

# NORD2000 – UNDERLAG TILL MARKIMPEDANS

Inventering av underlag för markimpedansklasser

## SAMMANFATTNING

Rapporten innehåller en inventering av underlag, i första hand marktäckekartor, som kan användas för att ta fram markimpedansvärden. Naturvårdsverkets produkt Nationella Marktäckedata förefaller vara ett relativt bra alternativ, dock inte utan utmaningar. I mindre utredningar är det vanligt att använda fjärranalys av ortofoton. Fjärranalys av satellitfoton bedöms bli alltför tidskrävande, men kan möjligen komma till nytta i särskilda fall. Vid direkt översättning (med en översättningstabell) från marktäckedata blir markimpedansen ibland felaktig. Detta kan sannolikt ignoreras vid bullerkartläggningar av översiktlig karaktär eller utanför bebyggd miljö, men för andra fall behövs antagligen bättre underlag. Några olika metoder för att förbättra översättningen diskuteras. En specifik kvalitetssäkrad GIS-produkt med markimpedans som fungerar rimligt bra överallt hade inneburit rationalisering och kvalitetshöjning, men då behöver först en metod utvecklas för hur en sådan ska tas fram.

Andreas Gustafson, VTI  
Anders Genell, VTI

2024-05-20

## Förord

Utredningen har gjorts inom projektet Kunskapscentrum om buller. Projektet leds av VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut på uppdrag av Naturvårdsverket, Trafikverket och Transportstyrelsen.

Göteborg, 20 maj 2024

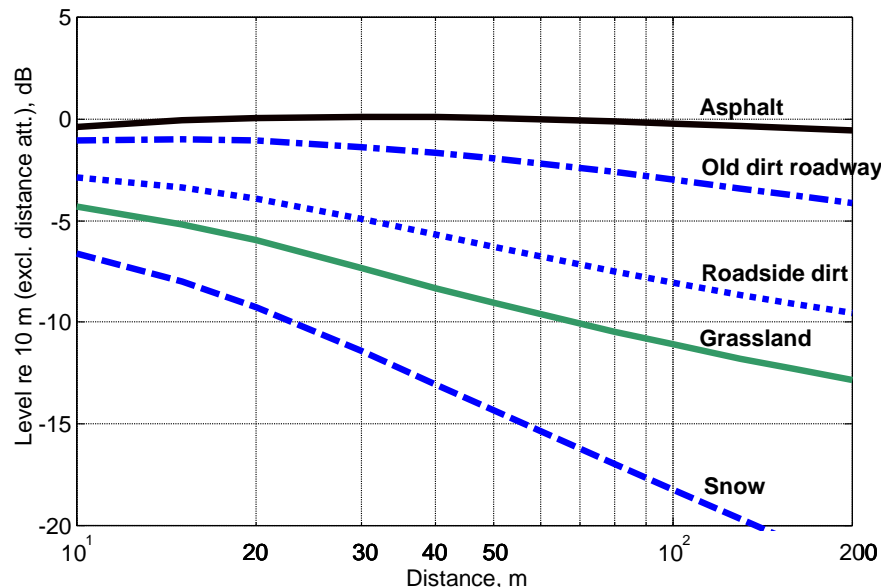
Andreas Gustafson, VTI

## Innehållsförteckning

1	Bakgrund .....	3
1.1	Markimpedans.....	3
1.2	Markeffekt .....	4
1.3	Impedansklass .....	5
1.4	Nuvarande metoder för att bestämma impedansklass (ortofoto, fastighetskarta, mätning) .....	5
2	Marktäckedata .....	6
2.1	Nationella Marktäckedata (NMD) .....	6
2.1.1	Nya nationella specifikationer för marktäckedata .....	8
2.2	CORINE Land Cover (EU).....	9
2.3	GSD-Marktäckedata (produkten är inte längre tillgänglig) .....	10
2.4	ESA WorldCover .....	12
2.5	Dynamic World.....	13
2.6	Fjärranalys .....	13
3	Översättningsproblem.....	14
4	Sammanfattning .....	16
4.1	Rekommendation .....	16
5	Referenser .....	17

## 1 Bakgrund

Markens akustiska egenskaper kan ha stor påverkan på ljudutbredning som sker nära marken, några exempel visas i Figur 1. I Nord2000 används markens akustiska impedans som indata vilket ger betydligt bättre möjligheter att modellera effekten på ett realistiskt sätt än vad som är möjligt med Nord96 och andra motsvarande äldre metoder.



Figur 1. Olika marktyperns inverkan på ljudutbredning, källhöjd  $h_s = 0,0-0,2$  m, mottagarhöjd  $h_r = 2$  m, neutral ljudutbredning (det vill säga inga vind- eller temperaturgradienter). Blandad vägtrafik vid 50 km/h. Referens: A-vägs ljudnivå för asfalt på 10 m avstånd [1].

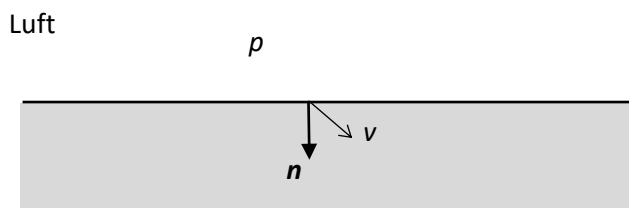
Det saknas specifika kartunderlag som redovisar markimpedansen men den kan skattas med stöd av andra underlag, se avsnitt 1.4. I dagsläget används i princip samma metoder för att ta fram markimpedansdata till Nord2000 som sedan tidigare används för att bestämma om marken är akustiskt mjuk eller hård vid beräkning med Nord96.

För att erhålla ett bra resultat med nuvarande metoder erfordras manuell tolkning av flygfoton samt manuell editering av det underlag som ska ingå i beräkningen. Eftersom det ofta inte är möjligt att lägga tid på ett sådant manuellt detaljarbete i större projekt kan underlagets kvalitet bli begränsad liksom beräkningsresultatets noggrannhet. En annan aspekt är att olika användare kan råka göra olika tolkningar, något som i slutändan kan leda till olika beräkningsresultat. Det finns därför ett behov av en kvalitetssäkrad kartprodukt för markimpedans som kan användas till bullerberäkningar.

Denna utredning har undersökt möjligheterna att, som ett alternativ till nuvarande metoder, bestämma markimpedans utifrån så kallade marktäckedata. Naturvårdsverket tillhandahåller produkten Nationella Marktäckedata (NMD) [6], det finns även internationella alternativ. En förhoppning är att en metod baserad på marktäckedata ska göra det möjligt att på sikt framställa en specifik kartprodukt för markimpedans.

### 1.1 Markimpedans

Den specifika akustiska (yt-) impedansen  $Z_s$  definieras som det komplexa förhållandet i en punkt mellan ljudtryckets effektivvärde och partikelhastighetens effektivvärde i normalens riktning i ytan. SI-enheten är  $\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ . Ordet "specifik" avser att enheten är per ytenhet (tryck är kraft per ytenhet).



Figur 2. Definition av den specifika akustiska ytimpedansen.

$$Z_S(\omega) = \frac{p}{v \cdot \mathbf{n}} \quad (1)$$

Impedansens realdel kallas resistans och den imaginära delen reaktans.

