, a biotope classification and its corresponding coordinates was recorded. The primary purpose for this field data collection was for validation data to be used at a later period. Reference data, collected primarily from digital orthophoto interpretation, has served as the basis for the creation of a preliminary, GIS-based classification. This classification is less detailed than the ecological classification that can be obtained from more extensive field investigations, due to remote sensing limitations. The investigation showed that within this area, a

large number of biotopes can be detected and classified. From the obtained pattern, it is possible to evaluate the ecological function of the river corridor. Altered biotopes can in many cases be rehabilitated with small measures when environmental protection and energy production is coordinated. The conclusions from the study showed that the method proposed is well suited to roughly differentiating biotopes and their connectiveness with each other, and that for every regulated river, it is possible, for example, to control the ecological functioning through the information in the created database.

For further information, see homepage:

<http://www.lwr.kth.se/Forskningsprojekt/stem/index.htm>

Förord

I juni 1999 beslutade Statens Energimyndighet att genomföra ett treårigt kollektivforskningsprogram ”Vattenkraft-miljöeffekter, kostnader och åtgärder i nu reglerade vatten tillsammans med Elforsk AB, Fiskeriverket och Naturvårdsverket. Projektet ”Rehabilitering av vatten- och strandbiotoper genom ekoteknik – objektprioritering med stöd av fjärranalys och GIS” erhöll stöd under Etapp I av nämnda forskningsprogram. Medel söktes ej för deltagande i Etapp II. Projektet har syftat till att lösa frågor kring hur förlorade miljövärden i reglerade vatten lokalt och regionalt skall kunna förbättras med användande av ekoteknik, samt att skapa underlag för hur vattenkraft skall kunna bedrivas effektivt i förhållande till nationella miljökvalitetsmål.

Projektet har bedrivits vid Institutionen för mark- och vattenteknik, KTH, med undertecknad som projektledare. Medlen räckte inte för en doktorandtjänst och fördelades därför till en projektanställning för Duncan McConnachie. Vi hoppas att resultaten av detta projekt ska väcka intresse hos många, inte minst hos potentiella användare av produkten, dvs den metodik vi använt och utvecklat. Metoden borde ha en given framtid särskilt i belysning av att bättre underlag, t ex bättre upplösning hos satellitdata, blir tillgängliga. Ett önskvärt projekt vore att få studera Umeälven och Vindelälven. Umeälven skulle studeras som ett utbyggt vattendrag med avseende på biotoper och rehabilitering medan fokus på Vindelälven skulle vara riktat mot andra typer av påverkan och rehabilitering.

Gunno Renman

Innehållsförteckning

Sammanfattning

Summary

Förord

1. Inledning

1.1 Mål

1.2 Fallstudieområde: Ljusnan

2 Metoder för att identifiera biotoper

3 Data

3.1 Data tillgänglighet

3.1.1 Höjddata

3.1.2 Fjärranalysdata

3.1.3 Data från länsstyrelsen i Gävleborg – pilot-GIS

3.1.4 Ortofoton

4 Metodik

4.1 Översikt

4.2 Klassificeringssystem

4.3 Referensdata

4.4 Utveckling av modellen

4.4.1 Oberoende data

4.4.2 Beslutsträd

4.4.3 Generering av regel rapporter

4.4.4 Applicering av regler

5 Resultat

5.1 Utvärdering av metoden

5.2 Objektprioritering för rehabiliteringsåtgärder

6 Diskussion

7 Slutsatser

8 Referenser

Erkännanden

1. Inledning

Vattenkraften spelar en mycket viktig roll för Sveriges kraftförsörjning. Samtidigt innebär vattenkraftutbyggnad ingrepp i naturen med förändringar av de naturliga ekologiska förhållandena som följd. Förändringarna äger rum på en mängd olika skalor, från påverkan på enskilda organismer till förändringar i vatten- och materialtransporter. I aktionsplanen för biologisk mångfald framhåller Naturvårdsverket att tre påverkansfaktorer dominerar för sjöar och vattendrag: vattenreglering, försurning och övergödning. Det framhålls att metoder för att förbättra den biologiska mångfalden i samband med omprövning av gamla vattendomar bör tas fram. Omprövning av vattendomar med syfte att stärka skyddet av den biologiska mångfalden bör ske kontinuerligt enligt Naturvårdsverket som också anser att kostnaderna för restaurering/återställning bör finansieras av vattenregleringsföretagen.

Det både kvalitativt och kvantitativt största hotet mot den biologiska mångfalden på jorden anses vara förlusten eller förstörelsen av biotoper. Det finns många exempel på hur biotoper och därmed deras växt- och djurarter gått förlorade. Biotoper, en eller flera, med deras innehåll av ståndorter, nischer, och habitat utgör förutsättningarna för arters existens. Direkt eller indirekt antropogen påverkan kan väsentligen förändra livsbetingelserna för ekologiskt särskilt känsliga arter.

Ur ett systemekologiskt perspektiv konstituerar de organismer som skapar en homogen ö (eng: patch) en biotop. Dessa biotoper bygger i en mosaikstruktur upp hela landskapet, där gränssnitten mellan olika biotoper (ekotoner) karakteriseras av förändringar i både artsammansättning och transformationen av energi, vatten och andra ämnen. Vattendrag och dess stränder bildar korridorer i landskapet som åtminstone i Norrland tycks fungera som livsnervar genom i övrigt karga landskap. Utspridda, mer sällsynta biotoper, kan därigenom ha en naturlig kontakt med varandra vilket är allra viktigast för de organismer som lever där (jfr With et al., 1997). I KNIV-projektet togs ett underlag fram för användning av biotoper som naturvärdeskriterium vid omprövning av villkor för vattenkraftanläggningar (Renman, 1998). Arbetet inriktades i första hand på användning av vegetation som bas för biotopindelning och skapande av kriterier. Indelningen av främst terrestra biotoper har skapats med tanke på möjligheten att utveckla automatisk klassning av biotoper i satellitbilder och anpassning av denna till behandling i ett geografiskt informationssystem (GIS).

I den äkta vattenmiljön dvs i området under det lägsta lågvattnet, kan det vara svårt att tillämpa biotopbegreppet, men högre upp på stranden är detta fullt möjligt. Strandbiotoper är så pass särpräglade att de kan lätt urskiljas mot angränsande, rena landbiotoper. Strandbiotoper är därför en bra utgångspunkt för framtagande av naturvärden. Begreppet ekoton bör dock också användas särskilt när man diskuterar vattenkraftspåverkade vattendrag. I dag begränsas diskussionerna oftast till den

"förlorade stranden" och förlusten av biologisk mångfald, varvid man glömmer den nya ekoton som skapats och det växt- och djurliv, materialflöden, energiflöden m m som där byggs upp och underhålls. Biodiversiteten är ofta hög i ekotoner vilket beror på många processer, inom ekotonen själv och på dess närhet och funktionella knytningar till angränsande ekologiska system. Det bör särskilt poängteras att enskilda strandbiotoper och ekotoner i allmänhet inte är intressanta ur bevarandesynpunkt. Framstående landskapsekologer framhåller GIS och fjärranalys som värdefulla instrument för ekoton-studier (Naiman & Décamps, 1990; Turner, 1990; Holland et al., 1991).

