



Referensvärden för bärighetsbedömning av skogsbilvägar – en fältstudie med LWD och DCP

*Reference values for bearing capacity assessment of forest roads
– A field study using LWD and DCP*

SOFIA VÖRDE



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2026:20

SLU-Skogsmästarskolan

Herrgårdsvägen 8

739 31 SKINNSKATTEBERG

www.slu.se/skogsmastarskolan

Referensvärden för bärighetsbedömning av skogsbilvägar – en fältstudie med LWD och DCP

Reference values for bearing capacity assessment of forest roads – A field study using LWD and DCP

Sofia Vörde

Handledare: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Elisabeth Wallin, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Självständigt arbete i Skogsbruksvetenskap

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX1054

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2026

Omslagsbild: Skogsbilväg söder om Tisaren, Hallsberg. Foto: Sofia Vörde

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2026:20

Nyckelord: CBR, E_{vd}, tillgänglighet



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Skogsbilvägar är en viktig del av skogsbrukets transportsystem och de behöver ha en tillräcklig bärighet för att möjliggöra effektiva virkestransporter. Bärigheten påverkas av flera samverkande faktorer, bland annat vägkonstruktion, jordart, dränering och vattenförhållanden. Det finns därför behov av objektiva fältmetoder som kan bidra till bedömningen av skogsbilvägars bärighet.

Som ett examensarbete på SLU Skogsmästarskolan har en studie genomförts i syfte att undersöka bärigheten hos skogsbilvägar med hjälp av lätt fallvikt (Light Weight Deflectometer, LWD) och Dynamic Cone Penetrometer (DCP). I studien undersöktes även variationer mellan tillgänglighetsklasser, dräneringsförhållanden och jordarter samt sambandet mellan dynamisk deformationsmodul (E_v) och California Bearing Ratio (CBR). Fältstudien genomfördes under sommaren 2026 på åtta vägpunkter på skogsbilvägar i Hallsbergs kommun. Återkommande mätningar utfördes på vägarna med LWD och DCP, dels i båda hjulspåren dels i vägens mitt.

Resultaten visade ett tydligt positivt samband mellan E_v och CBR ($R^2 = 0,731$), och bärighetsvärdena var genomgående högre i hjulspåren än i vägens mitt. Punkterna på vägar klassade i tillgänglighetsklass B enligt NVDB hade de högsta uppmätta värdena, medan klass D hade de lägsta. Vid studiens fältbedömning bedömdes sju av åtta vägpunkter (87,5 procent) till en lägre tillgänglighetsklass än vad som angavs i NVDB. Dikade vägsträckor hade i genomsnitt högre bärighetsvärden än odikade, men resultatet var inte entydigt. Även mellan jordartsgrupperna förekom variationer utan att något tydligt samband kunde fastställas.

Studien visar att LWD och DCP kan användas som kompletterande metoder för bedömning av skogsbilvägars bärighet. För att utveckla generella referensvärden krävs dock ett större datamaterial och standardiserade mätningar där bland annat mätpunkt, jordart, dränering samt fukt- och väderförhållanden beaktas.

Nyckelord: CBR, E_v , tillgänglighetsklass

Abstract

Forest roads are an important part of the forestry transport system and need sufficient bearing capacity to enable efficient timber transportation. Bearing capacity is influenced by several interacting factors, including road construction, soil type, drainage and water conditions. There is therefore a need for objective field methods that can contribute to the assessment of forest road bearing capacity.

The aim of this study was to investigate the bearing capacity of forest roads using a Light Weight Deflectometer (LWD) and a Dynamic Cone Penetrometer (DCP). The study also examined variations between accessibility classes, drainage conditions and soil types, as well as the relationship between the dynamic deformation modulus (E_{vd}) and the California Bearing Ratio (CBR).

The field study was conducted during the summer of 2026 at eight road locations on forest roads in Hallsberg Municipality, Sweden. Repeated measurements were carried out using LWD and DCP in both wheel tracks and in the centre of the road.

The results showed a clear positive relationship between E_{vd} and CBR ($R^2 = 0.731$), and the bearing capacity values were consistently higher in the wheel tracks than in the centre of the road. Road locations in accessibility class B according to the Swedish National Road Database (NVDB) had the highest measured values, while class D had the lowest. In the field assessment conducted in this study, seven out of eight road locations (87.5 percent) were assigned a lower accessibility class than indicated in NVDB. Drained road sections had, on average, higher bearing capacity values than undrained sections, although the results were not conclusive. Variations were also observed between soil groups, but no clear relationship could be established.

The study shows that LWD and DCP can be used as complementary methods for assessing the bearing capacity of forest roads. However, developing general reference values requires a larger dataset and standardised measurements that account for factors such as measurement position, soil type, drainage, and moisture and weather conditions.

Key words: CBR, E_{vd} , accessibility class

Förord

Detta examensarbete har gett mig möjligheten att fördjupa mig i ett område som under utbildningens gång har väckt ett allt större intresse, skogsbilvägar och deras bärighet. Arbetet har varit både lärorikt och utmanande, gett mig större förståelse för hur välfungerande skogsbilvägar är, inte bara för skogsbruket utan även för samhället i stort.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare på Skogforsk, Dan Lindström. Tack för allt stöd och engagemang under arbetets gång. Din hjälp, dina idéer och våra diskussioner har varit mycket värdefulla och hjälpt mig föra arbetet framåt.

Ett stort tack vill jag även rikta till Roland Larsson, som på många sätt öppnade vägen till mitt intresse för just skogsbilvägar. Genom kunskap, inspiration och ett stort engagemang för ämnet väcktes en nyfikenhet som så småningom kom att ligga till grund för detta examensarbete.

Jag vill även tacka min handledare vid Skogsmästarskolan, Staffan Stenhag. Din stora kunskap inom statistik och din förmåga att se arbete som helhet har varit ett ovärderligt stöd. Dina goda råd och hjälp med att hitta rätt väg när frågorna varit många har betytt mycket under arbetets gång.

Arbetet har också tydliggjort betydelsen av att det finns möjlighet att praktiskt undersöka och utveckla kunskapen om skogsbilvägar. Därför vill jag särskilt lyfta fram väglabbet vid Skogsmästarskolan i Skinnskatteberg. En fortsatt satsning på väglabbet kan skapa goda möjligheter för framtidens studenter att kombinera teori med praktiska undersökningar och samtidigt bidra till ny kunskap inom området.

Det finns fortfarande mycket att undersöka när det gäller skogsbilvägars konstruktion, bärighet, underhåll och klimatets påverkan. Jag hoppas därför att detta arbete kan vara en liten del i ett fortsatt arbete med att utveckla kunskapen om skogsbilvägar och metoderna för att bedöma deras bärighet.

Sofia Vörde
Skinnskatteberg, 2026

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 BAKGRUND	1
1.2 VÄGKLASSNING OCH VAD SOM PÅVERKAR DEN	1
1.2.1 NATIONELLA VÄGDATABASEN	1
1.2.2 FRAMKOMLIGHETSKLASSER	2
1.2.3 TILLGÄNGLIGHETSKLASSER	2
1.2.4 BÄRIGHETEN	2
1.2.5 JORDARTENS BETYDELSE	3
1.3 BEGREPPEN EVD OCH CBR	3
1.4 PROBLEMFORMULERING, SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	4
1.5 HUVUDHYPOTES	5
2. MATERIAL OCH METODER	6
2.1 STUDIEOMRÅDE	6
2.2 MÄTPUNKTERNA	7
2.2.1 VÄGPUNKT 1	7
2.2.2 VÄGPUNKT 2	8
2.2.3 VÄGPUNKT 3	8
2.2.4 VÄGPUNKT 4	9
2.2.5 VÄGPUNKT 5	10
2.2.6 VÄGPUNKT 6	10
2.2.7 VÄGPUNKT 7	11
2.2.8 VÄGPUNKT 8	11
2.3 MÄTINSTRUMENTEN	12
2.3.1 DYNAMIC CONE PENETROMETER (DCP)	12
2.3.2 TERRATEST	14
2.4 ARBETSGÅNG	15
2.5 ÖVRIG DATAINSAMLING	16
2.6 ORDLISTA	16
3. RESULTAT	19
3.1 BAKGRUNDDATA	19
3.2 MITTEN- OCH HJULSPÅRSVÄRDEN	19
3.3 JORDART OCH BÄRIGHET	20
3.4 DIKAT OCH ODIKAT	21
3.5 SAMBAND MELLAN E_vD OCH CBR-VÄRDEN	22
3.6 VÄGARNAS BÄRIGHET	22
3.6.1 TILLGÄNGLIGHETSKLASS ENLIGT NVDB	22
3.6.2 TILLGÄNGLIGHETSKLASS ENLIGT STUDIENS FÄLTBEDÖMNING	22

4. DISKUSSION	24
4.1 HUVUDRESULTAT	24
4.2 JÄMFÖRELSE MED BEFINTLIG KUNSKAP	25
4.3 FÖRKLARING OCH KONSEKVENSER AV RESULTATEN	26
4.4 STUDIENS STYRKOR OCH SVAGHETER.....	27
4.5 REKOMMENDATIONER	28
4.6 SLUTSATSER.....	29
REFERENSER.....	30
BILAGOR	32
BILAGA 1: VÄGPUNKTER SOM ÄR DIKADE RESPEKTIVE ODIKADE	32
BILAGA 2: FÄLTBLANKETT FÖR DCP.....	33
BILAGA 3: FÄLTBLANKETT FÖR TERRATEST	34