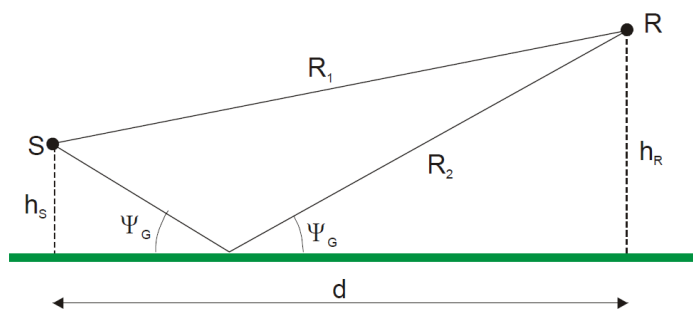
För markytor är det vanligt att ange ytimpedansen normaliserad till luftens impedans,  $Z_n = Z_S/\rho_0 c$ , där  $\rho_0$  är luftens densitet och  $c$  ljudets hastighet. I den här rapporten (och i många andra sammanhang) kallar vi markens normaliserade specifika akustiska ytimpedans för enkelhets skull för markimpedans eller bara impedans.

Om partikelhastigheten ( $v \cdot \mathbf{n}$ ) i en punkt vid en yta bara beror på trycket  $p$  i samma punkt säger man att man har en *lokal reaktion*. Vid lokal reaktion kan ljudvågens utbredning inuti marken försummas, och ytans impedans blir oberoende av infallsvinkeln [1]. De flesta naturligt förekommande markytor kan antas uppfylla detta villkor tillräckligt bra, men för exempelvis snö på frusen mark och dränasfalt kan avvikelserna bli större [4].

## 1.2 Markeffekt

Vid ljudutbredning utmed marken uppstår en interferens mellan direktljud och ljud som reflekteras i marken. Fenomenet kallas ibland för markeffekt. Figur 3 visar en modell för hur ett ljudfält, representerat av geometriska strålar, påverkas av plan mark med markimpedans  $Z$ . Ljudtrycket vid mottagaren R som orsakas av källan S kan beräknas enligt ekvationen i figuren.  $R_1$  och  $R_2$  är utbredningsvägens längd för direkt respektive reflekterat ljud,  $k$  är vågtalet ( $2\pi f/c$ , där  $f$  är frekvensen och  $c$  är ljudhastigheten) och  $Q$  är den sfäriska reflektionskoefficienten.  $Q$  är en funktion av markimpedansen, vinkeln  $\Psi_G$  och avståndet  $R_2$ .

Markeffekten minskar med ökat avstånd till marken. Den minskar också med ökande infallsvinklar  $\Psi_G$  som till exempel kan uppstå vid vädersituationer med gynnsam ljudutbredning. Med andra ord kommer markimpedansen exempelvis ha stor betydelse vid ljudutbredning över långa avstånd nära marken under neutrala väderförhållanden.



$$p = \frac{e^{jkR_1}}{R_1} + Q \frac{e^{jkR_2}}{R_2}$$

Figur 3. Ljudutbredning över plan mark, från [2].

### 1.3 Impedansklass

I Nord96 och andra äldre beräkningsmetoder för ljudutbredning klassas marken vanligen antingen som antingen hård eller mjuk. Som indata till Nord2000 används istället markens strömningsmotstånd. Nord2000 översätter strömningsmotståndet till markens akustiska impedans som sedan används i ljudutbredningsberäkningen. Översättningen görs med en impedansmodell som förutsätter lokal reaktion.

I Nord2000 klassificeras marken efter åtta impedansklasser A–H enligt Tabell 1, där A svarar mot mark med relativt lågt strömningsmotstånd och H svarar mot en mycket tät yta. Det ger möjlighet till noggrannare beräkningar vilket sparar kostnader när åtgärder utförs med högre träffsäkerhet, och kan även användas som verktyg för att specificera bulleråtgärder i form av särskilda markegenskaper.

Impedansklass	Representativt strömningsmotstånd $\sigma$ (kPas/m <sup>2</sup> )	Motsvarande Nordtest-klasser Fel! Hittar inte referenskälla.	Beskrivning
A	12,5	10, 16	Mycket mjuk (snö eller mossliknande)
B	31,5	25, 40	Mjuk skogsbotten (kort, tät, ljunglik eller tjock mossa)
C	80	63, 100	Okomprimerad, lös mark (gräs, lös jord), järnvägsspår på ballast
D	200	160, 250	Normal okomprimerad mark (skogsbotten, ängsmark)
E	500	400, 630	Komprimerade fält och grus (komprimerade gräsmattor, parkområden)
F	2 000	2 000	Komprimerad, tät mark (grusväg, p-plats av grus, vägyta enligt ISO 10844), dränasfalt
G	20 000	20 000	Hård yta (normal belagd väg, ballastfria spår)
H	200 000		Mycket hård och tät yta (tät asfalt, betong, vatten)

Tabell 1. Klassificering av marktyp i Nord2000 [12].

### 1.4 Nuvarande metoder för att bestämma impedansklass (ortofoto, fastighetskarta, mätning)

I dagsläget det främst två metoder som brukar användas för att bestämma markens akustiska egenskaper. I mindre projekt tillämpas ofta visuell (manuell) inspektion av ortofoton. Detta är i sig oftast ett tillräckligt bra underlag för att bestämma om marken är akustiskt hård eller mjuk, vilket är det som erfordras som indata till Nord96. Vid användning av Nord2000 kan impedansklass bestämmas genom inspektion av ortofoto med stöd av beskrivningarna i Tabell 1 [12].

Den andra metoden använder en översättning av fastighetskartans ytskikt för marktäckedata (i fastighetskartan kallat markslag) till impedansklasser, se Tabell 2. Översättningen är dock inte helt pålitlig och kräver ibland vidare bearbetning för att ge ett acceptabelt resultat, exempelvis genom manuell jämförelse med ortofoto och beskrivningarna i Tabell 1. Metoden är inte verifierad mot mätningar.

Därutöver går det att mäta upp strömningsmotståndet på plats, anvisad mätmetod är i första hand NT ACOU 104 [3][4].

Fastighetskartan, ytskikt			Nord2000
Skiktnamn	Detaljtypskod	Namn	Impedansklass
MY	VATTEN	Vatten (sjöar och större vattendrag)	H
MY	BEBYGG	Bebyggelse, ospecificerad	E
MY	BEBLÅG	Låg bebyggelse	E
MY	BEBHÖG	Hög bebyggelse	G
MY	BEBSLUT	Sluten bebyggelse	G
MY	BEBIND	Industriområde	G
MY	ODLÅKER	Åker	D
MY	ODLFRUKT	Fruktodling/fröplantage	D
MY	ODLEJÅK	Ej brukad åker	E
MY	ÖPMARK	Annan öppen mark	E
MY	ÖPKFJÄLL	Kalfjäll	C
MY	ÖPGLAC	Glaciär	B
MY	SKOGBARR	Barr- och blandskog	C
MY	SKOGLÖV	Lövskog	B
MY	SKOGBFBJ	Fjällbjörkskog	C
MY	MRKO	Ej karterat område	E
MY	MKKÖVR	Övrig mark, oklassificerad	E
MY	ÖPTORG	Torg	F
MY	OSPEC	Ospecificerad yta, ofta kod på felaktig yta	E
MS	SANK	Sankmark	E
MS	SANKSVÅ	Sankmark svårframkomlig	F
MS	SANKBLE	Sankmark blekvät	F

Tabell 2. Impedansklass för olika typer av markslag i fastighetskartan [12].

## 2 Marktäckedata

Det fysiska material som täcker jordens yta brukar kallas marktäcke och i denna rapport studeras olika geodata som beskriver marktäcket. Vid kartering av marktäcke samlas data in om hur landskapet ser ut och hur det förändras över tid. Marken delas in i klasser efter vad som täcker den, till exempel sjöar, klippor, olika typer av skog, öppen mark, bebyggelse.

Genom att basera klassningen på spektral analys av satellitfoton, där varje enskild pixel från satellitfotografierna tilldelas en klass, ibland i kombination med annat underlag, är det möjligt att analysera hela jordens yta på ett sätt som hade varit omöjligt med exempelvis fältbaserade metoder.