Vid omprövning av vattenmål bör en helhetssyn finnas på så sätt att biotoper eller artförekomster inte betraktas enskilt utan i ett större sammanhang, t ex som förekomster inom avrinningsområden eller älvsträckor. Vid omprövningar som berör längre sträckor bör "älvkorridor-översikter" göras. För att kunna hantera all information och göra den tillgänglig för alla aktörer, inte minst prövningsinstanser, är det nödvändigt att hitta ett instrument för detta som kan vara användbart långt in på 2000-talet. Biotoper har en rumslig utbredning vilket gör dem lämpliga att tolka i satellitbilder (upplösning 10-100 m). Biotoper (vegetationen, marken) ger upphov till olika reflektion i olika band vilka registreras av satelliten. På så sätt kan framförallt större biotoper tolkas (Jfr Borešjö Bronge, 1993). Med kännedom om kraven på miljö som olika biotoper har, kan också annan terrängdata t ex sluttningprofil, sluttningläge, omgivande biotoper, grundvattenläge, användas för utvärdering av biotopförekomster och biotopövergångar. Med dessa data föreliggande i digital form, kombineras sedan i ett GIS satellitdata och andra nyckelfaktorer i landskapet varvid en avancerad tolkning kan göras (jfr Erickson et al., 1998; Janauer, 1997; Swetnam et al., 1998). En av fördelarna med detta arbetssätt är att det möjliggör verifiering av olika scenarior men också att biotoputvecklingen (och därmed art-nisch förekomster) kan följas i tiden. I förlängningen kan ett beslutstödssystem utvecklas som kan innehålla rutiner för exempelvis "hot-spot" identifiering, scenariobeskrivning, sårbarhetsanalyser eller ett "early-warning system".

Vattenfall har utvecklat den s k biotopmetoden för att beskriva den ekologiska förändringen mellan situationen före respektive efter vattenkraftsregleringen (Blümer & Kyläkorpi, 1998). Metoden baseras på kartering, klassning och värdering av utnyttjade biotoper, bl a med hjälp av ArtDatabankens förteckning på rödlistade arter. Detta visar att det finns behov av beslutstödssystem för att identifiera områden som ska omfattas av rehabiliteringsåtgärder.

Ett digitalt beslutstödssystem är en informationsteknik som identifierar möjligheten att med datorns hjälp erbjuda stödfunktioner för beslutsfattaren (Lein, 1997). Stödfunktionerna innehåller tillgänglighet till data och modeller för att identifiera, studera och formulera ett problem, och erbjuder avancerade analytiska rutiner som bistår i utvärdering av alternativ och testning av lämpligheten i ett beslut innan man beslutar om handling eller val. Förståelsen för tekniken erbjuder möjligheter att utnyttja databaser via GIS och koppla data och modeller för att utöka typen av problemställningar som kan behandlas.

Strategier för design av beslutstödssystem finns angivna i litteraturen (Sage, 1991; Sprague och Carlson, 1982; Mitta (1986). De olika delstegen innehåller i) specifikation av systemkrav, ii) konceptuell modell, iii) logisk design och

specifikation, iv) detaljerad design och tester, v) implementering, och vi) utvärdering och modifiering.

Det nu genomförda projektet ”Rehabilitering av vatten- och strandbiotoper genom ekoteknik – objektprioritering med stöd av fjärranalys och GIS” har som generellt mål att med nya metoder öka kunskapen om möjligheterna att på bästa sätt ta tillvara och förbättra naturvärden i de reglerade vattendragen. Många biotoper längs de reglerade älvarna har försvunnit, skadats eller förändrats. Detta har inneburit en förlust i biologisk mångfald. Å andra sidan har en del nya biotoper skapats som en följd av vattenregleringar, kanske i unga successionsstadier instabila miljöer med hög omsättning av arter men på längre sikt intressanta miljöer för växter och djur. Dammbyggnader och reglering långt över den forna, naturliga stranden, har fragmenterat den kantzon (ekoton) som omger båda sidor av ett vattendrag.

Nu finns det möjligheter att rehabilitera biotoper där ämnesområdet ekoteknologi är en central inriktning. Tillämpad forskning där man utvecklar metoder att t ex överföra ”dött land” till våtmarker bör vara intressant i det program som Energimyndigheten ansvarar för. Men för att bestämma vilka områden längs ett reglerat vattendrag som skall komma ifråga ur bl a aspekterna kostnad, mångfaldseffektivitet och ekologisk funktion, måste ett urvalssystem skapas. Med hjälp av satellitbilder och andra data kopplade till ett GIS kan man göra utvärderingar och funktioner för beslutstöd.

Traditionell satellitbildstolkning av markanvändning bygger på bildernas spektrala egenskaper i olika våglängdsband. Intresset för objektorienterade klassningsmetoder där satellitdata och annan tematisk data integreras genom ett regelsystem växer (e.g. Wu et al., 1988; Congalton et al., 1993; Zeff and Merry, 1993). I ett regelsystem (expertsystem) kan satellitdatan användas i form av enskilda våglängdsband eller i form av index som framhäver en viss egenskap eller kategori, i kombination med den tematiska datan. Exempel på tematisk data som kan vara intressant i en landskapsstudie är geologi, jordart, topografi, sluttning, sluttningsriktning, grundvattenläge, vattenståndsvariation och närhet till vattendrag. Kriterier för klassificeringen kräver expertkunskap och med hjälp av expertsystemet kan villkoren kombineras till en markanvändningskarta. Regler formuleras i satser av typen (IF...villkor1 ... and if villkor2....THENurval).

På landskapsskalan har mosaikstrukturen av biotoper och gränzoner (ekotoner) och dess inbördes topologi rönt intresse inom ekologin (Holland et al., 1991; Ruzicka, M., 1993). Att använda objektorienterade metoder för biotop/ekotonklassningar har testats i några studier men är inte vanligt förekommande (t ex Gumbricht et al., 1996). Övergången mellan olika biotoper i landskapet är sällan skarpa och tydliga för ögat, istället sker en gradvis övergång. Detta kräver särskild hänsyn vid en klassificering av biotoperna. Den spatiala upplösningen av satellitbilderna har också stor betydelse. I övergångszoner blir pixlarna blandade, de kan t ex bestå av flera vegetationstyper och vatten och ge en unik spektral signatur. Detta är ett välbekant problem och på senare år har metoder för att lösa det beskrivits i litteraturen (Foody, 1996, 1998; Bastin, 1997; Maselli et al., 1996). Ekotoner är dessutom inte statiska element i landskapet, utan är dynamiska och följer årstidsvariationer.

Inom ämnesområdet landskapsekologi har många mått på landskapets former utvecklats, med nära koppling till geografiska informationssystem. Exempelvis kan

fragmenteringsgraden i landskapet uppskattas med utgångspunkt i den klassade markanvändningskartan. Enkla mått som längden på biotopgränsens perimeter kan användas, men också mer avancerade som t ex Shannons Diversity Index (McGarigal and Marks, 1993).

Projektet har vidare haft som generellt mål att med nya metoder öka kunskapen om möjligheterna att på bästa sätt ta tillvara och förbättra naturvärden i de reglerade vattendragen (Ett nummer av tidskriften *Regulated Rivers: Research and Management*, Vol. 12, nr 4-5 1996 ägnades åt rehabilitering av reglerade vattendrag)(Alpert et al., 1999; Ward et al., 2001) . Många biotoper längs de reglerade älvarna har försvunnit, skadats eller förändrats. Detta har inneburit en förlust i biologisk mångfald. Å andra sidan har en del nya biotoper skapats som en följd av vattenregleringar, kanske i unga successionsstadier instabila miljöer med hög omsättning av arter men på längre sikt intressanta miljöer för växter och djur. Dammbyggnader och reglering långt över den forna, naturliga stranden, har fragmenterat den kantzon (ekoton) som omger båda sidor av ett vattendrag med ekologiska påföljder (Andersson, E. m fl, 2000).