1. Inledning

1.1 Bakgrund

För skogssektorn är skogsbilvägar och andra enskilda vägar av avgörande betydelse eftersom de utgör den första länken i transportkedjan mellan skogen och industrin. Det svenska skogsbruket är beroende av ett väl fungerande vägnät för att kunna transportera timmer, massaved och skogsbränsle från avverkningsplatser till terminaler och industrier under hela året. Vägarna används dessutom vid skogsvårdande åtgärder såsom markberedning, plantering och röjning samt för olika naturvårdsinsatser. Skogsbilvägnätet kan därför ses som en central del av skogsbrukets produktionssystem, där vägarnas standard och framkomlighet påverkar såväl transportkostnader som möjligheten att bedriva ett effektivt och hållbart skogsbruk. Enligt Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI) har vägarnas funktion stor betydelse för hela värdekedjan inom skogsnäringen och därmed även för dess konkurrenskraft och långsiktiga utveckling (Kuttah et al. 2025)

Bedömningen av skogsbilvägars tillgänglighet och bärighet utgår bland annat från jordart och överbyggnadens tjocklek, men kan även baseras på en bedömning av under vilka årstider och väderförhållanden vägen förväntas kunna trafikeras av lastbil med släp. Två metoder som blivit vanliga inom vägbyggnad, geoteknik och forskning är dels lätt fallvikt (Light Weight Deflectometer, LWD) dels Dynamic Cone Penetrometer (DCP). Lätt fallvikt mäter den dynamiska deformationsmodulen (E_v) genom att registrera hur mycket en belastad platta deformeras vid ett standardiserat slag. Resultatet används som ett mått på materialets styvhet och vägkonstruktionens respons vid belastning (TERRATEST GmbH 2025). DCP-metoden bygger på att en kon drivs ned i marken genom upprepade slag, där inträngningen per slag används för att bestämma materialets motstånd mot penetration och för att identifiera variationer mellan olika jord- och väggroppsager (Kessler Soils Engineering Products Inc 2014). Den lätta fallvikten (LWD) möjliggör samtidigt snabba och kostnadseffektiva bärighetsbestämningar i fält (Bengtsson & Forssblad 2004).

1.2 Vägklassning och vad som påverkar den

1.2.1 Nationella vägdaten

Nationella vägdaten (NVDB) har en viktig funktion inom skogsbruket genom att tillhandahålla vägdata för planering och optimering av virkestransporter. Informationen används bland annat i *Krönt vägval* för att beräkna lämpliga transportvägar mellan virkesavlägg och mottagningsplatser (Biometria 2021). För skogsnäringen är uppgifter om vägarnas framkomlighet, tillgänglighet och bärighet särskilt viktiga. Det finns samtidigt behov av mer aktuell vägdata, eftersom vägarnas bärighet kan förändras tillfälligt, exempelvis efter kraftig nederbörd eller beroende på årstid. Bättre information i NVDB kan därför bidra till säkrare och effektivare transporter (Trafikverket 2026).

1.2.2 Framkomlighetsklasser

Framkomlighet används för att beskriva vilka typer av tunga fordon som kan trafikera en skogsbilväg utifrån dess geometriska utformning. Bedömningen grundas bland annat på vägens bredd, kurvor och sträckning och delas in i klasserna 0 – 4. De lägre klasserna medger större fordonskombinationer. Klass 3 medger endast lastbil och klass 4 innebär att vägen inte kan trafikeras med lastbil. För klass 0 och 1 bör körbanan vara minst 3,5 meter bred, medan motsvarande bredd för klass 2 är 3,0 meter. På grusvägar avser detta den del av körbanan som har tillräcklig bärighet.

Tabell 1. Indelning av skogsbilvägar i framkomlighetsklasser 0 - 4 utifrån vilka fordonskombinationer som kan trafikera vägen.

Framkomlighetsklasser	
0	God framkomlighet för trailerekipage.
1	God framkomlighet för lastbil med släp (24 m ekipage).
2	Begränsad framkomlighet för lastbil med släp
3	Endast framkomlig med lastbil.
4	Ej framkomlig för lastbil.

1.2.3 Tillgänglighetsklasser

Tillgängligheten hos en skogsbilväg beskriver under vilka förhållanden vägen kan användas av trafik och används ofta som ett mått på vägens funktionella bärighet. Klassificeringen baseras på hur väl vägen klarar trafik under olika årstider och väderförhållanden. Vid bedömning av tillgänglighetsklass används enligt Skogsstyrelsens anvisningar ett dimensionerande fordon bestående av lastbil med släp med en bruttovikt på 60 ton. Det dimensionerande axeltrycket är 10 ton och boggitrycket 18 ton. Skogsbilvägar delas in i fyra tillgänglighetsklasser (A – D). Vägar i klass A är tillgängliga för både lastbils- och personbilstrafik under hela året. Klass B tillåter lastbilstrafik året runt förutom under perioder med svår tjällossning. Klass C medger lastbilstrafik större delen av året men har begränsningar under tjällossning och längre regnperioder. Vägar i klass D är främst avsedda för lastbilstrafik under vinterförhållanden, medan personbilstrafik kan förekomma där även sommartid.

Tillgänglighetsklasserna används vid planering, projektering och förvaltning av skogsbilvägar och ger en indikation på vilken nivå av bärighet och framkomlighet som kan förväntas hos olika vägtyper (Biometria 2021)

1.2.4 Bärigheten

På det allmänna vägnätet används bärighetsklasser för att ange vilka fordonsvikter vägar och broar är dimensionerade för. Dessa klasser anger den högsta tillåtna fordonsvikten som infrastrukturen är dimensionerad för. Det svenska vägnätet omfattar fem bärighetsnivåer: BK1, BK2, BK3, BK4 och BK4s. Ju högre klass, desto större fordonsvikter kan vägen belastas med. Merparten av det allmänna vägnätet är idag klassat som BK1, vilket innebär att det kan trafikeras av relativt

tunga fordon, upp till 64 ton. För de allra tyngsta transporterna, exempelvis inom skogsnäringen, krävs dock vägar som är godkända för BK4 eller BK4s. Dessa klasser möjliggör transporter med fordonskombinationer upp till 74 ton (Trafikverket 2025).

Forskning om skogsbilvägar visar att bärigheten påverkas av både vägkonstruktionens utformning och de markförhållanden som vägen är anlagd på. I VTI:s studie av skogsbilvägar undersöktes bland annat effekterna av dränering, packningsgrad och förstärkningsåtgärder. Resultaten visade att förbättrad packning kunde öka bärigheten med cirka 20 procent, medan geocellförstärkning i vissa fall gav upp till 64 procent högre bärighet än motsvarande referenssträckor. Resultaten tyder på att både konstruktionstekniska åtgärder och lokala markförhållanden har stor betydelse för vägarnas funktion (Kuttah et al. 2025).

1.2.5 Jordartens betydelse

Markens geologiska egenskaper har betydelse för förutsättningarna vid planering och anläggning av infrastruktur, som skogsbilvägar. Jordmaterialens egenskaper varierar bland annat beroende på kornstorlek och sammansättning. Det påverkar i sin tur jordens förmåga att hålla kvar och leda vatten. Finkorniga jordarter som lera och silt kan hålla kvar relativt stora mängder vatten. I grövre material rör sig vattnet lättare igenom, som grus och sand (Karlsson et al. 2021).

Finkorniga jordar har en tydlig optimal fuktkvot där hög densitet kan uppnås vid packning. Sand och grus saknar däremot sammanhållningskraften och deras hållfasthet beror i större utsträckning på friktionen mellan partiklarna. När ett sådant material redan har uppnått en hög packningsgrad kan ytterligare packning därför ge en begränsad förbättring av bärigheten (Kuttah et al. 2025).

Vattenförhållanden är särskilt betydelsefulla för finkorniga jordarter. I ett av de försök som redovisas av Kuttah et al. (2025) bestod undergrunden av finjordsrik siltig lera eller lerig silt, vilken beskrivs som ett material som normalt uppvisar låg, eller mycket låg, bärighet vid vattenpåverkan. Detta visar på sambandet mellan jordart, vattenförhållanden och vägens bärighet och understryker samtidigt betydelsen av fungerande dränering (Ibid.).

1.3 Begreppen EVD och CBR

Lätt fallvikt (LWD) används för att bestämma den dynamiska deformationsmodulen, E_{vd} , som beskriver materialets respons vid en kortvarig dynamisk belastning. Metoden kan användas för snabb bedömning av väg- och jordmaterials styvhet och bärighet i fält (Bengtsson & Forssblad 2004). E_{vd} -värdet benämns i meganewton per kvadratmeter, MN/m².

CBR (California Bearing Ratio) är ett mått på vägmaterialets mekaniska motstånd och används för att beskriva olika materials bärighet. Ett högre CBR-värde motsvarar ett större motstånd i materialet. I fält kan CBR uppskattas med hjälp av en Dynamic Cone Penetrometer (DCP), där konens inträngning i materialet registreras som ett penetrationsindex uttryckt i millimeter per slag. Penetrations-

indexet kan därefter användas för att uppskatta ett CBR-värde (Bergqvist et al. 2017)

Svenska Geotekniska Föreningen (Bengtsson & Forssblad 2004) beskriver den lätta fallvikten (LWD) som en metod för snabba och relativt kostnadseffektiva bärighetsbestämningar i fält. Metoden har utvecklats i Tyskland och används för bestämning av den dynamiska deformationsmodulen, E_{vd} . Bengtsson och Forssblad framhåller även att vattenkvot och jordart har stor påverkan på mätresultaten och att dessa faktorer måste beaktas vid tolkning av uppmätta bärighetsvärden. Metoden bedöms dock vara väl lämpad för snabb bedömning av terrassytors och bankfyllningars bärighet samt som ett praktiskt komplement till statiska plattbelastningsprov (Ibid.)