Det finns många olika marktäckekartor, som baseras på olika underlag och optimerade för olika syften. Nedan redovisas några exempel.

### 2.1 Nationella Marktäckedata (NMD)

För svensk del tillhandahåller Naturvårdsverket dataprodukten Nationella Marktäckedata (NMD) som är gratis att ladda ned och som inte har några restriktioner kopplade till användandet.

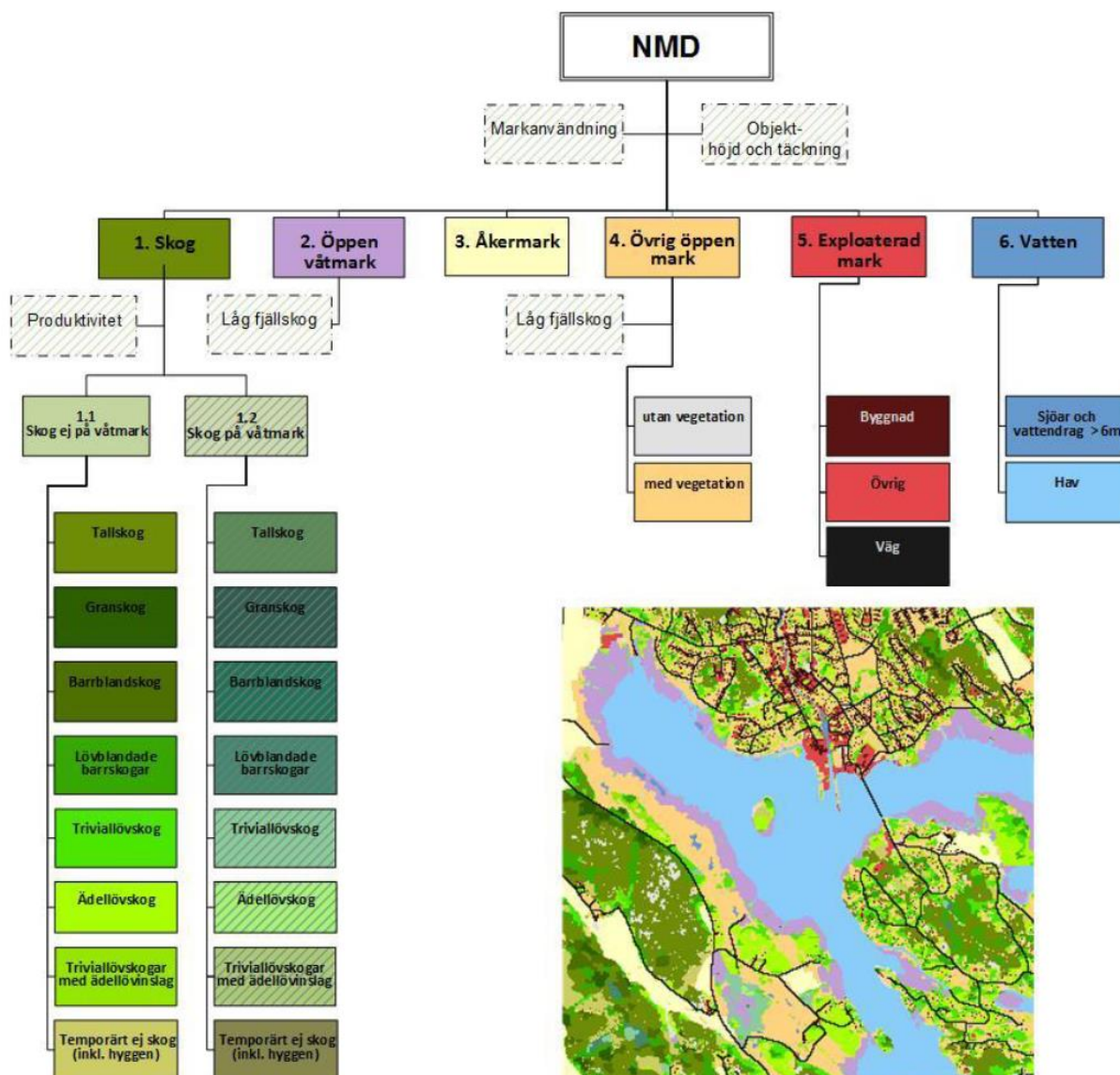
Karteringsarbetet utförs av Metria på uppdrag av Naturvårdsverket. NMD omfattar med få undantag<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Enstaka platser kan sakna kartering på grund av förekomst av moln i satellitfoto eller avsaknad av Laserdata.

hela Sveriges yta och redovisar markanvändning och vegetation baserat på EU:s klassificeringssystem för CORINE Land Cover [6].

I dagsläget ingår 24 tematiska klasser i tre hierarkiska nivåer men Naturvårdsverket arbetar på att lägga till fler klasser i framför allt fjällvärlden. Förutom den grundläggande karteringen finns tilläggsattribut, bland annat *Markanvändning anlagda områden*<sup>2</sup> från SCB:s infrastrukturobjekt med information som bör kunna komma till nytta vid framtagning av impedanskartor.

Den information som nuvarande version av NMD omfattar utgör dock inte i sig ett helt tillräckligt underlag för en god skattning av markimpedansen i alla situationer, se avsnitt 3.



Figur 4. Översikt Nationella Marktäckedata, med basskikt och tilläggs-skikt, där rutorna för de senare har punktstreckade ramar [7].

NMD tas fram med hjälp av bilder från den europeiska rymdorganisationen ESA:s satellitpar Sentinel-2A/2B som ingår i rymdprogrammet Copernicus. Tillsammans täcker de Sverige med fotografier

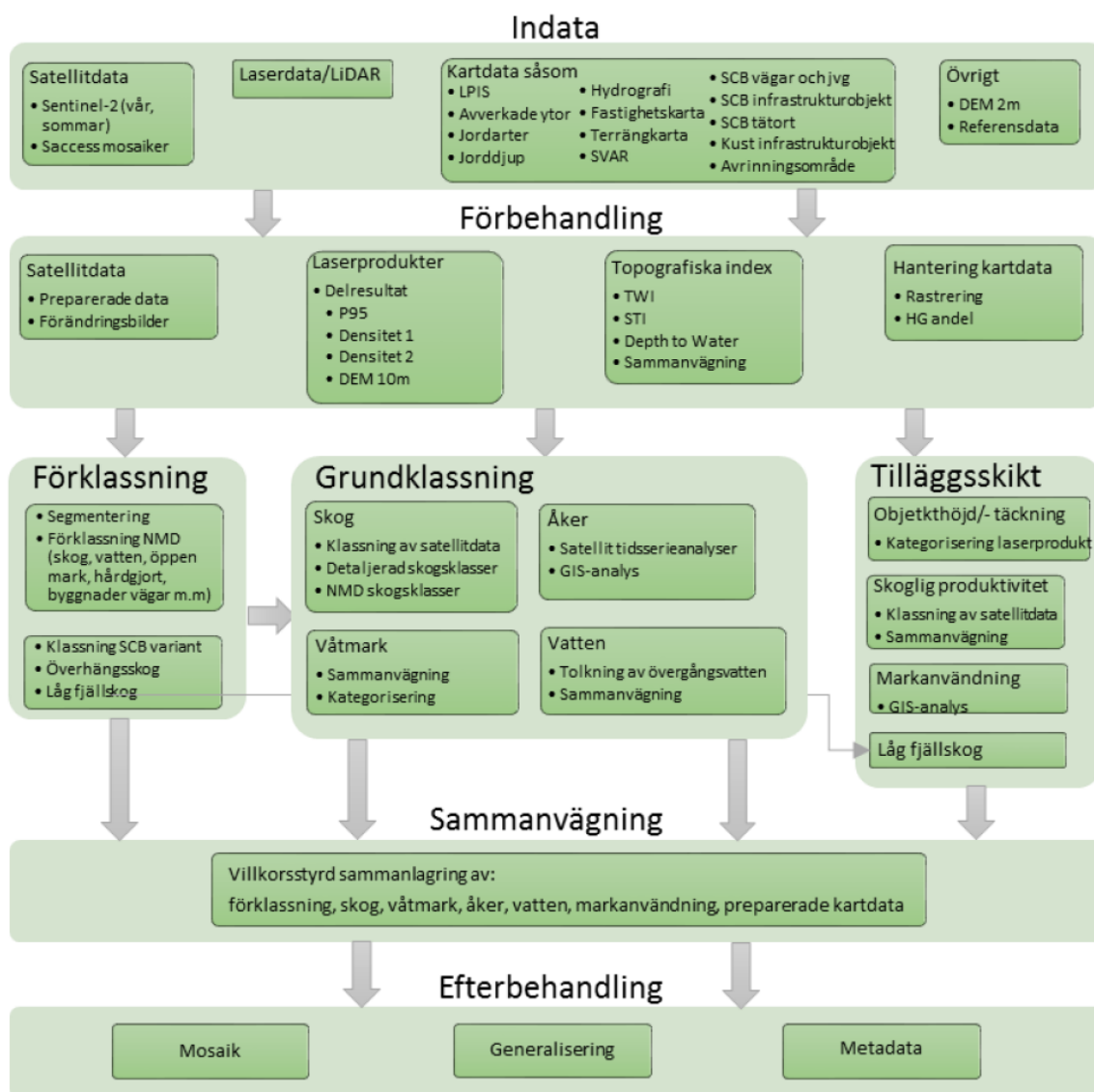
<sup>2</sup> Omfattar flygplatsområde, kyrkogårdar/begravningsplatser, grus-, berg-, mineral- och torvtäkt, gruvområde, koloniområde, campingplats, golfbana, skidbacke, motorbana, övrig sport- och idrottsanläggning, avfalls- och återvinningsanläggning [8].