Det finns många tillämpade studier på biotopvård efter vattenreglering, kanske främst gällande fiskeintresset. Den kunskap som hittills framkommit rörande ”naturvårdsanpassad omreglering” av älvmagasin är svag och knappast praktiskt användbar då den kraftigt påverkar elproduktionen. Detta projekt inriktar sig på rehabiliteringsåtgärder i samband med omprövningar av vattendomar. I reglerade vattendrag finns goda möjligheter att åstadkomma ersättningsbiotoper, dvs skapa sådana biotoper som kan ersätta det som förlorats. Genom att systematiskt anlägga dessa längs ett vattendrag borde en stor del av den ursprungliga mångfalden kunna bevaras. Längs med utbyggda älvar finns ofta vatten- och strandmiljöer som skulle kunna fungera som ersättningsbiotoper för förlorad strand- och vattenvegetation i själva huvudfåran. Ett pärlband av sådana biotoper längs vattendraget skulle skapa s k “stepping stones” för många växter och djur. För att erhålla den lämpliga, naturliga dynamiken i t ex vattenståndsväxlingen, skulle dessa platser väljas ut där det redan finns mindre oreglerade biflöden. En del av flödet skulle kunna komma från det reglerade vattendraget (efter omprövningsförfarande) i form av självfall eller pumpning till våtmarksmiljön. Brånsjön vid Vännäsby inom Stornorrforstens regleringsområde har delvis sådan karaktär. Sjön har visserligen genomgått en negativ ekologisk förändring men goda förslag finns hur situationen kan förbättras (Bergquist, 1990).

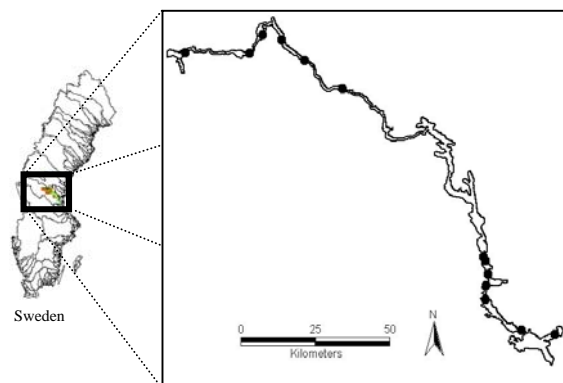
1.1 Mål

Projektets mål var att (i) med hjälp av befintliga och insamlade landskapsdata skapa ett system som förmår att analysera och tolka älvlandskapets naturliga och potentiella biostruktur så att detta kan tjäna som utvärderingsinstrument för rehabiliteringsåtgärder och vara underlag vid omprövningsärenden, (ii) föreslå konkreta åtgärder för rehabilitering av biotoper och strandzoner.

2. Fallstudie område: Ljusnan

Ljusnan är belägen i södra Norrland och har sina källor intill gränsen mot Norge och ner till Hedeviken. Ljusnan rinner ut i Bottenhavet vid Ljusne starx söder om Söderhamn (Fig. 1). Älven är 315 km lång och avrinningsområdet har en yta av 19 816 km². Största biflödet är Voxnan. Sjöytan uppgår till 985 km² och 22% av avrunnet vatten finns i magasin (Dynesius & Nilsson, 1994). Ljusnan har en medelvattenföring på 230 m³ per sekund. Det finns 25 stora kraftverksdammar längs älven av vilka majoriteten har konstruerats mellan åren 1900 och 1980. Det finns också många små kraftverk som tillsammans genererar 760 MW. Ljusnan som helhet bidrar med ca 4,7% av all energi som i genomsnitt levereras från landets kraftverk. Enligt Dynesius och Nilsson (1994) kan Ljusnan betraktas i ett internationellt perspektiv som starkt påverkad av vattenkraft.

Det studerade området i detta projekt har begränsats till en sträcka av 215 km från Svegsjön i nordvästra delen till utloppet vid Ljusne. För att studera biotoper har vi koncentrerat oss på älvkorridoren, dvs de strandnära områdena. Mer precist definierat innebär denna korridor det område längs älven som temporärt översvämmas enligt SMHIs översvämningskartor för 100-årsflödet plus 200 m i horisontell riktning från denna vattenlinje.



Figur 1. Ljusnan är en sydligt belägen älv i Norrland. Den uppförstorade delen visar det område som inkluderats i projektet.

3. Metoder för att identifiera biotoper

Det finns ett stort behov att utveckla nya metoder för att kartlägga strand-och vattenvegetation längs älvar (Muller,1997). Detta behov har ökat kraftigt på senare tid då vegetationsparametrar innefattats i projekt för bevarande, rehabilitering och skötsel av vattendrag. Muller (1997) har vidare dragit den slutsatsen att för nå en framgångsrik kartering av strandvegetation, vilket även bör gälla biotoper, så måste man ha ett bra klassificeringssystem.

Den metod som mest använts för att klassificera vegetation är den växtsociologiska metoden som utvecklats av Braun-Blanquet (1964). En hög grad av tillförlitlighet och detalj kan erhållas med denna metod då man ofta arbetar i skalan mellan 1:25 000 och 1: 50 000. Det första steget i metoden är att identifiera huvudtyper av vegetation i fältet ofta med användning av flygbilder som underlag. Andra steget är att analysera den floristiska sammansättningen av varje vegetationstyp. Andra data samlas samtidigt in t ex täckning och spridning. Andra botanister har frångått denna taxonomiska metod och i stället definierat växtsamhällen utifrån fysionomi. En klar fördel med denna senare metod är att den kan användas för sammanställning av kartor i vilken skala och över vilka områden som helst och därmed möjliggöra jämförande studier.

Fältundersökningar och flygbildstolkning har tillsammans med multispectrala satellitbilder och tillhörande GIS-data kommit att användas i allt större utsträckning under de senaste 30 åren. Detta har tillåtit ett mer kvantitativt approach för vegetations-kartering. Generellt har inte den tidigare upplösningen hos satellitdata varit sådan att det tillåtit kartering annat än i mycket breda klasser, t ex åker och skog. Jämfört med flygbilder så är satellitbaserad kartläggning av strandvegetation bättre i avseendet att den täcker större ytor temporalt och rumsligt. Dessutom bildar den en digital databas som bättre kan användas med GIS och annan datorbaserad mjukvara (Muller, 1997; Marcus, 2002; Leuven et al., 2002).

I Sverige har tre olika metoder för biotopkartering prövats. Tidigare nämndes den av Vattenfall framtagna Biotopmetoden under projektet Malva (Miljöanalys och värdering)(Blümer & Kyläkorpi, 1998). Denna metod är inriktad på utbyggda vattendrag. Den s k Jönköpingsmodellen för biotopkartering avser alla typer av rinnande vatten (Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2000). Metodiken bygger på att vattendraget karteras genom flygbildstolkning och sedan fotvandras utefter hela sin längd varvid information samlas in i fyra olika protokoll samt på karta. Insamlade data matas in och bearbetas i en databas i Access.

System Aqua har utvecklats av Sveriges Lantbruksuniversitet på uppdrag av Naturvårdsverket. Det är ett bedömningsinstrument för sjöar och vattendrag med särskild inriktning på biologiska värden. Vattenfalls Biotopmetod värderar och klassificerar biotoper och Jönköpingsmodellen lokaliserar och kvantifierar olika

biotoper, särskilt s k nyckelbiotoper. Gemensamt för alla nämnda metoder är de kräver en stor arbetsinsats i fält.



Figur 2. Unik vattenbiotop intill Ljusnan. Två små sjöar med förbindelse till älvfåran som båda har stora bestånd av den sällsynta vattenväxten vattenaloe (*Stratiotes*)

aloides). Sjöarna påverkas av höga vattenstånd i älven som inträffar då och då vid höga flöden, senast 2001.

En alternativ metodik har utvecklats i detta projekt i syfte att kunna täcka älvkorridorer för de stora älvarna i Norrland. Metodiken för att lokalisera och klassificera biotoper går ut på att kombinera GIS, fjärranalys och beslutstöd (på eng. *decision tree analysis*). Se vidare under kapitlet Metodik.