Barounis och Smith (2017) beskriver att E_{vd} kan relateras till andra deformationsegenskaper och vidare användas för att uppskatta CBR. Detta innebär att LWD och DCP mäter olika mekaniska egenskaper, men att resultaten ändå kan relateras till varandra vid bedömning av ett vägmateriels bärighet. Sambanden är dock beroende av bland annat jordmaterial, vilket behöver beaktas vid tolkningen.

1.4 Problemformulering, syfte och frågeställningar

Skogsbilvägars bärighet påverkas av flera samverkande faktorer, bland annat jordart, vattenförhållanden, dränering, packningsgrad och vägkonstruktion. Detta gör det svårt att bedöma en vägs bärighet utifrån enbart visuella egenskaper eller en enskild klassificering. Samtidigt finns fältbaserade mätmetoder, såsom LWD och DCP, som kan ge kvantitativa mått på vägmaterialets egenskaper. Tidigare studier visar dock att resultaten från dessa metoder påverkas av bland annat materialtyp och vattenförhållanden, vilket försvårar möjligheten att använda ett enda generellt gränsvärde för olika vägtyper (Bengtsson & Forssblad 2004; Barounis & Smith 2017).

Bergqvist et al. (2017) har dessutom framhållit behovet av svenska referensvärden för CBR där hänsyn tas till bland annat jordart, vattenmättnad och packningsgrad. Det finns därför ett behov av ökad kunskap om hur E_{vd} - och CBR-värden varierar mellan svenska skogsbilvägar med olika egenskaper och i vilken utsträckning de två mätmetoderna ger samstämmiga resultat. En sådan kunskap kan bidra till att bedöma om instrumentbaserade mätningar kan användas som stöd vid utveckling av framtida referensvärden för skogsbilvägars bärighet.

Syftet med studien är att undersöka bärigheten hos skogsbilvägar med hjälp av lätt fallvikt (LWD) och Dynamic Cone Penetrometer (DCP) samt att analysera hur mätresultaten varierar beroende på tillgänglighetsklass, dräneringsförhållanden och jordart. Studien syftar även till att undersöka sambandet mellan E_{vd} och CBR samt att bedöma möjligheten att använda mätvärdena som underlag för framtida referensvärden för svenska skogsbilvägar.

De frågeställningar som studien ska försöka besvara är följande:

- Hur varierar mätresultaten mellan vägar i olika tillgänglighetsklasser (B, C och D)?
- Finns det skillnader i uppmätt bärighet mellan dikade och odikade vägsträckor?
- Hur påverkar olika jordarter de uppmätta värdena från LWD och DCP?
- Vilka samband kan identifieras mellan E_{vd} -värden från lätt fallvikt och CBR-värden från DCP-mätningar?
- Hur kan framtagna referensvärden användas som stöd vid projektering, underhåll och tillståndsbedömning av skogsbilvägar och andra enskilda vägar?

1.5 Huvudhypotes

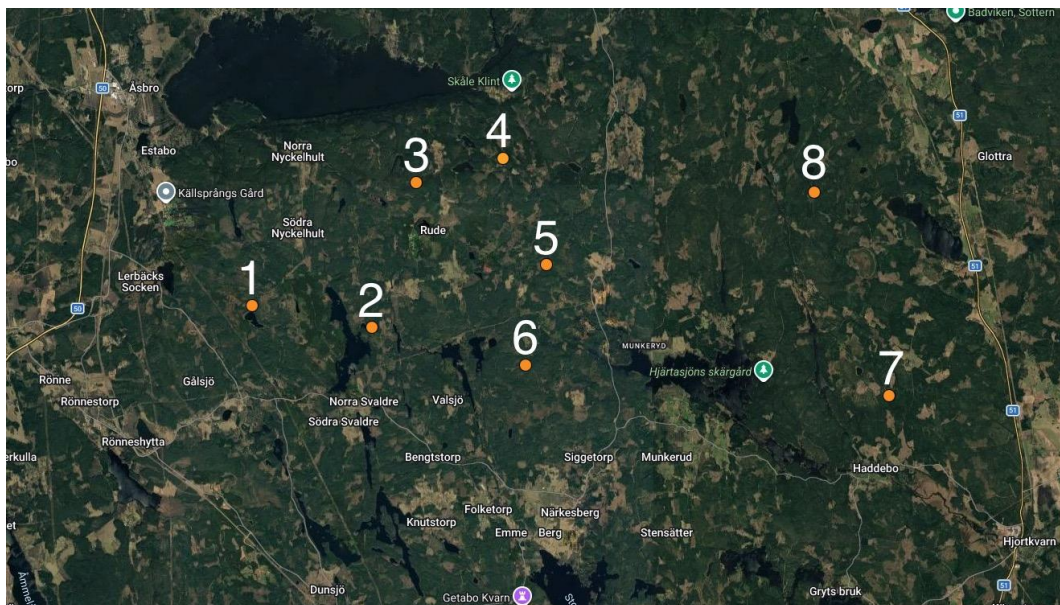
Huvudhypotesen är att högre E_{vd} -värden sammanfaller med högre CBR-värden och att mätvärdena varierar systematiskt mellan skogsbilvägar med olika tillgänglighetsklass, dräneringsförhållanden och jordarter.

2. Material och metoder

2.1 Studieområde

Studien genomfördes på ett begränsat område, på Sveaskogs vägar söder och öster om sjön Tisaren i Hallsbergs kommun, Närke. Bilden nedan visar placeringen av studiens vägpunkter. Hjortkvarn i sydöst och Rönneshyttan i sydväst. Studien genomfördes sommaren 2026 under veckorna 26 – 30. Mätningarna i fält utfördes på samtliga vägpunkter varje fredag under nämnda veckor. Mätningarna påbörjades vanligtvis omkring kl. 11 och avslutades omkring kl. 17.

Mätningarna genomfördes veckovis för att fånga variationer i nederbörd och den naturliga upptorkning som sker under sommaren. Intervallet bedömdes ge en lämplig balans, då tätare mätningar sannolikt hade givit begränsad ytterligare information, medan längre intervall hade försvårat kopplingen till väderförhållanden.



Figur 1. Karta över studieområdet söder om Hallsberg, med siffror vid tillhörande vägpunkt.

Inför studien placerades stakkäppar på båda sidor av respektive vägpunkt. Markeringarna användes för att mätningarna skulle kunna återupprepas så nära respektive plats som möjligt vid samtliga fem mättillfällen. Vägbanan markerades även med gul sprayfärg. På träpinnarna placerades informationsskyltar med logotyper för SLU, Skogsmästarskolan och Skogforsk. Det finns även en text på skylten för att informera allmänheten om den pågående studien.



Figur 2. Exempel på hur informationsskylten sitter i fält vid vägpunkt 1, den gula sprayfärgen gör markeringen tydligare.

2.2 Mätpunkterna

2.2.1 Vägpunkt 1

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6534495, 506109



Figur 3. Mät punkt 1, odikat.

2.2.2 Vägpunkt 2

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6533807, 509198



Figur 4. Mät punkt 2, odikat.

2.2.3 Vägpunkt 3

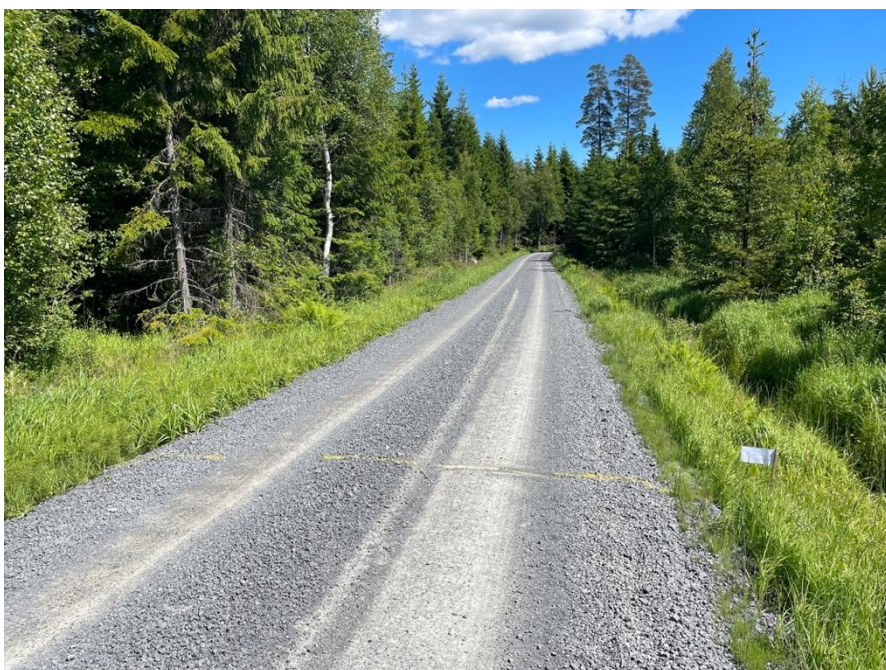
Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6537532, 510132



Figur 5. Mät punkt 3, dikat.

2.2.4 Vägpunkt 4

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6538125, 512268



Figur 6. Mät punkt 4, dikat.

2.2.5 Vägpunkt 5

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6535508, 513309



Figur 7. Mät punkt 5, odikat.

2.2.6 Vägpunkt 6

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6533086, 512841



Figur 8. Mät punkt 6, dikat.

2.2.7 Vägpunkt 7

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6532319, 521839



Figur 9. Mät punkt 7, odikat.

2.2.8 Vägpunkt 8

Koordinater: SWEREF 99 TM: (N, E) 6537329, 519928



Figur 10. Mät punkt 8, dikat.