ungefär var tredje dag vilket ger mycket bättre möjligheter än tidigare att få användbara bilder trots en kort vegetationsäsong. Bilderna analyseras i kombination med Lantmäteriets laserskanning av terränghöjd, samt i mindre utsträckning även andra kartunderlag. Se Figur 5 för en översikt över processen.

Karteringen görs i rasterformat med 10 meters upplösning (rutor om 10x10 m). Produkten lagras på filformatet GeoTIFF som kan laddas ned från Naturvårdsverkets nedladdningstjänst för geodata [11], länsvis eller för hela Sverige.

Naturvårdsverkets ambition är att NMD ska uppdateras vart femte år och ha en kontinuerlig ajourhållning.



Figur 5. Översiktlig beskrivning av produktionsprocessen för NMD [7].

### 2.1.1 Nya nationella specifikationer för marktäckedata

Lantmäteriet arbetar på att ta fram nationella specifikationer för marktäckedata. Enligt det arbetsmaterial som finns tillgängligt att ta del av kommer en marktäcketyper kunna detaljeras i högst fyra nivåer [9]. Nivån väljs efter behov. Se Tabell 3.

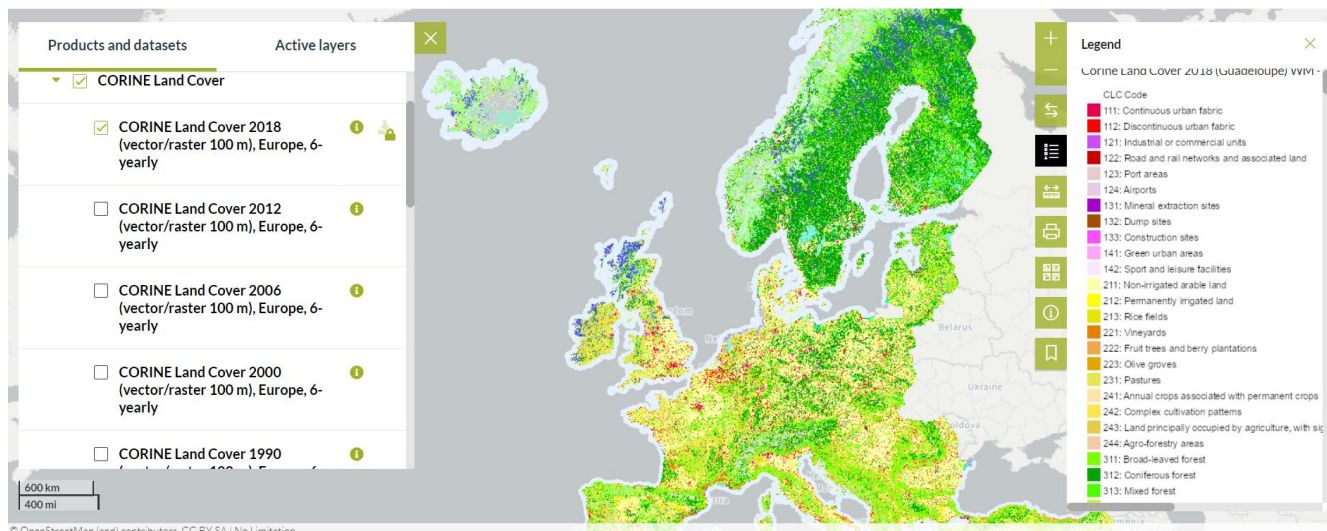
Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4	Beskrivning och eventuella kommentarer
vatten				Område permanent täckt av vattenförekomst.
vatten	hav			Vattenförekomst som tar emot vatten från vattenförekomster belägna på land och som är sammanhängande med övriga hav. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Hav
vatten	stillastående vatten			Permanent, utbredd reglerad eller oreglerad ytvattenförekomst på land utan signifikant strömningshastighet. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten
vatten	stillastående vatten	sjö		Naturligt stillastående vatten eller med begränsad påverkan av låg damnutröskel. Inkluderar även mindre ytvattenförekomster som benämns tjärn, göl eller liknande. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/ Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten; Ursprungstyp=naturlig; Stillastående vattentyp=sjö
vatten	stillastående vatten	anlagt stillastående vatten		Antropogent skapad ytvattenförekomst. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten; Ursprungstyp=anlagd
vatten	stillastående vatten	anlagt stillastående vatten	regleringsmagasin	Antropogent skapad ytvattenförekomst genom dämning vanligen för utvinning av energi. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten; Ursprungstyp=anlagd; Stillastående vattentyp =regleringsmagasin
vatten	stillastående vatten	anlagt stillastående vatten	damm	Anlagd ytvattenförekomst. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten; Ursprungstyp=anlagd; Stillastående vattentyp =damm
vatten	stillastående vatten	anlagt stillastående vatten	bassäng	Byggt ytvattenförekomst. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Stillastående vatten; Ursprungstyp=anlagd; Stillastående vattentyp =bassäng
vatten	rinnande vatten			Permanent, reglerad eller oreglerad ytvattenförekomst med signifikant strömningshastighet. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Rinnande vatten
vatten	rinnande vatten	vattendrag		Naturligt vattendrag. Inkluderar vattendrag med olika lokala beteckningar såsom älv, å, bäck etc. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Rinnande vatten; Ursprungstyp=naturlig; Rinnande vattentyp=vattendrag
vatten	rinnande vatten	anlagt rinnande vatten		Konstruerat vattendrag. Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Rinnande vatten; Ursprungstyp=anlagd
		anlagt rinnande vatten	kanal	Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/Rinnande vatten; Ursprungstyp=anlagd; Rinnande vattentyp =kanal
		anlagt rinnande vatten	dike	Kommentar: Geodataspecifikation Vatten/ Rinnande vatten; Ursprungstyp=anlagd; Rinnande vattentyp =dike
anlagd och bebyggd mark				Mark som är belagd, schaktad eller täckt av byggnader eller konstruktioner.
	bebyggd mark			Mark helt eller delvis täckt av byggnader eller konstruktioner.
	anlagd mark			Mark där större delen av ytan är täckt av beläggning eller är schaktad.
	anlagd mark	hårdgjord mark		Anlagd svärgenomsläpplig yta. Asfalt, gatsten etc.
	anlagd mark	hårdgjord mark	asfalt	Beläggning av asfalt.
	anlagd mark	hårdgjord mark	gatsten	Beläggning av stenar som anordnats till varandra för att bilda en slitstark ytbeläggning på gata eller väg.
	anlagd mark	hårdgjord mark	kullersten	Beläggning av stenar eller medelstora stenblock med avrundade kanter.
	anlagd mark	hårdgjord mark	marksten	Beläggning av gjutna stenar i olika former.
	anlagd mark	hårdgjord mark	betongplattor	Beläggning av gjutna betongplattor med raka kanter.
	anlagd mark	hårdgjord mark	packad grusbädd	Mark täckt med packat grus.
	anlagd mark	hårdgjord mark	natursten	Beläggning av byggnadssten som bryts ur berggrunden och används för byggnader och anläggningar.
	anlagd mark	hårdgjord mark	konstgräs	Mark belagd med konstgräs
	anlagd mark	hårdgjord mark	gummibeläggning	Mark belagd med en yta av gummi
	anlagd mark	genomsläpplig mark		Mark på lösa jordavlagningar.
	anlagd mark	genomsläpplig mark	schaktad mark	Mark där schaktning utförts.
kulturmark				Mark med växter som är sådda eller planterade på vanligtvis kultiverad mark. Kan ha en varierande inblandning av naturliga växter beroende på skötselintensitet. Även trädor ingår. Markanvändning kan vara jordbruk.