4. Data

4.1 Data tillgänglighet

Möjligheterna och framgången för ett projekt med de mål som här ställts upp beror till stor utsträckning på att erforderliga data finns tillgängliga. Data har främst hämtats från Lantmäteriet i Gävle och Länsstyrelsen i Gävleborgs län. Satellitdata har hämtats från United States Geological Survey (USGS).

4.1.1 Höjddata

Den digitala höjdmodellen har en rumslig upplösning av 50 m och täcker hela det undersökta området. Den levererades i 11 delar varför en hopsättning var nödvändig för att skapa ett sammanhängande nät. Den var sedan resamplad till en rumslig upplösning på 30 m.

4.1.2 Fjärranalysdata

En Landsat-7 ETM+ scene användes för ändamålet (Scene ID: LE195017000020950; Path: 195 Row: 017; Date of acquisition: 27 July 2000). Den var huvudsakligen fri från moln och hade en rumslig upplösning av 30 m (varje pixel får då en yta av 900 m²). Den innehöll vidare 8 band. En geokorrektion var nödvändig p g a en noterbar skevning i XY-led. Fyra principal komponenter och vegetationsindex användes för att bygga biotopklassificeringen.

4.1.3 Data från länsstyrelsen i Gävleborg – pilot-GIS

Länsstyrelsen i Gävleborgs län förfogar över en databas kallad PilotGIS från vilken vi fått SMHIs översvämningskartor för Ljusnan. Dessa var viktiga för att kunna definiera strandområdets rumsliga utsträckning. Vidare hade vi användning av vägdata på så sätt att dessa tjänade som referensdata för geokorrektion av Landsat-7 ETM+ bilden.

Vi har också kunna inhämta naturinventeringar från länsstyrelsen för biotopanalyser.

4.1.4 Ortofoton

Ett antal digitala ortofoton erhöles från SverigeBilden genom Lantmäteriets försorg. Flygbilderna var tagna på normalflyghöjden 4600 m under åren 1998 till 2000. Upplösningen varierade mellan 1 till 4 m för olika ortofoton. Ortofoton användes både i fält och vid bearbetningen, främst som en hjälp vid identifieringen av träningsdata, dvs specifika homogena ytor med känd biotop. Polygoner avgränsande olika biotoper markerades för hand under fältstudierna. Polygonerna överfördes senare till GIS.



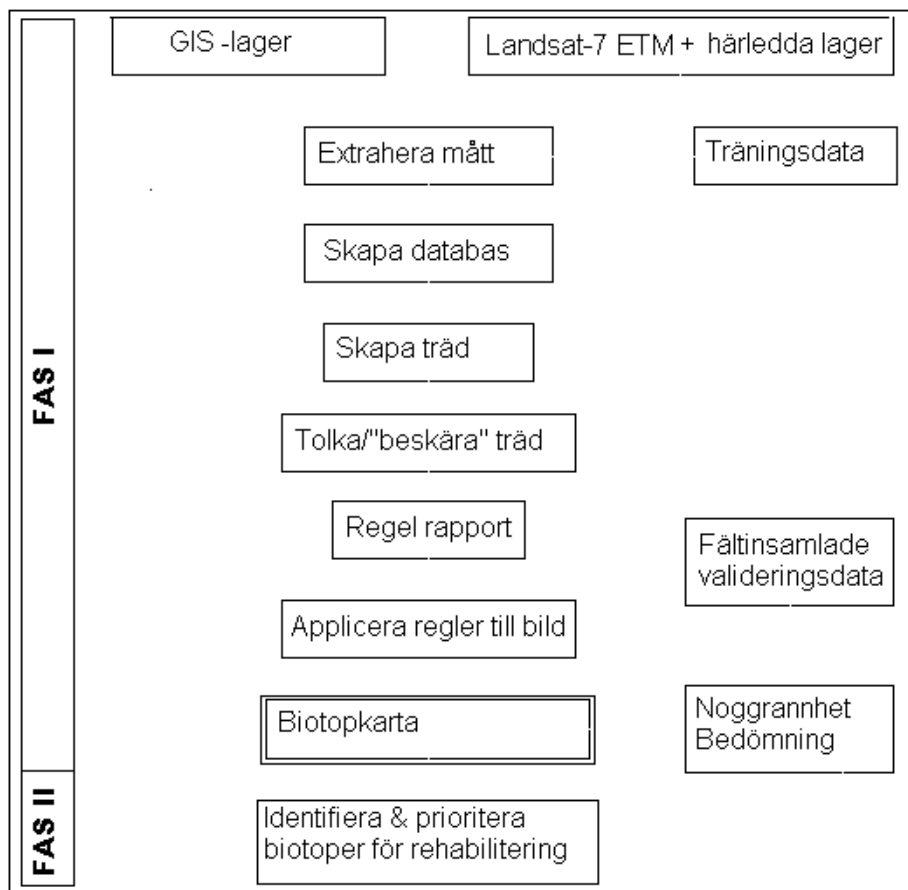
Figur 3. Fältstudier för kartering av biotoper vid Ljusnan (Foto: Sindre Langaas).

Fältstudier vid Ljusnan bedrevs vid två tillfällen, oktober 2001 och augusti 2002. Det första tillfället senarelades på säsongen p g a ovanligt högt vatten i Ljusnan. Under det första besöket samlades referensdata för träning och validering av den modell vi utvecklat för biotopklassificering. Det senare besöket ägnades åt att studera möjliga lägen för ekotekniska rehabiliteringsåtgärder utifrån erhållna resultat.

5. Metodik

5.1 Översikt

I denna studie har biotopkartor skapats genom en kombination av GIS, fjärranalysdata från satellit och genom analys med sk beslutsträd. Arbetsgången kan sammanfattas som visas i figur 4.



Figur 4. Förenklat schema för arbetsgången i denna studie.

5.2 Klassificeringssystem

Som tidigare nämnts kan vegetation klassificeras på olika sätt. I denna studie har vi helt och hållet inriktat oss på biotoper och försökt nå så hög upplösning som möjligt, dvs ner på nivån motsvarande 1 pixel (i vårt system 30x30 m). Utgångspunkten har

varit det arbete som bedrivits tidigare av Renman (1998). Denna indelning i biotoper bygger i stor utsträckning på fältinventeringar och flygbildstolkning.

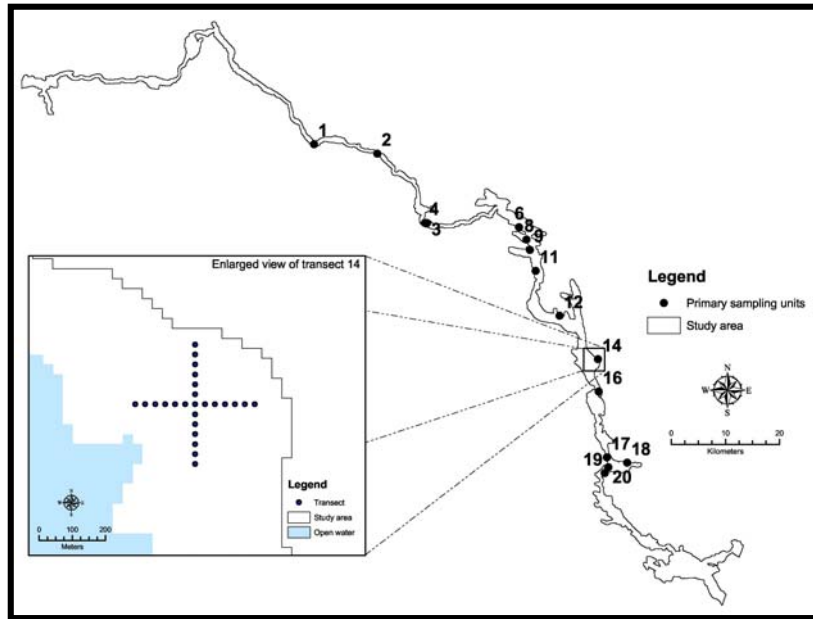
Tabell 1. Benämning av biotoper som förekommer i älvkorridorer.