2.3 Mätinstrumenten

2.3.1 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Markens bärighet undersöktes med en Dynamic Cone Penetrometer (DCP) av typen Kessler DCP K-100. Metoden bygger på att en konformad spets drivs ned i marken genom upprepade slag från en fallvikt med känd massa och fallhöjd. Vid varje mätpunkt placerades DCP-utrustningen vertikalt på markytan. Den initiala positionen registrerades innan provningen påbörjades. Därefter lyftes fallvikten till den förutbestämda höjden 575 mm och släpptes fritt så att slagenergin överfördes till konspetsen. Efter varje slag, eller efter ett bestämt antal slag, registrerades den totala inträngningen i marken.

Provtagningen fortsatte kontinuerligt till önskat undersökningsdjup uppnåts eller till dess att marken blev så hård att inträngningen blev mycket liten. Antalet slag och den motsvarande inträngningen dokumenterades fortlöpande. Inträngningen per slag beräknades därefter genom att dividera uppmätt inträngning med antalet utförda slag. Resultatet uttrycktes som DCP-index (mm/slag), vilket användes som mått på markens relativa hållfasthet och bärighet.

Om konen träffade större stenblock eller annat hinder som påverkade inträngningen avbröts mätningen och en ny mätpunkt valdes i närheten. Efter avslutad provning analyserades resultaten genom att relatera DCP-index till markens bärighets- och hållfasthetsegenskaper.

Arbetsgången var steg för steg följande:

- Montera DCP-utrustningen.
- Placera konspetsen vertikalt mot markytan.
- Notera startnivån.
- Lyft 8 kg-hammaren till 575 mm höjd.
- Släpp hammaren fritt.
- Mät inträngningen efter varje slag eller efter en serie slag. Anteckna antal mm för varje släpp på fältblankett, se Bilaga 2 eller i mobiltelefonen.
- Fortsätt till dess att önskat antal släpp uppnåts. I denna studie genomfördes fem släpp per mätpunkt.
- Efter fem släpp i höger hjulspår, fortsätt med samma procedur för vägmitten och vänster hjulspår.
- Beräkna DCP-index (mm/slag).
- Använd DCP-index, CBR % för att bedöma vägpunktens bärighet, se Tabell 2.
- Denna mätning utförs vid alla mättillfällen under studiens gång, på alla åtta vägpunkter.

Tabell 2. Omvandlingstal för penetration i millimeter vid DCP mätning till ett CBR-värde. Tabell över korrelationen mellan CBR och DCP-index.

DCP Index mm/blow	CBR %	DCP Index mm/blow	CBR %	DCP Index mm/blow	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	>0.5



Figur 11. DCP monterad enligt instruktion, mätstocken på höger sida och vikten samt konen på vänster sida.

2.3.2 Terratest

Markens bärighet undersöktes med en lätt fallviktsapparat av typen TERRATEST 8000 STREAM. Metoden baserades på dynamisk plattbelastning, där en definierad belastning appliceras på markytan genom att en fallvikt släpps mot en lastplatta. Den uppmätta sättningen används därefter för att beräkna markens dynamiska deformationsmodul, E_{vd} (MN/m²).

Inför varje mätning förbereddes mätpunkten genom att markytan jämnades till och löst material avlägsnades. Lastplattan placerades därefter plant mot markytan. Fallviktsanordningen monterades centralt på lastplattans kul-huvud och anslöts till mät datorn. Efter uppstart genomfördes en kontroll av instrumentets funktioner, inklusive sensoranslutning och batteristatus. När systemkontrollen godkänkts påbörjades mätningen. Tre förbelastningar genomfördes innan de tre registrerade belastningarna utfördes.

Vid varje mätpunkt lyftes fallvikten till dess låsläge och släpptes därefter fritt längs styrstången. Belastningen överfördes via fjädersystemet till lastplattan och vidare ned i marken. Instrumentet registrerade den vertikala deformation som uppstod i samband med belastningen. För varje mätpunkt genomfördes tre efterföljande provtagningar, vilka registrerades och redovisades som separata sättningskurvor. Utifrån dessa beräknade instrumentet automatiskt E_{vd} -värdet, vilket användes som mått på markens bärighet.

Samtliga mätningar utfördes på torr mark och med kalibrerad utrustning i enlighet med tillverkarens anvisningar. Resultaten lagrades digitalt och användes som underlag för bedömning av markens bärighet och packningsgrad. Mätresultaten sparades både i instrumentets mät dator och i den tillhörande mobilapplikationen. E_{vd} -värdet antecknades enligt fältblanketten, se bilaga 3.



Figur 12. Terratest monterad enligt instruktion, mät datorn står mitt på vägen och den tunga lastplattan med tillhörande fjädersystem i höger hjulspår. Bilden visar även hur mät lådorna var placerade i bilen.

2.4 Arbetsgång

Inför det första mättillfället fastställdes en bestämd turordning mellan vägpunkterna, vilken sedan följdes vid samtliga mättillfällen. Även ordningsföljden för mätningarna över vägbanan standardiserades för att skapa en

så enhetlig arbetsgång som möjligt. Vid varje vägpunkt genomfördes mätningarna från höger till vänster i bilens färdriktning, med början i höger hjulspår, därefter i vägmitten och slutligen i vänster hjulspår.

Mätpunkternas placering kontrollerades med hjälp av koordinater och de markeringar som tidigare markerats i fält. Markeringarna bestod av stakkäppar placerade på båda sidor om vägen samt gul sprayfärg över vägbanan. Syftet var att säkerställa att mätningarna genomfördes på så nära samma plats som möjligt vid samtliga fem mättillfällen.

Jordarten bestämdes i anslutning till respektive vägpunkt vid det första mättillfället eller vid ett närliggande tillfälle. Vid samma tillfälle bedömdes även vägens tillgänglighetsklass. Den egna bedömningen jämfördes därefter med den klassning som fanns registrerad i Nationella vägdatabasen (NVDB). Vid varje vägpunkt genomfördes först mätning med DCP och därefter med lätt fallvikt, TERRATEST 8000 STREAM. DCP-mätningen genomfördes av två personer, där en person höll utrustningen vertikalt medan den andra hanterade fallvikten. Resultaten från DCP-mätningarna dokumenterades på fältblankett eller i mobiltelefonen.

Vid mätning med TERRATEST (LWD) registrerades mätresultaten av instrumentets mät dator och sparades även digitalt via den tillhörande mobilapplikationen. Efter avslutad mätning kontrollerades att resultaten hade registrerats korrekt och att inga tydliga tekniska fel hade uppstått. Därefter fortsatte mätningen vid nästa vägpunkt enligt samma arbetsgång.

Instrumenten och övrig utrustning transporterades mellan vägpunkterna med bil. Eftersom utrustningen för TERRATEST 8000 STREAM (LWD) är tung och skrymmande delades den upp under transporten, där mät dator och belastningsplatta transporterades separat från den mekaniska lastanordningen.

2.5 Övrig datainsamling

Nederbördsdata hämtades från SMHI:s mätstation i Hallsberg, belägen cirka 10–15 km från studieområdet. Eftersom temperatur och relativ luftfuktighet inte fanns tillgängliga från denna station hämtades dessa uppgifter från SMHI:s station vid Örebro Airport, cirka 30–35 km från studieområdet. Vid flera av mätstationerna samlades data in för perioden mellan första juni och sista juli.

2.6 Ordlista

Terratest - En lätt fallviktsapparat (LWD) som används för att mäta den dynamiska deformationen, E_{vd} genom dynamisk belastning av en platta mot väg- eller markytan.

E_{vd} - Ett mått på materialets dynamiska styvhet som erhålls vid LWD. Ett högre E_{vd} -värde innebär att materialet deformeras mindre under den applicerade belastningen.

DCP - Dynamic Cone Penetrometer. Ett instrument som mäter vägmaterialets mekaniska penetrationsmotstånd genom att en standardiserad kon drivs ned i materialet med hjälp av en fallvikt.

DCP-index - Konens inträngning i materialet per slag, vanligen uttryckt i millimeter per slag (mm/slag). Ett lägre DCP-index innebär större penetrationsmotstånd.

CBR - California Bearing Ratio. Ett värde som beskriver det mekaniska motståndet i vägmaterialet och används som indikator på materialets bärighet.

Packningsgrad - Ett mått på hur tätt ett jord- eller vägmateriel har packats. Högre packningsgrad innebär generellt att partiklarna ligger tätare.

NVDB - Nationella vägdatabasen. En nationell databas som innehåller ett referensvägnät och olika typer av vägdata kopplade till Sveriges vägnät.

Dränering - Avledning av yt- och markvatten från vägkonstruktionen för att begränsa vattensamlingen i och omkring vägkroppen.

Odikad väg - Vägsträcka där anlagda längsgående diken saknas vid vägkanten.

Dikad väg - Vägsträcka med anlagda diken längs vägen för att samla upp och leda bort vatten.

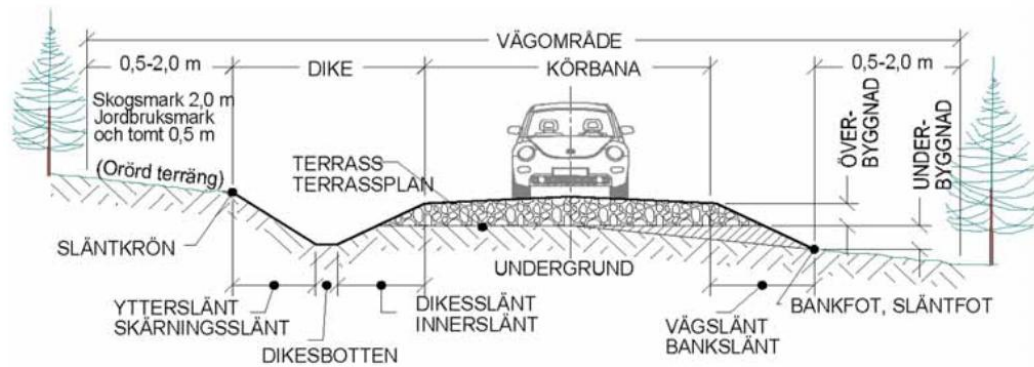
Väggkropp - Den uppbyggda delen av vägen, bestående av flera lager och delar som tillsammans överför trafikbelastningen till undergrunden.