Tabell 3. Detaljer marktäcketyper med fyra detaljeringsnivåer. Exempel från Lantmäteriets pågående arbete med nationell informationspecifikation av Marktäcke.

## 2.2 CORINE Land Cover (EU)

CORINE Land Cover (CLC) är ett av projekten i CORINE (Coordination of Information on the Environment) som EU startade för att underlätta planering och genomförande av miljöpolitiken. Arbetet utförs inom Copernicus som är EU:s jordobservationsprogram.

CLC är en databas över Europas markanvändning och vegetation som sammanställs av Europeiska miljöbyrå (EEA). Den första utgåvan kom redan 1990 och EEA har med andra ord producerat satellitbaserade marktäckedata för EU i mer än 30 år. Sedan år 2000 publiceras en ny utgåva vart sjätte år, i nuläget är den senaste CLC 2018.



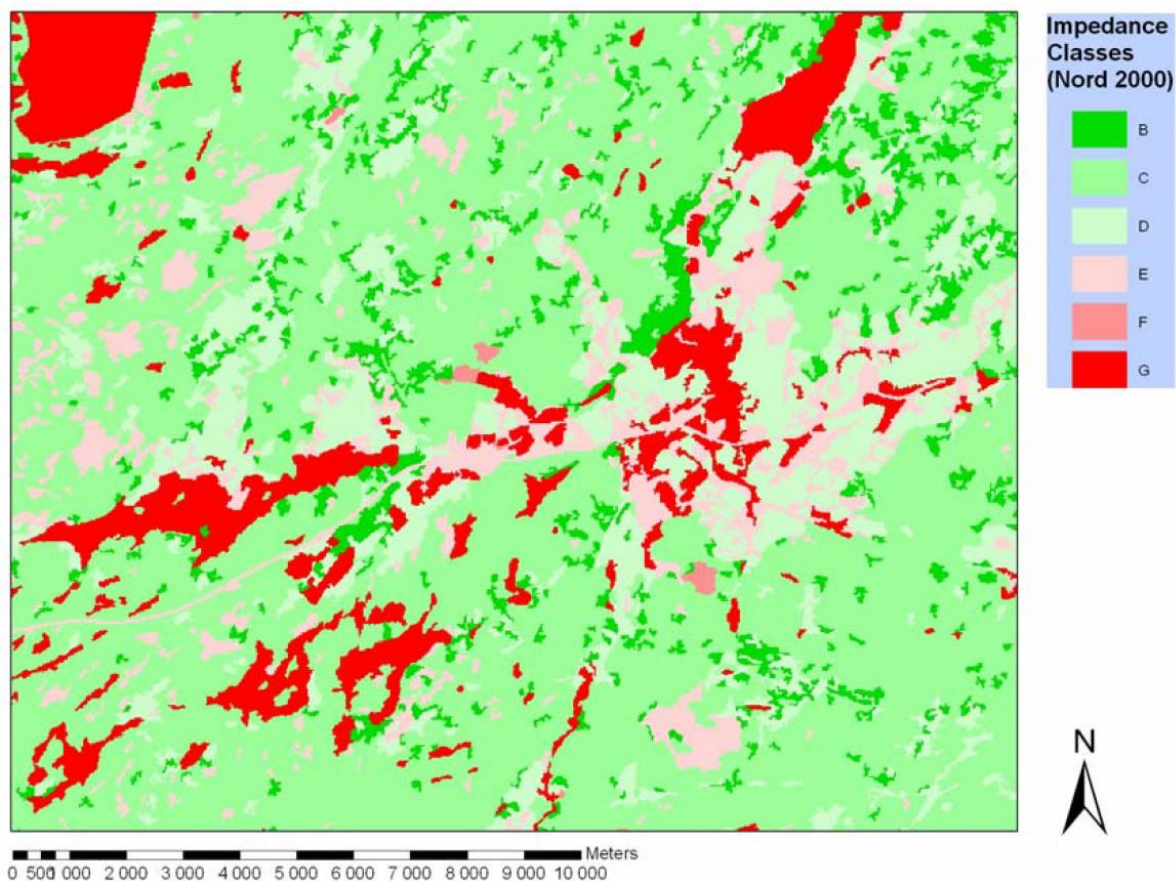
Figur 6. CORINE Land Cover, bild från webbaserad viewer [13].

Databaser med marktäckedata kan laddas ned i olika format (både vektor och raster) och för flera olika år, vilket kan vara användbart för att studera förändringar över tid (jämför med NMD som bara finns i en utgåva) [13][14]. Data är gratis att ladda ned och använda.

Vegetation och markslag redovisas i 44 olika klasser, med huvudklasserna skog, vatten, våtmarker, jordbruksmark och anlagda ytor. Vissa av klasserna förekommer dock inte i Sverige, såsom risfält och olivlundar. Lantmäteriet tillhandahåller en svensk variant av CLC med 35 klasser. Upplösningen är rutor om 100 x 100 m, alltså betydligt grövre än i NMD [15].

### 2.3 GSD-Marktäckedata (produkten är inte längre tillgänglig)

2004 undersöktes för första gången möjligheten att använda marktäckedata baserad på satellitbilder för att skatta den akustiska markimpedansen [5]. Arbetet ingick i det europeiska forskningsprojektet IMAGINE och en sammanfattning av resultaten finns återgivna i projektleverans 8 [17].