Biotoper enl. Renman (1998)	Modifierad klassificering för denna studie
Lövskog (epilitoral)	Lövskog (epi/geolitoral)
Lövskog (geolitoral)	
Barrskog (epi/geolitoral)	Barrskog (epi/geolitoral)
Blandskog (epi/geolitoral)	Blandskog (epi/geolitoral)
Sumpskog	
Kalhygge, kraftledning	Kalhygge, kraftledning
Strandäng, strandkärr, myr	Strandäng, strandkärr, myr
Brukad äng, bete	Brukad äng, bete
Åker (oftast epilitoral)	Åker (oftast epilitoral)
Antropogena miljöer	Antropogena miljöer
Öppet vatten (sublitoral)	Öppet vatten (sublitoral)
Strandhäll (geo/epilitoral)	-
Övrig	Övrig

5.3 Referensdata

Referensdata utgörs av träningsdata och valideringsdata. Totalt identifierades 370 pixlar som träningsdata för beslutsträdet. Dessa polygoner erhöles genom användande av två olika metoder. Först, som nämnts tidigare, ritades polygoner direkt på ortofoton av den ekologiska experten i gruppen under fältstudierna och infogades i GIS. För det andra, digitaliserades ett antal tolkade klasser från ortofoton.

När det gällde valideringsdata valde vi slumpvis provtagning på 20 primära punkter inom studieområdet. Punkterna genererades i IDRISI och punkter som hamnade i öppet vatten eller utanför älvkorridoren uteslöts. Av de 20 punkter som erhöles visade sig 15 vara tillgängliga i fält. På varje punkt, som lokaliserades i fält med GPS, klassificerades biotoperna längs transekter 30 m mot fyra vädersträck (N,S, Ö, V). Tillvägagångssättet framgår av figur 5.



Figur 5. Primära provtagningspunkter längs Ljusnan för insamling av valideringsdata.

5.4 Utveckling av modellen

5.4.1 Oberoende data

Åtta oberoende variabler användes för att användas vid klassificeringen av den beroende variabeln – de nio biotopklasserna. De oberoende variablerna hämtades från den digitala höjdmodellen, avståndsmätningen från vattenlinjen och Landsat-7 ETM+ data. Topografiska fuktighetsindex erhöles från höjdmodellen, kartlagret med lutning skapades i ArcView och beräknades i grader. Med hjälp av en avståndsfunktion i ArcGIS kunde avståndet till älven/vattenlinjen genereras. Vegetationsindex beräknades från band 3 och 4 i satellitscenen. Principal komponent analysen skapades från band 1-7 i samma satellitscen.

5.4.2 Beslutsträd

En databas skapades i vilket värden, motsvarande träningsdata (370 pixlar), extraherades från var och en av de 8 oberoende variablerna. Databasen importerades sedan till Knowledge STUDIO™, en mjukvara för beslutsträd, cluster analys och många prediktiva modeller. Klassificeringen utfördes sedan vidare i ett hierarkiskt uppbyggt träd där varje delning (split) skapade två nya klasser.

5.4.3 Generering av regel rapporter

Efter skapandet av beslutsträd producerades regelrapport för varje träd. Regler formuleras i satser av typen (IF...villkor1 ... and if villkor2....THENurval) vilket kan se på t ex detta sätt:

```
IF(PCA (2) >= 305 AND PCA (2) < 317)  
  AND IF (Slope >= 1.22 AND Slope < 1.69)  
    AND IF (NDVI >= 0.25 AND NDVI < 0.294  
      THEN class = Mixed forest (epi/geolittoral)
```

5.4.4 Applicering av regler

För att kunna applicera regelrapporterna till data och därmed klassificera biotoperna, användes en fri mjukvara som kallas Albero Mapper (Bedward, 1998). Denna är ett instrument för att generera kartor från en regel rapport och en serie utav indata i form av kartor. Den läser regler från en textfil, anpassar de till ett set av IDRISI bilder och genererar en karta som en ny IDRISI bild. Ett problem var att SAS formatet i regelfilen exporterad från KnowledgeSTUDIO™ inte stöddes av Albero Mapper. Ett program, SAS2AM, skrevs speciellt av Petter Stenström vid KTH för detta projekt vilket gjorde formatet läsbart av Albero Mapper.

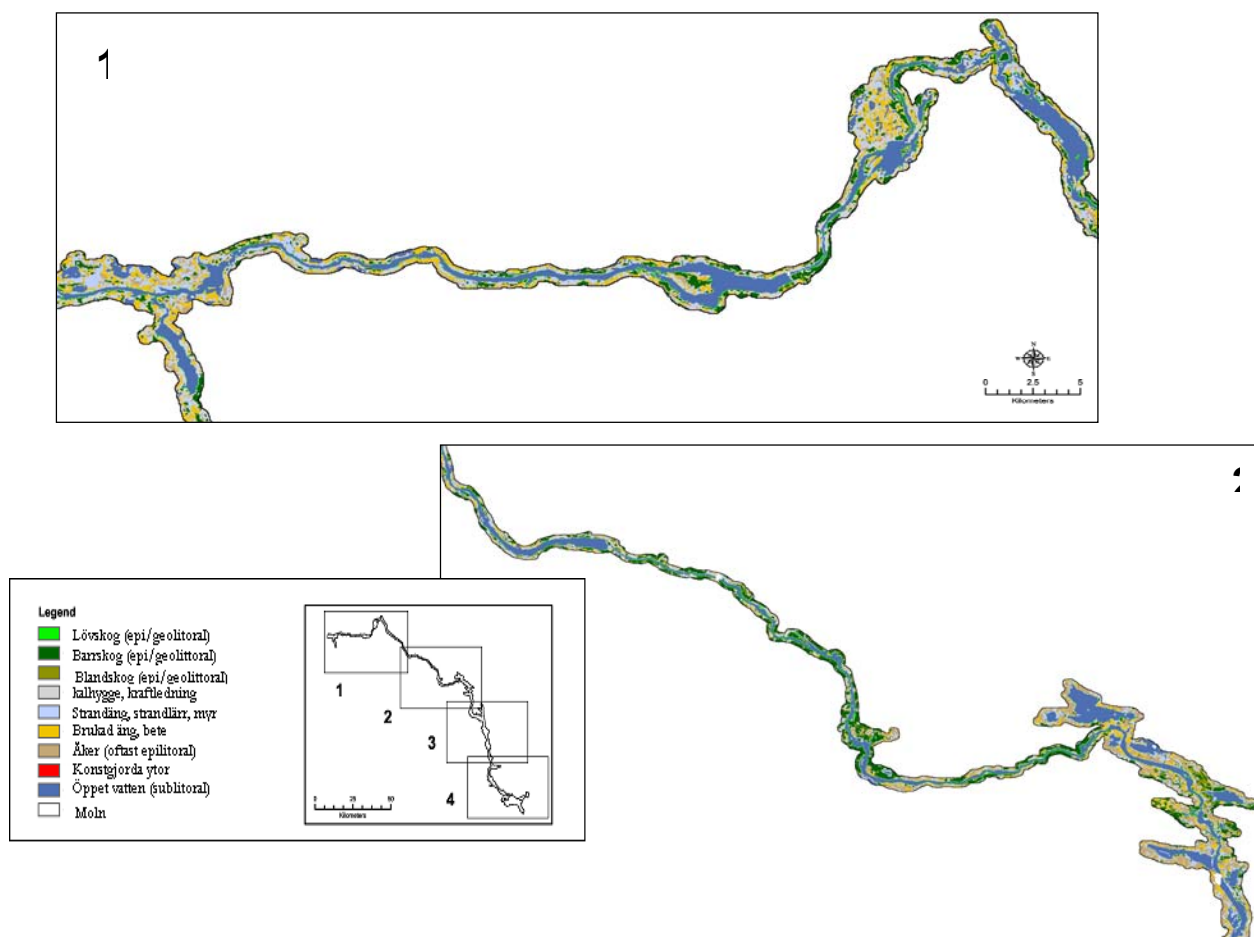
6. Resultat

Den metodik som utvecklats i detta projekt är unik och har inte prövats tidigare. Metodens utdata är biotopkartor över älvkorridoren i olika skalor. Begränsningen utgörs av pixelstorleken, i detta fall 30x30 m. I figurer som visas nedan framgår inte detaljer på samma sätt som när materialet hanteras vid en dator. Vi hänvisar till följande hemsida för mer information;