Undergrund - Den naturliga mark som vägen är byggd på.

Underbyggnaden/Terrassen - Den uppbyggda eller bearbetade delen av vägen ovanpå undergrunden, men under överbyggnaden. Den består ofta av material från platsen och benämns även som terrass.

Överbyggnad - Påfört vägmateriel ovanpå underbyggnaden/undergrunden, exempelvis grus. Överbyggnaden utgör den del av vägkonstruktionen som bland annat ska fördela trafikbelastningen.

Hjulspår - De delar av körbanan där fordonens hjul normalt löper och där trafikbelastningen huvudsakligen koncentreras.



Figur 13. Schematisk tvärsektion av en skogsbilväg med väggroppens och vägområdets olika delar. Källa: Larsson (2023)

3. Resultat

3.1 Bakgrunddata

Från den 19 juni till den 24 juli föll det en total regnmängd i området för undersökningen på 43,5 mm enligt SMHI:s väderstation i Hallsberg. I Tabell 3 nedan ser man den totala regnmängden inför varje mättillfälle. Inför sista mätningen var regnmängden som störst, 28,1 mm.

Tabell 3. Regnmängd mellan mättillfällena enligt SMHI:s väderstation i Hallsberg, Närke.

Datum	Regnmängd
19 juni - 26 juni	0,9 mm
27 juni - 3 juli	8,2 mm
4 juli - 10 juli	5,9 mm
11 juli - 17 juli	0,4 mm
18 juli - 24 juli	28,1 mm

Hallsbergs mätstation var inaktiv vid datainsamling av både temperatur och luftfuktighet. Den närmaste väderstationen som erbjöd den önskade väderdatainsamlingen var SMHI:s väderstation på Örebro Airport. Både luftfuktigheten och temperaturen är ett beräknat medeltal för sju dagar innan aktuellt mättillfälle. Inför mätning nummer fyra är medeltemperaturen som högst, luftfuktigheten är vid samma tid som lägst.

Tabell 4. Medeltemperaturen räknat en vecka innan mättillfället, enligt SMHI:s väderstation på Örebro Airport.

Datum	Temperatur
19 juni - 26 juni	20 °C
27 juni - 3 juli	20 °C
4 juli - 10 juli	16 °C
11 juli - 17 juli	21 °C
18 juli - 24 juli	17 °C

Tabell 5. Medel luftfuktighet räknat en vecka innan mättillfället, enligt SMHI:s väderstation på Örebro Airport

Datum	Luftfuktighet
19 juni - 26 juni	67%
27 juni - 3 juli	71%
4 juli - 10 juli	70%
11 juli - 17 juli	63%
18 juli - 24 juli	70%

3.2 Mitten- och hjulspårsvärden

Mätresultaten visade genomgående högre värden för både E_{vd} och CBR i hjulspåren jämfört med mitt på vägen. Medelvärde för E_{vd} i vägmitten varierade

mellan 4 och 40, se Tabell 6. Motsvarande värden för höger och vänster hjulspår varierade mellan 22 och 58, se Tabell 7. De högsta E_{vd} -värdena i hjulspåren uppmättes vid vägpunkt 3 och 4, med medelvärden på 56 respektive 58. De lägsta värdena uppmättes vid vägpunkt 7 och 8, med 25 respektive 22.

Samma övergripande mönster kan observeras för CBR. I vägmitten varierade CBR mellan 6 procent och 16 procent. I hjulspåren varierade CBR mellan 18 och 45 procent. Väg tre och fyra hade de högsta CBR-värden medan vägpunkt fem hade de lägsta CBR-värdet.

Tabell 6. Medelvärde för CBR % och E_{vd} (MN/m²) mitt på vägen: Siffrorna baseras på värden från samtliga fem mätningar. Färgmarkeringarna är baserade på värdet av E_{vd} där vägpunkt 8 har lägst E_{vd} och är därmed markerad i rött. Gulmarkering visar på högst E_{vd} -värde.

	CBR %	E_{vd} (MN/m ²)
Vägpunkt 1	11%	18
Vägpunkt 2	12%	18
Vägpunkt 3	13%	40
Vägpunkt 4	16%	34
Vägpunkt 5	6%	10
Vägpunkt 6	13%	19
Vägpunkt 7	7%	13
Vägpunkt 8	10%	4

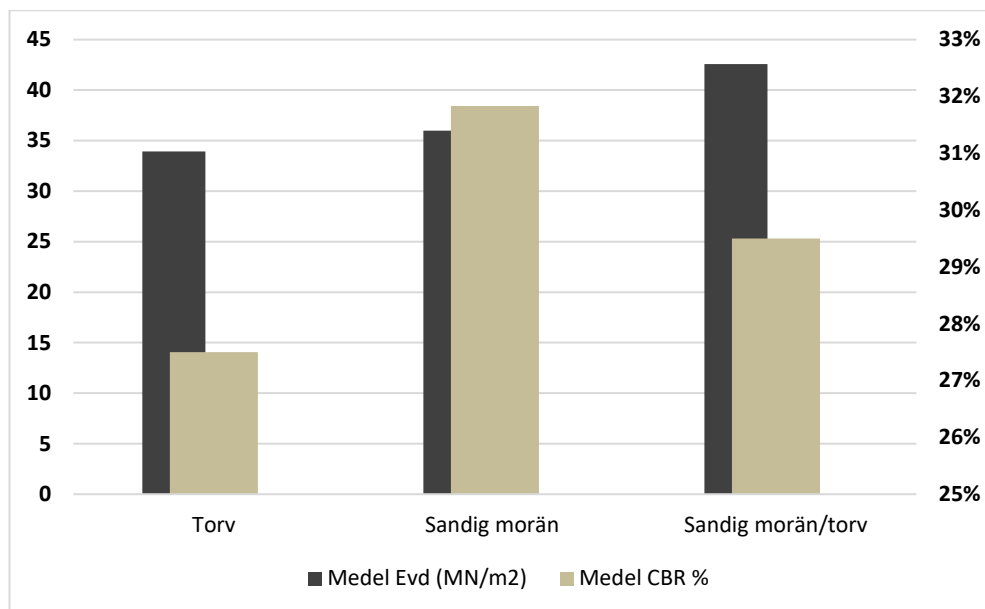
Tabell 7. Medelvärde för CBR % och E_{vd} (MN/m²) för höger och vänster hjulspår. Färgmarkeringen är baserad på värdet av E_{vd} , vägpunkt 8 har lägst E_{vd} och är därmed markerad i rött. Gulmarkeringen visar på högst E_{vd} -värde.

	CBR %	E_{vd} (MN/m ²)
Vägpunkt 1	35%	35
Vägpunkt 2	28%	42
Vägpunkt 3	40%	56
Vägpunkt 4	45%	58
Vägpunkt 5	19%	29
Vägpunkt 6	33%	28
Vägpunkt 7	20%	25
Vägpunkt 8	18%	22

3.3 Jordart och bärighet

De genomsnittliga värdena varierade mellan de tre jordarterna, se Figur 14. Vägpunkterna på torv hade lägst medelvärde för både E_{vd} och CBR, med cirka 34 MN/m² respektive 28 procent. Sandig morän hade ett genomsnittligt E_{vd} på cirka 36 MN/m² och ett CBR-värde på 32 procent. Det högsta genomsnittliga E_{vd} -

värdet, cirka 43 MN/m², uppmättes för gruppen sandig morän/torv. CBR-värdet för denna grupp var cirka 30 procent och skiljde sig därmed endast marginellt från sandig morän.



Figur 14. Genomsnittligt E_{vd} (MN/m²) och CBR (%) för vägpunkter grupperade efter jordart. Den vänstra y-axeln visar E_{vd}-värdet (MN/m²). Den högra y-axeln visar medelvärdet på CBR (%).

3.4 Dikade och odikade

De undersökta vägpunkterna delades in i punkter på dikade respektive odikade vägar. Bilaga 1 visar vilka vägar som är odikade samt exakta värden för E_{vd} och CBR för varje vägpunkt. Medelvärde för E_{vd} på de dikade vägpunkterna var 41 MN/m² jämfört med 33 MN/m² på de odikade vägpunkterna. CBR-värdet för dikade vägar var 34 procent jämfört med 25 procent på odikade vägar.