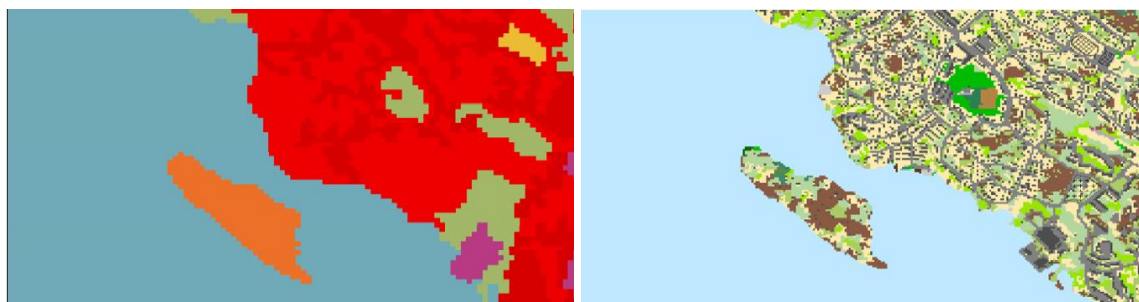


Figur 7. Markimpedansklasser för Borås med omnejd, från [5].

De olika marktyperna i GSD-Marktäckedata, en föregångare till Naturvårdsverkets Nationella Marktäckedata (NMD), jämfördes med resultat från fältmätningar av de olika marktypernas impedansklass. Det tekniska utfallet av projektet blev lyckat och bland annat producerades världens första markimpedanskartor (Figur 7) med hjälp av den översättningstabell som var projektets huvudsakliga resultat, se Tabell 4.

Kategorierna i nuvarande NMD skiljer dock en del från de som användes i GSD-Marktäckedata varför det inte går att göra en rak översättning av NMD till markimpedans med hjälp av Tabell 4.

Upplösningen hos GSD-Marktäckedata var 30 x 30 m, alltså klart sämre än vad som numera är möjligt (NMD har upplösningen 10 x 10 m). Andra förbättringar hos NMD relativt GSD-Marktäckedata som kan nämnas är en generellt högre detaljnivå, bättre grundstruktur med möjlighet att skapa fler klasser i senare analyser, och att den tematiska klassningen kan kompletteras med tillhörande attribut.



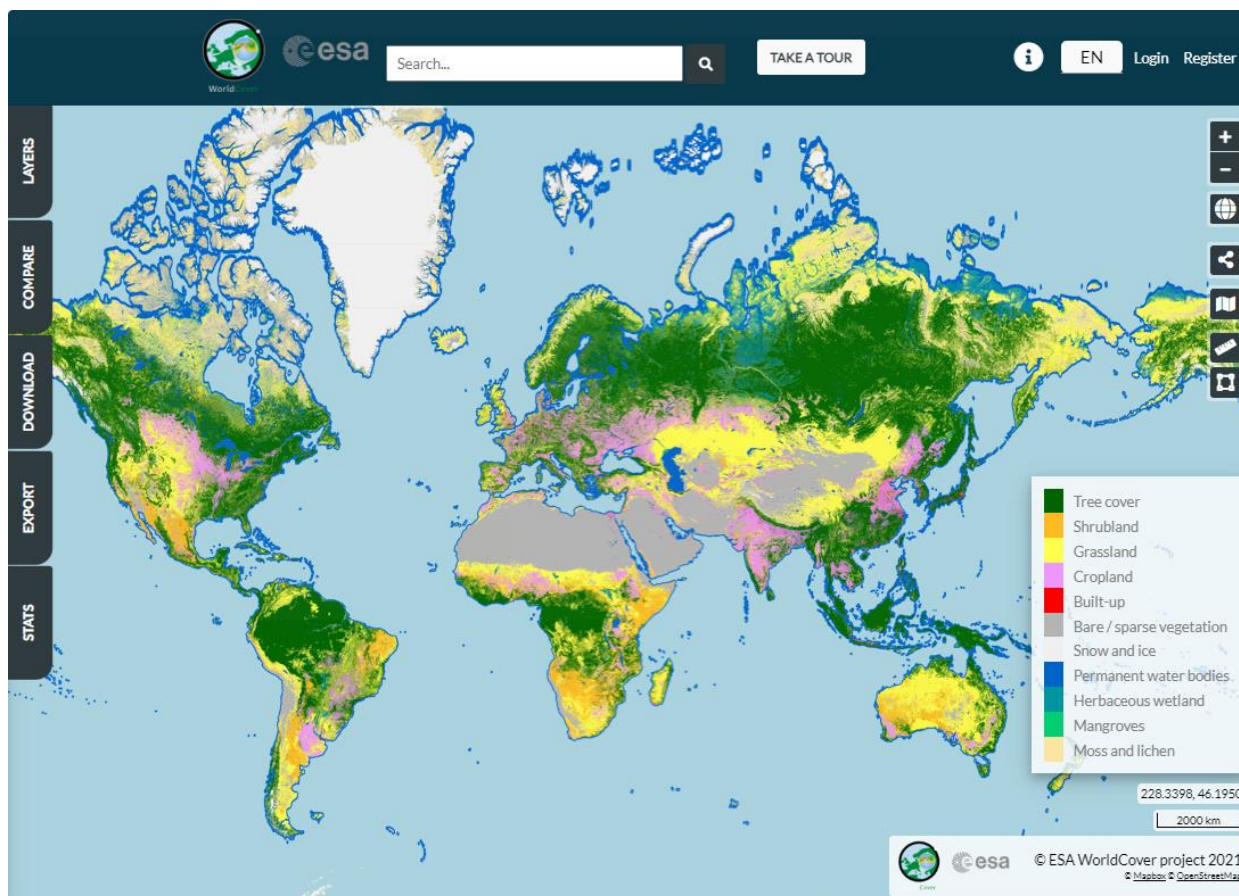
Figur 8. Två marktäckekartor för Hässelby strand: GSD-Marktäckedata till vänster och NMD till höger [6].

Gridcode	GLC-Class	Impedance class
	1. Laid out areas	
	1.1 Urban areas	
1	1.1.1 Dense urban areas	G (20000)
2-5	1.1.2 Sparse urban areas	D (200)
	1.2 Industry, trading units, public service and military installations and transport units	
6	1.2.1 Industry, trading units, public service and military installations	G (20000)
7	1.2.2 Road and railway networks with surrounding areas	E (500)
8	1.2.3 Harbour areas	G (20000)
9	1.2.4 Airports	D (200)
10-13	1.3 Mining areas, waste dumps and building sites	F (2000)
	1.4 Laid out, non-cultivated, overgrown areas	E (500)
14	1.4.1 Urban green areas	E (500)
15-20	1.4.2 Sport and recreational areas	E (500)
30-32	2. Land dedicated to agriculture	D (200)
	3. Forests and semi-natural ground	
	3.1 Forests	
	3.1.1 Deciduous forests	
40	3.1.1.1 Deciduous forest, not on bog or on visible rock	B (31,5)
41	3.1.1.2 Deciduous forests on bog	B (31,5)
42	3.1.1.3 Deciduous forest on visible rock	E (500)
	3.1.2 Pine forest	
43-45,56	3.1.2.1 Pine forest not on lichen ground	C (80)
46	3.1.2.2 Pine forest on bog	C (80)
47	3.1.2.3 Pine forest on visible rock	E (500)
	3.1.3 Mixed forest	
48	3.1.3.1 Mixed forest, not on bog or visible rock	C (80)
49	3.1.3.2 Mixed forest on bog	C (80)
50	3.1.3.3 Mixed forest on visible rock	E (500)
	3.2 Bush- and/or herblike vegetation types	
51,63,64	3.2.1 Naturally grass-covered ground	D (200)
52	3.2.2 Moorland (except grass covered land))	D (200)
53-55	3.2.4 Transition stage forest/bush	C (80)
	3.3. Open ground with no or sparse vegetation	
58	3.3.1 Beaches, sand dunes and sand planes	D (200)
59	3.3.2 Visible rock and boulders	F (2000)
60	3.3.3 Areas with sparse vegetation	E (500)
61	3.3.4 Fire fields	C (80)
62	3.3.5 Glaciers and permanent snowfields	B (31,5)
	4. Open wetlands	
	4.1 Fresh water wetlands	
70	4.1.1 Limnogene wetlands	F (2000)
	4.1.2 Moorland	E (500)
71	4.1.2.1 Wet moor	F (2000)
72	4.1.2.2 Other moor	E (500)
73	4.1.2.3 Peat bog	E (500)
74	4.2 Salt affected wetlands	F (2000)
80-86	5. Water	G (20000)
99	SMD-class missing	E (500)

Tabell 4. Markklasser från GSD-Marktäckedata och motsvarande Nord2000 impedansklasser A–H [5].