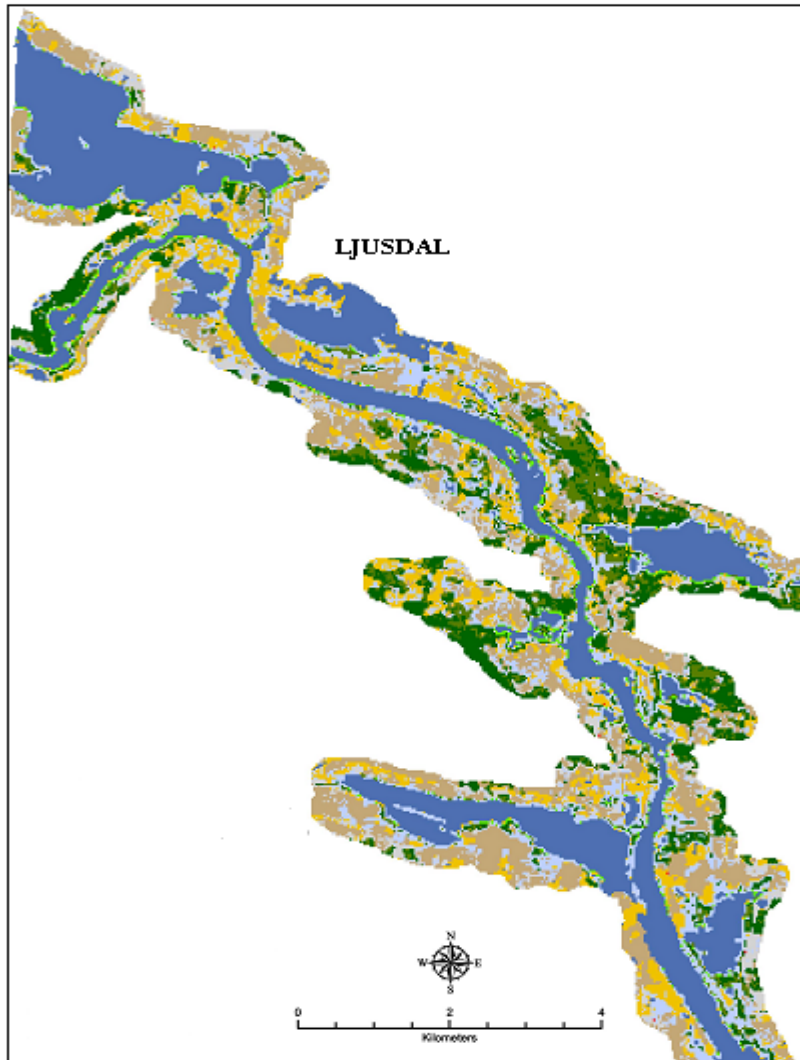
<http://www.lwr.kth.se/Forskningsprojekt/stem/index.htm> samt publikationer McConnell et al. (2002) och McConnell (2002).

Alla pixlar inom det studerade området har hänförts till någon biotopklass. Det är inte förvånande att öppet vatten utgör nära 45 % av den totala ytan, dvs sublitorala biotoper (undervattensbiotoper). Åker utgör 11% medan den sammanförda grupp som innehåller biotoperna strandäng, strandkärr och myr motsvarar 12% av totala korridoritytan. Betesmarken täckte hela 10% av ytan vilket indikerar tillsammans med åkerarealen en betydande jordbruksareal som också präglar denna kulturbygd i stor omfattning. De andra biotopklasserna hade följande fördelning; barrskog 9%, kalhygge och kraftledningsgator 9%, blandskog 3%, lövskog 2% och slutligen övriga ytor som t ex vägar 0,1%.

Figur 6. Biotopkarta över område 1 och 2 längs Ljusnan.



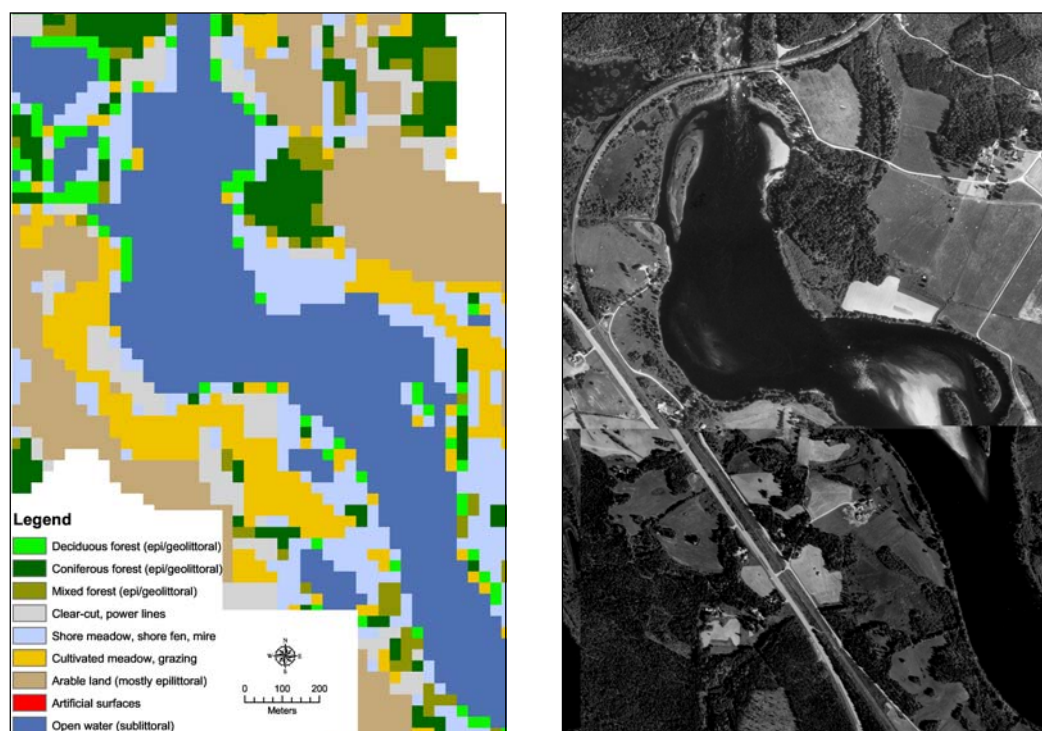
Alla åtta oberoende variabler var användbara för klassificering av biotoper. Frekvensen med vilket den oberoende variabeln utnyttjades för att dela upp noder i beslutsträdet varierade. Vegetationsindex visade sig vara den mest användbara, följt av avstånd till älven och principal komponent 3.



Figur 7. Uppförstorad del av älvkorridoren vid samhället Ljusdal. Biotopkartan visar att stora områden fortfarande påverkas av älvens hydrologiska regim, trots att Ljusnan är ett reglerat vattendrag. Av detta följer att en stor mångfald av biotoper fortfarande finns kvar och kan utvecklas.