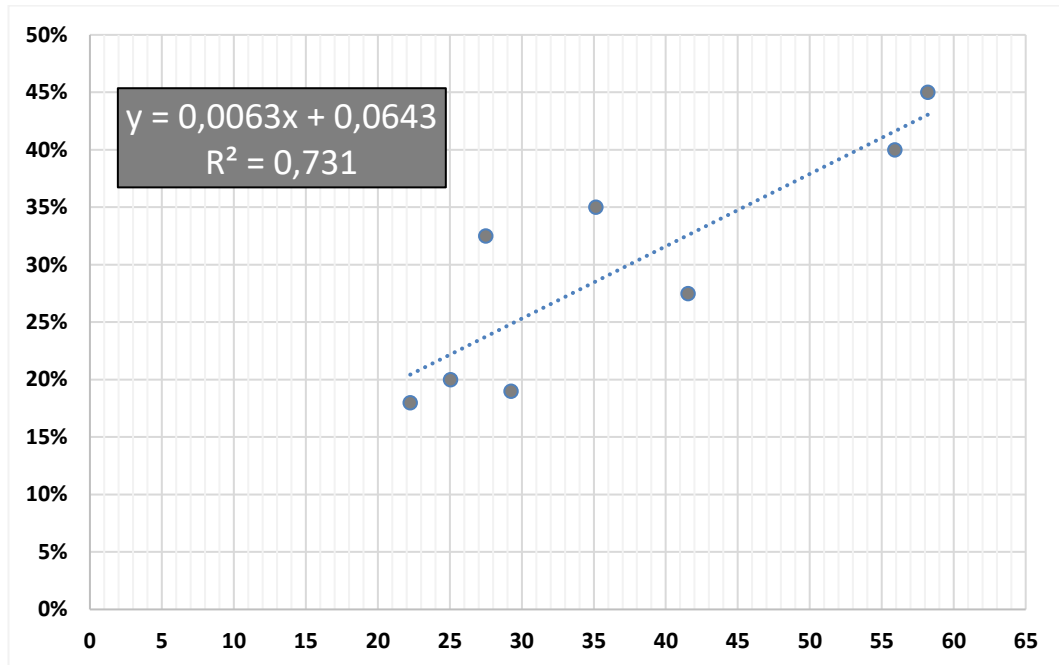
Tabell 8. Medelvärde och standardavvikelse för E_{vd} (MN/m²) och CBR (%) för odikade respektive dikade vägar.

	Odikade vägpunkter	Dikade vägpunkter
Medelvärde CBR %:	25%	34%
Standardavvikelse:	0,065	0,102
Medelvärde E _{vd} (MN/m ²)	33	41
Standardavvikelse	6,220	16,215

Resultaten visar därmed högre uppmätta bärighetsvärden för de dikade vägpunkterna jämfört med de odikade. Standardavvikelsen visar på större spridning i E_{vd}-värden på dikade vägpunkter. Standardavvikelsen för CBR-värdet är endast marginellt större för de dikade vägpunkterna jämfört med de odikade vägpunkterna.

3.5 Samband mellan E_v D och CBR-värden

Sambandet mellan E_v d och CBR undersöktes genom regressionsanalys. Resultatet visade ett positivt samband, där högre E_v d-värden generellt sammanföll med högre CBR-värden. Regressionsanalysen gav ett R^2 -värde på 0,731, se Figur 15.



Figur 15. Sambandet mellan genomsnittligt E_v d (MN/m²) och CBR (%) för de undersökta vägpunkterna. Linjen visar den linjära regressionsmodellen och R^2 anger modellens sambandsgrad.

3.6 Vägarnas bärighet

3.6.1 Tillgänglighetsklass enligt NVDB

Vid gruppering av vägpunkterna efter tillgänglighetsklass framkom skillnader i de uppmätta bärighetsvärdena. Vägar med tillgänglighetsklass B, enligt NVDB hade ett genomsnittligt E_v d på 57 MN/m² och CBR på 43 procent. För klass C var motsvarande värden 32 MN/m² och 27 procent. Klass D hade 22 MN/m² respektive 18 procent.

3.6.2 Tillgänglighetsklass enligt studiens fältbedömning

Vid jämförelse mellan tillgänglighetsklassningen i NVDB och studiens fältbedömning framkom skillnader för sju av de åtta vägpunkterna. Sju vägpunkter (87,5 procent) bedömdes till en lägre tillgänglighetsklass än den som angavs i NVDB, medan en vägpunkt fick samma klassning. Ingen vägpunkt bedömdes till en högre tillgänglighetsklass. I studiens fältbedömning klassades vägpunkt 3 och 4 som klass C, medan övriga sex vägpunkter bedömdes som klass D. Medelvärde för klass C var 57 MN/m² för E_v d och 43 procent för CBR. För klass D var motsvarande medelvärden 30 MN/m² respektive 26 procent. Se Tabell 9.

Tabell 9. Medel CBR % och E_{vd} per vägpunkt kopplat till den tillgänglighetsklass som NVDB klassar vägen som samt hur studien klassar vägpunkten. Gul markering visar på högst E_{vd} -värde och röd markering visar på lägst E_{vd} -värde.

	Medel för varje vägpunkt		Tillgänglighetsklassning	
	CBR %	E_{vd} (MN/m ²)	NVDB	Studiens klassning
Vägpunkt 1	35%	35	C	D
Vägpunkt 2	28%	42	C	D
Vägpunkt 3	40%	56	B	C
Vägpunkt 4	45%	58	B	C
Vägpunkt 5	19%	29	C	D
Vägpunkt 6	33%	28	C	D
Vägpunkt 7	20%	25	C	D
Vägpunkt 8	18%	22	D	D

4. Diskussion

4.1 Huvudresultat

Skillnader framkom mellan tillgänglighetsklasserna. Utifrån NVDB-klassningen hade vägpunkterna i klass B de högsta uppmätta värdena, medan klass D hade de lägsta. Vägpunkt 3 och 4, som var klassade som B, hade E_{vd} -värden på 56 respektive 58 MN/m² och CBR-värden på 43 procent. Vägpunkt 8, klassad som D, hade däremot ett E_{vd} -värde på 22 MN/m² och ett CBR-värde på 18 procent. De fem vägpunkterna i klass C varierade däremellan. Resultaten visar därmed en tendens till minskande bärighetsvärden från klass B mot D, även om antalet vägar inom respektive klass var begränsat.

Även dräneringsförhållandena sammanföll med skillnader i uppmätt bärighet. De dikade vägpunkterna hade ett genomsnittligt E_{vd} -värde på 41 MN/m² jämfört med 33 MN/m² för punkterna på de odikade vägarna. Motsvarande medelvärden för CBR var 34 respektive 25 procent. Samtidigt var spridningen större bland de dikade vägpunkterna, vilket visar att förekomsten av diken i sig inte förklarar hela variationen i datamaterialet.

Ett annat tydligt resultat var skillnaden mellan vägmitt och hjulspår. E_{vd} -värdena i vägmitten varierade mellan 4 och 40 MN/m², medan motsvarande värden i hjulspåren varierade mellan 22 och 58 MN/m². Samma övergripande mönster kunde observeras för CBR, där värdena i vägmitten varierade mellan 6 och 16 procent medan hjulspåren uppvisade värden mellan 18 och 45 procent.

Studiens resultat visar flera tydliga mönster i de uppmätta bärighetsvärdena. Ett av de mest framträdande resultaten var det positiva sambandet mellan E_{vd} och CBR. Regressionsanalysen visade generellt ett tydligt samband dem emellan och gav ett R^2 -värde på 0,731. Resultatet stödjer därmed studiens huvudhypotes om att dessa två variabler är starkt korrelerade.

Utifrån studiens resultat kan ett E_{vd} -värde omkring 30 MN/m² grovt indikera en svagare väg, medan värden omkring 50 MN/m² eller högre kan indikera en stabilare väg. Mätvärdet beskriver vägens styvhet under den aktuella mätperioden. E_{vd} -värdena kommer vara lägre vid regnperioder, låg avdunstning och tjällossning. Likaså kommer E_{vd} -värdena öka vid frusen mark samt långvarig torka. Nivåerna ska dock inte tolkas som fastställda gränsvärden, utan som en översiktlig indikation utifrån det undersökta materialet. Vid jämförelse med studiens egen fältbedömning framkom dessutom att sju av åtta vägpunkter (87,5 %) bedömdes tillhöra en lägre tillgänglighetsklass än vad som angavs i NVDB. En vägpunkt fick samma klassning och ingen av vägpunkterna bedömdes till en högre klass. Resultatet visar därmed en tydlig skillnad mellan NVDB:s klassning och studiens fältbedömning för de undersökta vägpunkterna.

Sammantaget visar resultaten att E_{vd} och CBR följer liknande övergripande mönster, men också att den uppmätta bärigheten varierar beroende på var på vägbanan mätningen genomförs samt mellan vägar med olika dräneringsförhållanden, jordarter och tillgänglighetsklasser. Detta innebär att ett framtida

referensvärde sannolikt inte kan tolkas oberoende av de förhållanden som råder avseende dessa faktorer på den aktuella vägsträckan.

4.2 Jämförelse med befintlig kunskap

Tillgänglighetsklassernas relation till de uppmätta värdena är också relevant. Enligt Biometria (2021) anger tillgänglighetsklassen när under året en skogsbilväg kan trafikeras med dimensionerande fordon. Klass B ska exempelvis klara lastbilstrafik under större delen av året med undantag för svår tjällossning, medan klass D huvudsakligen är avsedd för lastbilstrafik under vinterförhållanden. I föreliggande studie hade de två B-vägarna högst E_{vd} - och CBR-värden, medan den enda D-vägen enligt NVDB hade lägst värden. Detta överensstämmer således i huvudsak med den förväntade skillnaden mellan klasserna, men materialet är för litet för att avgöra om specifika E_{vd} - eller CBR-gränser kan kopplas till respektive tillgänglighetsklass.

Resultatet för dikade och odikade vägsträckor ligger också i linje med tidigare kunskap om vattenförhållandenas betydelse. De dikade vägpunkterna hade i genomsnitt 8 MN/m^2 högre E_{vd} än de odikade. Kuttah et al. (2025) beskriver hur vattenpåverkade finjordsrika material kan uppvisa låg eller mycket låg bärighet och framhåller därmed sambandet mellan jordmaterial, vattenförhållanden och vägens funktion. Skogsstyrelsen (2023) beskriver samtidigt dräneringsförhållanden som betydelsefulla för skogsbilvägars tillgänglighet. Resultaten från denna studie stödjer därför uppfattningen att fungerande vattenavledning är en viktig del av en skogsbilvägs förmåga att bibehålla bärighet.