## 2.4 ESA WorldCover

ESA:s projekt WorldCover har tagit fram den första globala marktäckeprodukten, se Figur 9. Upplösningen är rutor om 10 x 10 m och klassificeringen omfattar de 11 klasser som framgår av figuren [18]. Datafiler kan laddas ned kostnadsfritt, utan användningsbegränsningar.



Figur 9. Marktäckekarta från ESA WorldCover [19].

## 2.5 Dynamic World

Ovan nämnda marktäckekartor dateras upp med några års mellanrum. I projektet Dynamic World tar forskare hjälp av artificiell intelligens för att producera marktäckekartor som uppdateras kontinuerligt i nära nog realtid. Detta är möjligt eftersom satellitbilderna uppdateras så ofta (täcker in hela jordklotet på ca tre dagar). Produkten heter Dynamic World Land Use Land Cover (LULC), upplösningen är 10 m grid och det finns åtta markklasser [20].

## 2.6 Fjärranalys

Genom så kallad fjärranalys av flyg- och satellitbilder är det möjligt att, med dator eller manuellt, kartera markdata. Såväl flyg- som satellitfoto finns att ladda ned och använda fritt, de senare exempelvis från europeiska Copernicus [16]. Fjärranalys av flygfoton är sedan länge vanligt förekommande vid mindre bullerutredningar (se avsnitt 1.4).

Det är också åtminstone teoretiskt möjligt att bygga upp impedanskartor med hjälp av fjärranalys av satellitbilder, med manuell eller automatisk bildanalys. Att utveckla algoritmer och i stor skala genomföra automatisk bildanalys av satellitfoton specifikt för ändamålet att ta fram impedanskartor har dock det emot sig att det sannolikt erfordras en hög (initial) arbetsinsats.

### 3 Översättningsproblem

Idealt skulle en direkt översättning<sup>3</sup> från en kartprodukt för marktäckedata till markimpedans ge perfekta resultat överallt. För det erfordras bland annat att:

- marktäckekartans klasser som ett minimum omfattar samtliga av de beskrivna fall som exemplifieras för Nord2000:s olika impedansklasser i Tabell 1,
- analysen av satellitbilderna som delar in marken i olika klasser fungerar perfekt, så att resultatet alltid svarar mot markens verkliga impedans, och att
- upplösningen är så hög och platsprecisionen så god att impedanser (och gränser mellan olika impedanser) alltid hamnar på precis rätt koordinater.

Ovanstående villkor går inte att uppfylla med dagens marktäckeprodukter och det kan inte sägas vara sannolikt att de kommer att klaras i framtiden heller. En enkel jämförelse med beskrivningarna för impedansklasserna i Tabell 1 ger att de markklasser som ingår i NMD inte kan täcka in alla varianter som erfordras för att bestämma markimpedansen överallt. Tillgänglig upplösning och platsprecision kan också vara otillräcklig för vissa bullerberäkningar där ibland så små ändringar som delar av en meter kan påverka resultatet.

Analysen av satellitbilderna misslyckas ibland och orsakar felaktig klassificering av marken vilket leder till att markimpedansen baseras på fel underlag. Träd och annan vegetation kan göra att underliggande hårdgjorda ytor, främst i stadsmiljö, misstas för grönytor av analysalgoritmerna vilket ger fel definition av markimpedans. Stora balkonger med växtlighet, växtlighet på vertikala väggar, samt gröna tak<sup>4</sup> kan komma att klassas som skog på grund av objektens höjd och deras färgspektrum. Ett annat exempel är att storleken på vägytor tenderar att överskattas med nuvarande algoritmer eftersom hela pixeln ansätts som väg om den till någon del inkluderar en väg.

Lunds universitet har undersökt hur klassificeringen i NMD fungerar i ett villaområde i Malmö, en områdestyp där algoritmerna ställs inför ovanstående svårigheter [21]. Det som är särskilt tydligt är att den automatiska algoritmen tenderar att överskatta vegetation, manuella metoder för klassificering ger betydligt mindre andel vegetation, se Figur 11.

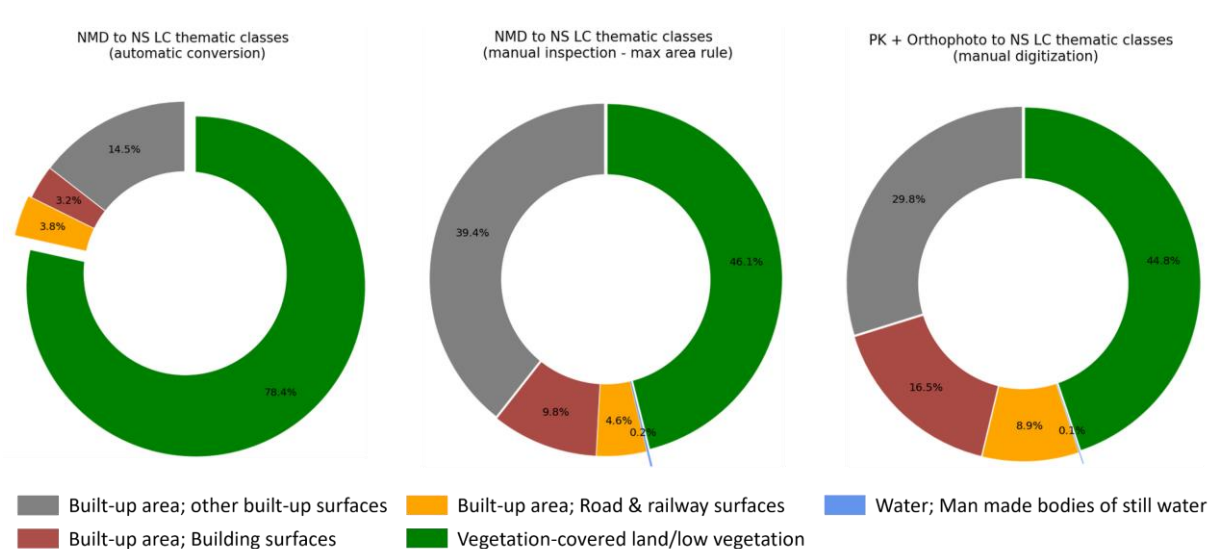
---

<sup>3</sup> Med hjälp av en översättningstabell.

<sup>4</sup> ”Gröna tak är ett samlingsnamn för olika vegetationsuppbyggnader på tak eller tak med levande växtlighet som takbeläggning” (Wikipedia).



Figur 10. Det undersökta området i Malmö.



Figur 11. Resultat av klassificering relativt avsökningsteknik. Från vänster: automatisk algoritm, manuell avsökning med majoritetsregel<sup>5</sup>, respektive manuell editering.

Trots den typen av ofullkomligheter kan en direkt<sup>3</sup> översättning till markimpedans ändå fungera tillräckligt bra för många tillämpningar. Det kan exempelvis gälla bullerkartläggningar av översiktlig karaktär där det är mindre viktigt att beräknad ljudnivå stämmer i samtliga punkter så länge som resultatet i medeltal är korrekt och spridningen rimligt begränsad.