6.1 Utvärdering av metoden

Noggrannheten i klassificeringen av biotoper utvärderades. Vi blev förvånade när vi fann en dålig överensstämmelse med valideringsdata insamlade i fält. Den genomsnittliga riktigheten uppgick till endast 35% med den utvärderingsmetod vi använde (ERRMAT tool in IDRISI, Eastman 1999). Vid närmare undersökning med hjälp av ortofoton och senare fältbesök kunde det konstateras att riktigheten måste vara betydligt större. Vi misstänkte bl a att den icke-differentiella GPS som användes vid insamling av valideringsdata medverkade till ett positionsfel som sedan fick genomslag i utvärderingen. Därför testades att förflytta de primära punkterna i varje riktning och noggrannheten omberäknades. Därvid erhöles en överensstämmelse på 50%.

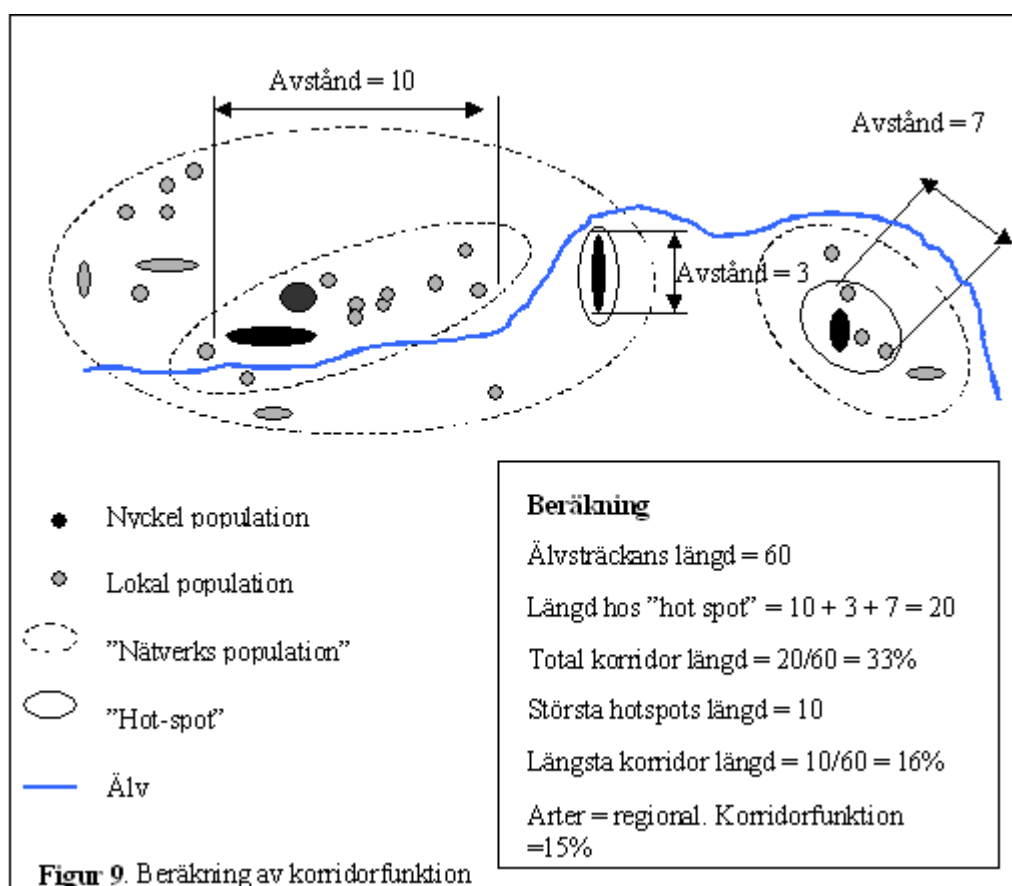


Figur 8. Jämförelse av biotopkarta (vänster) med digitalt ortofoto (höger). Svensk teckenförklaring återfinns i figur 6. Av denna ”manuella” jämförelse framgår att riktigheten i klassificeringen är mycket större än de som beräknats statistiskt.

6.2 Objektprioritering för rehabiliteringsåtgärder

Fas 2 i arbetsgången var att urskilja biotoper som skulle kunna vara värda åtgärder för rehabilitering. När projektet inleddes hade vi en förhoppning att kunna komma ännu

längre i utvecklandet av metodiken, som då skulle ha kunnat ge oss fler biotopklasser att arbeta med än vad som nu blev fallet. Med högre upplösning och fler biotopklasser hade ett system kunnat utvecklas för identifiering av "hotspots". Vi valde därför att avstå från att testa ideerna för objektprioritering. Det vi avsett att göra överensstämmer i stor utsträckning med det arbete som presenterats av Leuven et al. (2002). Vårt arbete skulle också kunna väl anpassas till ett expertsystem utvecklat i Holland, LARCH (Jochem et al., 2002). Ett exempel på hur de digitala biotopkartorna med tillhörande GIS-lager skulle kunna utnyttjas framgår av figur 9. Korridorfunktionen hos ett vattendrag kan beräknas vilket är ett sätt att uttrycka i vilken mån älven har en sammanbindande funktion för vissa arter och tillhörande biotoper. Arter med ett stort spridningsavstånd har högre krav på en fungerande korridor och man kan därför dela in arter i tre klasser; lokala, regionala och nationella.



Med utgångspunkt från korridorfunktionen kan strategiska beslut fattas om rehabilitering av det utbyggda vattendraget på platser där det bäst behövs. Ekotekniska åtgärder kan t ex vara att anlägga våtmarker i områden där små biflöden ansluter till huvudälven. Här kan miljöer återskapas som har den ursprungliga älvens naturliga vattenståndsvariation.

7. Diskussion

Den använda metodiken för att identifiera och avgränsa biotoper inom en älvkorridor visade god potential vid användning av beslutträdsalgoritmer. Visserligen nåddes låg överensstämmelse med valideringsdata men detta kan ha flera förklaringar. På ett tidigt stadium i projektet beslutades det att vi skulle insamla statistiskt korrekt markdata. Ett fel begicks emellertid från vår sida när vi valde att använda en icke-differentiell GPS för positionsbestämningen, vilket sedan skulle få konsekvenser vid analysen av materialet.

En annan orsak, som är svårare att åtgärda vid fortsatt forskning på området, är att älvlandskapet är ganska fragmenterat och av heterogen natur vilket påverkar riktigheten i den metod som använts. Om studien omfattat hela avrinningsområdet, istället för den trånga älvkorridoren, skulle man kunna förvänta sig avsevärt högre (70-80%) noggrannhet.

Den slutliga klassificeringen (9 klasser) var mindre detaljerad än den ekologiska klassificering som kan erhållas från fältundersökningar. Studien visade emellertid, inom det valda älvområdet, att ett stort antal biotoper kan identifieras och klassificeras. Från det erhållna mönstret borde det gå att utvärdera den ekologiska funktionen hos älvkorridoren. Med sådan utvärdering som bas kan beslut fattas om åtgärder, t ex ekotekniska för rehabilitering av biotoper. En avvikelse från det uppställda målet var att projektet inte räckte ända fram till att specifikt föreslå konkreta åtgärder för rehabilitering av biotoper. Ett större projekt "Miljöförbättringar i utbyggda älvar" ägnade under åren 1992-1995 mycket resurser åt att föreslå och genomföra åtgärder. Förslagen från forskarna innefattade inte det koncept som arbetats fram här. Fler projekt borde tillskapas där kunskaper inom ekoteknik tas tillvara för bl a rehabilitering av biotoper.

9. Referenser

- Alpert, P., Griggs, F.T., & Peterson, D.R. Riparian forest restoration along large rivers: initial results from the Sacramento River project. *Restoration Ecology* 7: 360-368.
- Andersson, E., C. Nilsson och M. E. Johansson, 2000. Effects of river fragmentation on plant dispersal and riparian flora. *Regulated rivers: Research and Management*, 16:83-89.