Även jordartsresultaten behöver förstås mot bakgrund av materialens vattenhållande egenskaper. Karlsson et al. (2021) beskriver att finkorniga jordarter som silt och lera kan hålla kvar större mängder vatten, medan vatten lättare transporteras genom grövre material såsom sand och grus. Kuttah et al. (2025) visar dessutom att packning och hållfasthet påverkas olika beroende på materialets sammansättning och vattenhalt. De skillnader mellan jordartsgrupperna som observerades i denna studie bör därför inte tolkas som att den geologiska jordarten ensam bestämmer vägens bärighet.

Den positiva korrelationen mellan E_{vd} och CBR ligger i linje med Barounis och Smith (2017), som visar att E_{vd} kan relateras till CBR och andra mått på jordars styvhet. Samtidigt framhåller Bengtsson och Forssblad (2004) att något generellt samband mellan dynamiska och statiska deformationsmoduler inte kan fastställas för samtliga jordmaterial och att bland annat jordart och vattenkvot påverkar mätresultaten. Studiens resultat bör därför inte tolkas som att LWD och DCP är utbytbara metoder, utan snarare som att metoderna i detta material fångade liknande variationer i vägarnas egenskaper.

Resultatet med högre bärighetsvärden i hjulspåren än i vägmitten kan delvis förklaras av skillnader i packningsgrad. Hjulspåren utsätts återkommande för fordonsbelastning medan vägmitten normalt belastas mindre. Kuttah et al. (2025) visade att förbättrad packning i försök på skogsbilvägar kunde öka bärigheten med omkring 20 procent, vilket stödjer antagandet att packningsgrad kan bidra till

skillnader i vägens mekaniska egenskaper. Samma studie visar samtidigt att även förstärkningsåtgärder och lokala markförhållanden har stor betydelse för bärigheten. Skillnaden mellan vägmitt och hjulspår i föreliggande studie kan därför inte enbart tillskrivas trafikpackning.

4.3 Förklaring och konsekvenser av resultaten

En annan viktig konsekvens gäller relationen mellan instrumentmätningar och tillgänglighetsklassning. Tillgänglighetsklassen beskriver vägens funktion under olika perioder av året, medan E_{vd} och CBR beskriver vägmaterialets egenskaper vid själva mättillfället. Skillnaden mellan NVDB:s klassning och den bedömning som genomfördes inom studien behöver därför inte innebära att den ena bedömningen är felaktig. Det kan i stället återspegla att klassningen och instrumentmätningen beskriver olika tidsperspektiv. Instrumentbaserade bärighetsmätningar kan ses som en ögonblicksbild av vägens aktuella tillstånd, medan tillgänglighetsklassen beskriver en mer långsiktig funktion.

Resultaten för jordart och dränering visar på samma sätt att bärigheten sannolikt uppstår genom flera samverkande förhållanden. En väg med mindre gynnsam undergrund kan ha god bärighet om överbyggnaden är väl dimensionerad, packad och dränerad, medan en väg på gynnsammare material kan få sämre egenskaper om vatten inte leds bort. Detta ligger i linje med Bergqvist et al. (2017), vars modell för svenska förhållanden inkluderar bland annat underbyggnadens och överbyggnadens bärighet, överbyggnadens tjocklek, axellast, däcktryck och antal fordonsöverfarter. Jordart bör därför användas som en förklarande variabel tillsammans med övriga vägförhållanden snarare än som ett fristående mått på bärighet.

Resultaten visar också varför LWD och DCP kan betraktas som kompletterande snarare än konkurrerande metoder. LWD mäter vägkonstruktionens dynamiska respons vid belastning, medan DCP bygger på penetrationsmotstånd genom olika djup. Barounis och Smith (2017) beskriver möjligheten att relatera E_{vd} till bland annat CBR, medan Bengtsson och Forssblad (2004) samtidigt visar att sambanden mellan olika bärighetsmått påverkas av material och vattenförhållanden. Det starka sambandet i denna studie visar därför framför allt att metoderna gav samstämmig information i det undersökta materialet, inte att den ena metoden kan ersätta den andra.

Skillnaderna mellan vägmitt och hjulspår visar att mätpositionen är en central fråga vid utveckling av referensvärden. Om mätningen enbart genomförs i hjulspåret kan vägen bedömas som betydligt styvare och mer bärkraftig än om mätningen sker i vägmitten. Vid vägpunkt 8 uppmättes exempelvis ett medelvärde för E_{vd} på endast 4 MN/m² i vägmitten, medan hjulspåren hade ett medelvärde på 22 MN/m². Ett referensvärde får därför begränsad betydelse om det inte samtidigt anges var och hur mätningen ska genomföras.

Det är samtidigt inte självklart vilken position som bäst beskriver vägens funktion. För den faktiska belastningen från en tung lastbil är hjulspåren särskilt relevanta eftersom fordonets hjul belastar dessa delar av vägbanan. De lägre värdena i

vägmitten kan däremot ge information om vägkonstruktionens homogenitet och variation över vägbanan. Skillnaden mellan vägmitt och hjulspår kan därmed i sig vara en användbar indikator på vägens tillstånd. En framtida standardiserad metod bör därför bygga på mätningar i flera positioner snarare än på ett enda värde från en punkt.

Vädret förstärker denna skillnad. Studien genomfördes under juni och juli och resultaten representerar därför främst sommarförhållanden. Skogsstyrelsen (2023) beskriver att bärigheten kan försämras under bland annat tjällossning, ihållande nederbörd och långsam upptorkning. Det går utifrån föreliggande studie inte att avgöra hur stor del av variationen i E_v och CBR som orsakades av väderförhållandena. Resultaten visar däremot att mätningar under endast en del av året inte är tillräckliga för att fastställa referensvärden som ska representera vägarnas funktion under samtliga årstider.

4.4 Studiens styrkor och svagheter

En styrka med studien är att samma vägpunkter undersöktes återkommande och att både LWD och DCP användes. Kombinationen gav möjlighet att jämföra två olika typer av bärighetsindikatorer och samtidigt undersöka hur resultaten varierade mellan olika delar av vägbanan. Att mätningarna genomfördes i höger hjulspår, vägmitt och vänster hjulspår gjorde det dessutom möjligt att identifiera den tydliga skillnaden mellan hjulspår och vägmitt. Detta resultat hade inte framkommit om endast en position på vägbanan hade undersökts.

Ytterligare en styrka är att studien omfattade flera faktorer som är relevanta för skogsbilvägars bärighet, däribland jordart, dränering och tillgänglighetsklass. Detta möjliggjorde en mer samlad bedömning av resultaten och gör att det ligger i linje med tidigare forskning som visar att vägarnas funktion påverkas av flera samverkande faktorer. Kuttah et al. (2025) visar exempelvis betydelsen av både packning, förstärkning och lokala markförhållanden, medan Bergqvist et al. (2017) beskriver samspelet mellan vägkonstruktion och trafikbelastning.

Studiens främsta begränsning ligger i det låga antalet vägpunkter. Totalt undersöktes åtta vägpunkter, vilket är tillräckligt för att indikera mönster men inte för att fastställa generella svenska referens- eller gränsvärden. Detta blir särskilt tydligt vid jämförelsen mellan tillgänglighetsklasser, eftersom endast två vägpunkter tillhörde klass B och en vägpunkt klass D enligt NVDB. Skillnaderna mellan klasserna bör därför betraktas som indikationer snarare än som generella nivåer.

Även studieperiodens längd utgör en begränsning. Tillgänglighetsklassningen beskriver vägarnas funktion under olika delar av året, medan denna studie endast genomfördes under sommaren. Resultaten kan därför inte användas för att beskriva vägarnas lägsta bärighet under exempelvis tjällossning eller längre nederbördsperioder.

LWD-mätningen har dessutom metodspecifika osäkerheter. Eftersom mätningen bygger på deformation under en dynamisk belastning är kontakten mellan

lastplattan och vägbanan betydelsefull. Ojämnheter, löst material och mindre variationer i placering kan påverka resultatet. Bengtsson och Forssblad (2004) visar också att variationer i materialegenskaper och vattenkvot behöver beaktas vid bärighetsmätningar. Variation mellan två LWD-mätningar behöver således inte enbart vara ett instrumentfel utan kan även representera verklig lokal variation i vägmaterialet.

DCP har andra begränsningar eftersom resultatet påverkas av materialets lokala heterogenitet. Ett stenblock, en grovre partikel eller ett lokalt hårdare lager kan förändra penetrationsmotståndet och därmed ge ett värde som inte är representativt för vägsträckan som helhet. Flera mätningar inom samma vägsträcka är därför viktiga om DCP ska användas som underlag för framtida referensvärden.

4.5 Rekommendationer

Resultaten visar att den framtida utvecklingen av referensvärden för skogsbilvägar bör utgå från en standardiserad mätmetod. Den bör bland annat definiera var på vägbanan mätningen ska genomföras, hur många mätningar som krävs och under vilka väder- och fuktförhållanden värdena är giltiga. Skillnaderna mellan vägmitt och hjulspår i denna studie visar särskilt att ett E_{vd} - eller CBR-värde inte bör användas utan information om mätposition.

Framtida studier bör även omfatta betydligt fler vägar inom respektive tillgänglighetsklass och genomföras under olika delar av året. Särskilt intressant vore mätningar under torra sommarförhållanden, efter längre nederbördsperioder, under tjällossning och under vinterförhållanden. Det skulle möjliggöra en bedömning av hur stabila E_{vd} - och CBR-värden är över tid och om intervall kan identifieras för olika vägtyper.

Det är också relevant att undersöka kombinationer av flera variabler. Bergqvist et al. (2017) visar att vägens förmåga att tåla trafik påverkas av såväl vägkonstruktion som den belastning vägen utsätts för. En framtida modell skulle därför kunna kombinera E_{vd} , CBR, mätposition, jordart, överbyggnad, dränering, fukt- och väderförhållanden samt tillgänglighetsklass. En sådan modell kan vara mer användbar än ett enda fast gränsvärde.