Det går att förbättra markimpedansunderlaget genom att komplettera marktäckedata med andra underlag. Ett exempel på en relativt enkel åtgärd är att impedans för vägar och järnvägar hämtas från trafikobjekt istället för från marktäckedata. Det ger bättre precision hos både impedans och koordinater. Även NMD:s tilläggs-skikt för anlagda områden<sup>2</sup> från SCB:s infrastrukturobjekt och förhoppningsvis också annan vektoriserad geoinformation, bör i vissa fall kunna förbättra utfallet.

<sup>5</sup> Välj den marktäckeklass som täcker den störst delen av respektive cell.



Det skulle också kunna bli aktuellt att ersätta den direkta översättningen av marktäckedata i vissa specifika områden där den automatiska klassificeringen har särskilt stora problem. Manuella korrigeringar i efterhand är en annan möjlighet, och då behövs anvisningar som pekar ut var sådana kan behövas och hur de bör genomföras.

Utöver ovanstående kan tillgängliga filformat innebära ett praktiskt problem när NMD och dess motsvarigheter ska utgöra underlag i bullerberäkningar. NMD redovisas som raster och levereras som GeoTIFF-filer, men bullerberäkningsprogrammen behöver ytojekt i vektorformat. För att kunna användas till bullerberäkningar behöver informationen i GeoTIFF-filerna först göras om från raster till vektorbaserade ytojekt med attribut, som exempelvis sparas som SHP-filer. Ett sådant arbete kräver dock särskild kompetens och mjukvara. I samband med att informationen görs om till vektorformat är det också lämpligt att reducera antalet objekt genom att sätta samman intilliggande rutor av samma markslag till sammanhängande objekt, i syfte att reducera beräkningsbörda och minnesbehov vid bullerspridningsberäkningar.

## 4 Sammanfattning

Fjärranalys av ortofoton har länge använts för att ta fram underlag om mjuk eller hård mark till Nord96, och med stöd av användarhandledningen för Nord2000 bör det fungera rimligt bra även med Nord2000. Det är dock en manuell metod som därmed i första hand lämpar sig för mindre utredningar. Det kan inte uteslutas att fjärranalys för att ta fram markimpedansdata, manuell eller mjukvarubaserad, kan komma till nytta i särskilda fall.

Översättning av marktäckekartor till markimpedans ger tillgång till markimpedansvärden för hela Sverige, och i princip likaså för hela världen. För svensk del förefaller det närmast till hands att utgå från Nationella Marktäckedata som har hygglig upplösning vad gäller rasterstorlek och antal klasser och som är anpassad för svenska behov. Men det kan finnas andra alternativ, åtminstone för särskilda tillämpningar.

En översättning av marktäckedata till markimpedans som enbart förlitar sig på en översättningstabell kommer ibland bli felaktig. Det är möjligt att det kan ignoreras vid bullerkartläggningar av översiktlig karaktär och utanför bebyggd miljö, men om markimpedansen ska användas som indata vid detaljplaneutredningar och liknande mer noggranna beräkningar behöver sannolikt felet identifieras och åtgärdas. I viss utsträckning görs det redan idag genom manuell jämförelse med ortofoton, men detta kan utvecklas vidare genom att ta hjälp av andra underlag. Här finns ett behov av metodutveckling och anvisningar.

Klart är att det hade inneburit både en rationalisering och en kvalitetshöjning om det hade funnits en färdig kvalitetssäkrad GIS-dataprodukt med markimpedans som kan användas som underlag till alla typer av bullerberäkningar med rimlig noggrannhet. Frågeställningar som behöver hanteras är vilka metoder och underlag som ska användas för att ta fram en sådan produkt, vad som är ett lämpligt data- respektive filformat, hur den kan uppdateras löpande, och vem som ska tillhandahålla den.

### 4.1 Rekommendation

Undersök hur en markimpedanskarta som specifik dataprodukt kan tas fram. Analysen bör omfatta val av lämpliga metoder och underlag för att producera impedanskartor, framställande av minst en prototypdatafil, samt att pröva dess funktion med ljudspridningsberäkningar. Eftersom produkten ska utformas för att användas av konsulter vid ljudspridningsberäkningar bör den hålla så god kvalitet som möjligt och samtidigt vara rationell att använda.

## 5 Referenser

- [1] H. G. Jonasson, The propagation and screening of wheel/rail noise, SP Report 1996:43, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås, 1996.
- [2] B. Plovsing, Nord2000. *Comprehensive outdoor sound propagation model. Part 1: Propagation in an atmosphere without significant refraction*. AV 1849/00, DELTA, revised 2006.
- [3] Ground surfaces: *Determination of the acoustic impedance* (NT ACOU 104), Nordtest 1999.
- [4] H. G. Jonasson, S. Storeheier, *Revision of NT ACOU 104 for the measurement of the acoustic impedance of ground*, Nordic Innovation Centre (NICE), project number 04146, 2006.
- [5] M. Sohlman, H. G. Jonasson, A. Gustafson, *Using satellite data for the determination of the acoustic impedance of ground*, SP, Metria, 2004.
- [6] Nationella marktäckedata – ett nationellt system för information om landskapet och dess förändringar. Naturvårdsverket, version 1.1, 2017.
- [7] Nationella marktäckedata 2018 basskikt, produktbeskrivning utgåva 2.2, 2020-07-07.
- [8] Planeringskatalogen, Länsstyrelsens tjänst för planeringsunderlag, [www.planeringskatalogen.se](http://www.planeringskatalogen.se)
- [9] Nationell informationsspecifikation marktäckedata, arbetsmaterial, version 1.0.1, 2020-08-07.
- [10] *Hela Sveriges marktäckedata kartläggs genom Nationella marktäckedata*, artikel på Rymdstyrelsens webbsida, [www.rymdstyrelsen.se/upptack-rymden/nytta-med-rymden/hela-sveriges-marktacke-kartlaggs-genom-nationella-marktackedata/](http://www.rymdstyrelsen.se/upptack-rymden/nytta-med-rymden/hela-sveriges-marktacke-kartlaggs-genom-nationella-marktackedata/), publicerad 2020-03-25.
- [11] Naturvårdsverkets metadatakatalog för geodata, [geodatakatalogen.naturvardsverket.se](http://geodatakatalogen.naturvardsverket.se).
- [12] A. Gustafson, A. Genell, M. Ögren, *NORD2000 – Användarhandledning för beräkning av buller från väg- och spårtrafik för svenskt bruk*, Kunskapscentrum om Buller, 2024.
- [13] Copernicus webbsida om CORINE Land Cover, [land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover](http://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover), 2023-12-03.
- [14] Lantmäteriets webbsida om CORINE Land Cover, <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/internationell-samverkan/corine-land-cover>, 2023-12-03.
- [15] CORINE Land Cover, produktbeskrivning, dokumentversion 2.0, Lantmäteriet, 2019-02-12.
- [16] Copernicus webbsida, <https://www.copernicus.eu/en>.
- [17] IMAGINE – WP1 Final Report, Guidelines and good practice on strategic noise mapping, Deliverable 8 of the IMAGINE project, IMA01-TR22112006-ARPAT12, 2007-02-19.
- [18] R. Van De Kerchove et al, WorldCover, Product user manual version 1.0, WorldCover\_PUM\_v1.0, ESA, 2020-10-15.
- [19] Bild hämtad från webbaserad viewer för ESA WorldCover, <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover>, 2023-12-01.
- [20] C. F. Brown et al, *Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping*, Scientific Data, 2022.
- [21] K. Pantazatou et al, *Evaluation of spatial data input requirements in noise modelling - a case study of the effect of land cover and building facade information* (preliminär titel för ännu ej publicerad artikel), Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap vid Lunds universitet, 2023.