- Bastin, L. 1997. Comparison of fuzzy c-means classification, linear mixture modelling and MLC probabilities as tools for unmixing coarse pixels. *International Journal of Remote Sensing*, 18:3629-3648.
- Bergquist, A., 1990. Förslag till restaurering av Brånsjön. TRITA-KUT 90:3047, Kungl Tekniska Högskolan, Stockholm.
- Blümer, M. och Kyläkorpi, L., 1998. Biotopmetoden – kvantifiering av effekter på biologisk mångfald efter exploatering av mark och vatten. *Vattenfall*. 23 pp.
- Boresjö Bronge, L., 1993. Översiktlig vegetationskartering baserad på satellitdata. *Lantmäteritidskriften*, nr 5/93.
- Chmiel, J. and T. Gumbricht, 1996. Knowledge based classification of landscape objects combining satellite and ancillary data. In: K. Kraus and P. Waldhäusl (eds.), *International Archives of Photogrammetry and Remote sensing*, Vol. XXXI, part B4, pp. 183-187, Vienna.
- Congalton, R.G., K. Green & J. Tepley, 1993. Mapping old growth forests on national forest and park lands in the Pacific Northwest from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59:689-697.
- Dynesius, M. & Nilsson C., 1994. Fragmentation and flow regulation of river systems in the northern third of the world. *Science*, vol 266: 753-762.
- Eastman, J.R., 1999. IDRISI Version 2.0. Clark University, Graduate School of Geography.
- Erickson, W.P., McDonald, T.L. & Skinner, R., 1998. Habitat selection using GIS data: a case study. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics* 3: 296-310.
- Foody, G.M. & Cox, D.P. 1994. Sub-pixel land cover composition estimation using linear mixture model and fuzzy membership functions. *International Journal of Remote Sensing*, 15:619-631.
- Gumbricht, T., McCarthy, J. & Mahlander, C. 1996. Digital interpretation and management of land cover - a case study of Cyprus. *Ecological Engineering* 6: 273-279.
- Gustafsson, D. och S. Rystedt, 1994. Strandbiotoper i vattenkraftutbyggda vattendrag - påverkan, rehabilitering och bevarande. TRITA-KUT Report 1994:4. Examensarbete, Kungliga Tekniska Högskolan.
- Holland, M.M., P.G. Risser, & R.J. Naiman (eds.), 1991. *Ecotones: The role of landscape boundaries in the management and restoration of changing environments*. Chapman and Hall, New York.
- Janauer, G.A., 1997. Macrophytes, hydrology, and aquatic ecotones: a GIS-supported ecological survey. *Aquatic Botany* 58: 379-391.
- Jochem, R., Koolstra, B.J.H. & Chardon, J.P., 2002. LARCH: An ecological application of GIS in river studies. In: *Application of Geographic Information*

- Systems and Remote Sensing in River Studies (Eds. R.S.E.W. Leuven, I. Poudevigne & R.M. Teeuw), pp. 163-181, Backhuys Publishers.
- Lein, J.K., 1997. Environmental Decision Making, an information technology approach. Blackwell Science, Inc, USA. 213 pp.
- Leuven, R.S.E.W., Gerig, Y., Poudevigne, I., Geerling, G.W., Kooistra, L. & Aarts, B.G.W., 2002. Cumulative impact assessment of ecological rehabilitation and infrastructure facilities in floodplains along the middle reach of the river Waal. In: Application of Geographic Information Systems and Remote Sensing in River Studies (Eds. R.S.E.W. Leuven, I. Poudevigne & R.M. Teeuw), pp. 201-216, Backhuys Publishers.
- Länsstyrelsen i Jönköpings län, 2000. Biotopkartering – vattendrag. Metodik för kartering av biotoper i och i anslutning till vattendrag. Meddelande 2000:20.
- Marcus, W.A., 2002. Mapping of stream microhabitats with high spatial resolution hyperspectral imagery. *Journal of Geographical Systems* 4: 113-126.
- Maselli, F., Rodolfi, A. and Conese, C. 1996. Fuzzy classification of spatially degraded Thematic Mapper data for the estimation of sub-pixel components. *International Journal of Remote Sensing*, 17:537-551.
- McConnachie, D.P., Renman, G., Langaas, S., & McCarthy, J., 2002. Mapping biotopes of regulated river corridors using GIS, Remote sensing, and Decision Tree Analysis. Int. Symp. On Remote Sensing of Environment, Bueno Aires, Argentina, April 8-12, 2002.
- McConnachie, D.P., 2002. Mapping biotopes of regulated river corridors using GIS, Sattelite Remote Sensing and Decision Tree Analysis. Kungl Tekniska Högskolan, LWR-EX-2002-29 (ISSN 1651-064X), 61 pp.
- McGarigal, K. & B.J. Marks, 1993. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis for quantifying landscape structure, Version 1.0, Forest Science Department, Oregon State University.
- Mitta, S., 1986. Decision Support Systems: Tools and Techniques. Wiley and Sons, New York.
- Muller, E., 1997. Mapping riparian vegetation along rivers: old concepts and new methods,” *Aquatic Botany* 58: 411-437.
- Naiman, R.J., Décamps, H. (eds), 1990. The ecology and management of aquatic-terrestrial ecotones. UNESCO and Parthenon Publishing Group, 316 pp.
- Renman, G., 1998. Biotoper som naturvärdeskriterium vid omprövning av villkor för vattenkraftanläggningar. Teknisk rapport, Kungl Tekniska Högskolan, ISRN KTH/AMI/REPORT- 3044-SE, 57pp.
- Ruzicka, M., 1993. Biotopes mapping, base for research of biodiversity. *Ecology* (Bratislava), vol. 12(3): 325-328.
- Sage, A., 1991. Decision Support Systems Engineering. Wiley and Sons, New York.

- SOU, Statens Offentliga Utredningar, 2002. Klart som vatten. Betänkande av Utredningen svenska vattenadministration. SOU 2002:105.
- Sprague, R. & Carlson C., 1982. Building Effective Decision Support Systems. Englewood Cliffs, Prentice Hall, N.J.
- Swetnam, R.D., Ragou, P., Firbank, L.G., Hinsley, S.A. & Bellamy, P.E., 1998. Applying ecological models to altered landscapes scenario-testing with GIS. Landscape and Urban Planning 41: 3-18.
- Turner, M.G., 1990. Landscape changes in nine rural counties in Georgia, USA. Photogramm. Eng. Remote Sensing 56: 379-386.
- Ward, J.V., K.Tockner & F. Schiemer, 1999. Biodiversity of floodplain river ecosystems: ecotones and connectivity. Regulated rivers :Research and Management, 15: 125-139.
- Ward, J.V., Tockner, K., Uehlinger U., & Malard, F. 2001. Understanding natural patterns and processes in river corridors as the basis for effective river restoration. Regulated Rivers: Research and Management 17: 311-323.
- With, K.A., Gardner, R.H. & Turner, M.G., 1997. Landscape connectivity and population distributions in heterogeneous environments. Oikos 78: 151-169.
- Wu, J.K., Cheng, D.S., Wang, W.T. Cai, D.L., 1988. Model based remotely sensed imagery interpretation. Int. J. of Remote Sensing, 9: 1347-1356.
- Zeff, I & C.J. Merry, 1993. Thematic mapper data for forest resource allocation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 59: 93-99.

Erkännanden

Vi riktar ett stort tack till alla som på olika sätt bidragit till detta projekt, inte minst Energimyndigheten som finansierat forskningen . Ett särskilt tack går till Tekn dr Petter Stenström som hjälp till med att knäcka ett problem med ett dataprogram. Vi tackar också för gott samarbete med Ljusnan-Voxnans Vattenvårdsförbund, Länsstyrelsen i Gävleborgs län, kraftbolag och Vattenregleringsföretagen.