Ur ett praktiskt perspektiv skulle instrumentbaserade bärighetsdata även kunna användas som ett komplement till befintlig information i NVDB. Trafikverket (2026) framhåller behovet av mer dynamiska vägdata och att NVDB-information redan kombineras med annan geodata vid planering av tunga transporter. Om standardiserade bärighetsindikatorer i framtiden kan kopplas geografiskt till enskilda vägsträckor skulle de kunna ge transportplanerare information om vägarnas aktuella tillstånd, framför allt efter perioder då bärigheten kan ha förändrats.

Trafikverket (2026) lyfter dessutom utvecklingen mot mer automatiserade metoder för datainsamling för att öka mängden och kvaliteten på vägdata. Ett nästa steg kan därför vara att undersöka hur LWD- och DCP-data kan kombineras

med digitala vägdata och andra informationskällor. Instrumentmätningarna bör i ett sådant system ses som ett komplement till den befintliga vägklassningen snarare än som en ersättning för den.

4.6 Slutsatser

Studiens resultat visar en tendens till minskade bärighetsvärden från tillgänglighetsklass B mot D, enligt NVDB:s klassning. Vägpunkterna i klass B hade de högsta uppmätta E_{vd} - och CBR-värdena, medan klass D hade de lägsta. Eftersom antalet vägpunkter inom respektive klass var begränsat bör resultaten dock ses som indikationer snarare än som generella nivåer. Studiens egen bedömning av tillgänglighetsklass skiljer sig samtidigt tydligt från klassningen i NVDB. Sju av åtta vägpunkter, 87,5 procent, bedömdes till en lägre tillgänglighetsklass än vad som angavs i NVDB. Endast en vägpunkt fick samma klassning som NVDB. Ingen vägpunkt bedömdes till en högre vägklass. Resultatet visar därmed en tydlig skillnad mellan NVDB:s klassning och studiens bedömning av de undersökta vägpunkterna.

Dikade vägsträckor hade i genomsnitt högre bärighetsvärden än odikade, framför allt för E_{vd} . Resultaten var dock inte entydiga och det går inte att fastställa dikningens betydelse för bärigheten. För säkrare slutsatser krävs ett större datamaterial.

För jordart framkom inget entydigt samband med de uppmätta bärighetsvärdena. Torv hade de lägsta genomsnittliga värdena för både E_{vd} och CBR, medan gruppen sandig morän/torv samtidigt hade högsta genomsnittliga E_{vd} -värdet. Antalet mätresultat är inte tillräckligt för att dra slutsatser om hur en viss specifik jordart påverkar bärigheten. Man kan därmed inte göra en tydlig rangordning mellan jordarterna. För att kunna identifiera eventuella samband och utveckla användbara referensvärden krävs större datamaterial med fler vägpunkter inom respektive jordart och under varierande förhållanden.

Ett positivt samband identifierades mellan E_{vd} och CBR, med ett R^2 -värde på 0,731. LWD och DCP gav därmed samstämmiga mönster i det undersökta materialet och kan ses som kompletterande metoder vid bedömningen av skogsbilvägars bärighet.

Framtida referensvärden skulle kunna användas som stöd vid projektering, underhåll och tillståndsbedömning genom att ge ett mer objektivt underlag för vägarnas bärighet. Detta underlag bör baseras på standardiserade mätningar där bland annat mätpunkt, jordart, dränering, vägkonstruktion samt fukt- och väderförhållanden beaktas. Eftersom studien endast omfattade åtta vägpunkter och genomfördes på sommaren bör resultaten betraktas som ett första underlag för fortsatt utveckling av referensvärden, snarare än som generella gränsvärden.

Referenser

- Barounis, N. & Smith, T., (2017). Characterisation of in situ soils based on the resilient soil modulus obtained using Light Weight Deflectometer (LWD). I: Alexander, G.J. & Chin, C.Y. (red.) *Proceedings of the 20th NZGS Geotechnical Symposium*. Napier, New Zealand: New Zealand Geotechnical Society. [NZGS Symposium 20 Barounis4-3-2.pdf](#)
- Bengtsson, J. & Forssblad, L., (2004). *Packning och packningskontroll av blandkornig och finkornig jord*. SGF Notat 1:2004. Linköping: Svenska Geotekniska Föreningen. [2004_1_Notat_Packningskontroll_blandkornig_och_finkornig_jord-1.pdf](#)
- Bergqvist, M., Bradley, A., Björheden, R. & Eliasson, L. (2017). *Validering av STP (Surfacing Thickness Program) för svenska förhållanden*. Arbetsrapport 920–2017. Uppsala: Skogforsk.
- Biometria, 2021. *Klassning av skogsbilvägar*. Uppsala: Biometria. September 2021. [klassning-av-skogsbilvaegar_september-2021_webb-2.pdf](#)
- Karlsson, C. Sohlenius, G. Peterson Beacher, G. (2021). Handledning för jordartsgeologiska kartor och databaser över Sverige. SGU-rapport 2021:17. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning [Hämtad 7 augusti 2026]
- Kessler Soils Engineering Products Inc., (2014). *Kessler Dynamic Cone Penetrometer (DCP) K-100 Models User's Manual*. Virginia, USA: Kessler Soils Engineering Products Inc. [Manual DCP K100](#)
- Kuttah, D., Lindström, D., Bergqvist, M., Hindrikes, M., Johansson, T., Persson, J. & Olsson, N.A., (2025). *Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar i Sverige*. VTI rapport 1228. Linköping: Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI). [VTI-Lösningar för snabbare utveckling av skogsbilvägar i Sverige](#)
- Larsson, R., (2023). *Skogsvägen: Handbok – Projektering och byggande*. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsmästarskolan. ISBN 978-91-8046-875-6. [skogsvagen-handbok_a4_kompakt.pdf](#)
- Skogsindustrierna, Skogforsk, Sveaskog, Lantbrukarnas Riksförbund, Sveriges Åkeriföretag & Riksförbundet Enskilda Vägar, (2025). *Nationell strategi för enskilda vägar: En förutsättning för livet utanför städerna*. Stockholm. Skogsstyrelsen, 2011. *Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilväg klass 3 och 4*. Jönköping: Skogsstyrelsen. Version 2011-01-01. [projektera-och-bygga-skogsbilvag-5.pdf](#)
- Skogsstyrelsen, (2023). *Nulägesbeskrivning av enskilda vägar med inriktning på skogsbrukets transporter*. Rapport 2023/18. Jönköping: Skogsstyrelsen. [Rapport-2023-18-nulagesbeskrivning-av-enskilda-vagar-med-inriktning-pa-skogsbrukets-transporter.pdf](#)

Skogsstyrelsen (2025). *Klimat- och sårbarhetsanalys 2025*. Rapport 2025:08. Jönköping: Skogsstyrelsen

TERRATEST GmbH, (2025). *TERRATEST 7000 STREAM / TERRATEST 8000 WIRELESS: Instruction Manual*. Löwenberger Land, Germany: TERRATEST GmbH. [Manual TT7000-8000EN.pdf](#)

Trafikverket (2025). *Bärighetsklasser (BK) på vägar och broar*.

Tillgänglig: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/bk--barighetsklasser-pa-vagar-och-broar/> [Hämtad 17 juni 2026].

Trafikverket (2026). *Strategisk inriktning för NVDB: Målbild på 3–5 års sikt*. Version 3.0. Borlänge: Trafikverket. [strategisk-inriktning-nvdb-ver-3.0.pdf](#) [Hämtad 7 augusti 2026].

Bilagor

Bilaga 1: Vägpunkter som är dikade respektive odikade

		Medel för varje vägpunkt	
		Dikat/odikat	CBR % E _v d (MN/m ²)
Vägpunkt 1	Odikat	35%	35
Vägpunkt 2	Odikat	28%	42
Vägpunkt 3	Dikat	40%	56
Vägpunkt 4	Dikat	45%	58
Vägpunkt 5	Odikat	19%	29
Vägpunkt 6	Dikat	33%	28
Vägpunkt 7	Odikat	20%	25
Vägpunkt 8	Dikat	18%	22

Bilaga 2: Fältblankett för DCP

Datum: _____

HÖGER

	Värde innan					Total penetration i cm:
	start	1 släpp	2 släpp	3 släpp	4 släpp	5 släpp
Vägpunkt 1						
Vägpunkt 2						
Vägpunkt 3						
Vägpunkt 4						
Vägpunkt 5						
Vägpunkt 6						
Vägpunkt 7						
Vägpunkt 8						

MITTEN

	Värde innan					Total penetration i cm:
	start	1 släpp	2 släpp	3 släpp	4 släpp	5 släpp
Vägpunkt 1						
Vägpunkt 2						
Vägpunkt 3						
Vägpunkt 4						
Vägpunkt 5						
Vägpunkt 6						
Vägpunkt 7						
Vägpunkt 8						

VÄNSTER

	Värde innan					Total penetration i cm:
	start	1 släpp	2 släpp	3 släpp	4 släpp	5 släpp
Vägpunkt 1						
Vägpunkt 2						
Vägpunkt 3						
Vägpunkt 4						
Vägpunkt 5						
Vägpunkt 6						
Vägpunkt 7						
Vägpunkt 8						

Bilaga 3: Fältblankett för Terratest

	Datum:	TERRATEST EVD VÄRDE	
	Vänster	Mitten	Höger
Vägpunkt 1			
Vägpunkt 2			
Vägpunkt 3			
Vägpunkt 4			
Vägpunkt 5			
Vägpunkt 6			
Vägpunkt 7			
Vägpunkt 8			

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.