

ARBETSRAPPORT 1219-2024

En metod för förtolkning av vägens tillgänglighetsklass

Bergqvist Mikael, Davidsson Aron, Eliasson Lars



Innehåll

Förord	4
Summary.....	5
Sammanfattning.....	6
Bakgrund.....	7
Syfte och mål.....	8
Material och metoder	8
Studieområde.....	9
Markfuktighetskarta.....	9
Jordartskarta	9
Laserskanning.....	10
Elasticitetsmodul.....	11
Materialprov	11
Teststräckor.....	11
Teststräcka 1, 330 m	12
Teststräcka 2, 425 m	12
Teststräcka 3, 929 m	13
Teststräcka 4, 924 m	13
Teststräcka 5, 385m	14
Teststräcka 6, 580 m	14
Teststräcka 7, 508 m	14
Analys.....	15
Resultat.....	17
Diskussion	19
Slutsatser	20
Referenser	21
Bilaga 1	22



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 24 september 2024 av Gert Andersson, Programchef Driftsystem. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 17 oktober 2024.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Den redovisade studien genomfördes 2020 och 2021, liksom den mesta databearbetningen och rapportskrivningen. Rapporten färdigställdes 2024.

/Författarna

Summary

An accessible road network is a prerequisite for an efficient timber and pulp wood supply from forest to industry. In Götaland, 72 per cent or just over 170,000 km of roads are private. Although most of the distance travelled by a log truck is on the public road network, most transports originate from landings on private roads.

For efficient planning of logging operations and wood transports high quality information on road accessibility is necessary. Information on road quality is stored in the national road database (NVDB). This information is of high quality for public roads but there is often a lack of detailed information on road availability and accessibility for the private roads. Previous analyses show that this lack of information costs the forestry sector in Götaland SEK 27 million annually.

The forestry sector in Götaland agrees that the NVDB information must be improved, and has therefore funded a comprehensive inventory. Today, the usual inventory method is to visit the roads and manually assess road quality. However, technology has evolved – satellite data and orthophotos now have higher spatial resolution, Sweden has been laser scanned twice, and sensors that can be placed on vehicles have been developed and become cheaper.

The aims of this project were 1) to develop an accessibility classification based on laser data, soil type maps and soil moisture maps that can be used as a decision support system for the field inventories; and 2) to select and measure a number of road sections very accurately to evaluate different methods and techniques for road classification.

Seven test sections were selected to capture different soil types and the variation in soil moisture. The study area for the test sections was located at Remningstorp, east of Skara, in Västergötland.

The test sections were laser scanned from a car to describe road geometry, and the E-modulus was determined by drop weight measurement. The E-modulus describes the load-bearing capacity of the road but is not fully transferable to road accessibility. The thickness of the gravel layer was measured in test pits, partly to determine accessibility in accordance with the Swedish Forest Agency's instructions for the classification of forest roads.

The conclusions of the study are:

- A reasonable estimate of the strength of the road can be obtained using soil type, moisture class, and season (seasonal variation of moisture), and gravel thickness.
- The quality of the assessment is reduced if the terrace is not made of in situ material.
- High-quality digital soil maps are needed to obtain an accurate road classification.
- With laser scanning from a car, terrace height can be estimated, but the relationship between accessibility and terrace height could not be analysed due to correlations with other effects.

Sammanfattning

Ett väl fungerande vägnät är en förutsättning för en tillfredsställande virkesförsörjning från skog till industri. I Götaland är 72 procent eller drygt 170 000 km av vägarna enskilda. Den största delen av transportarbetet utförs på det statliga vägnätet, men det enskilda vägnätet har dock en kapillär funktion, då 86 procent av virkestransporterna inleds vid en enskild väg.

Information om vägarnas beskaffenhet lagras i den nationella vägdatabasen (NVDB). På den del av det enskilda vägnätet som ägs av privatpersoner och mindre företag finns stora brister i information om vägarnas tillgänglighet och framkomlighet. Dessa brister kostar årligen skogsbruket i Götaland ca 27 miljoner kronor. Man är överens om att informationen i NVDB behöver förbättras, och en heltäckande inventering utförs därför. Idag görs detta genom att besöka vägarna i fält och manuellt samla in data om vägarnas skick, alternativt inrapportering från transportörer. Under de senaste åren har tekniken utvecklats, den spatiala upplösningen i ortofoton har ökat, Sverige har laserskannats en gång och det första omdrevet pågår, och fordonsensorerna har vidareutvecklats och blivit billigare. Detta gör att en förklassning av vägnätet bör vara möjlig.

Detta projekt hade två mål:

- Utifrån laserdata, jordartskartor och markfuktighetskartor utveckla en tillgänglighetsklassning som kan användas som stöd i fält.
- Utse och mäta ett antal vägsträckor mycket noggrant så att dessa kan användas för att utvärdera olika metoder och tekniker för att klassa vägarnas bärighet.

Totalt valdes sju teststräckor ut. Dessa valdes så att det fanns delsträckor på jordarterna silt, finkorniga och grusiga sediment, morän, berg och torvmark, samt delsträckor med olika fuktighet inom samma jordart. Studieområdet låg på eller i anslutning till fastigheten Remningstorp, öster om Skara i Västergötland.

Teststräckorna beskrevs genom mätningar i fält. Vägarnas geometri beskrevs genom laserskanning från bil. E-modulen, som kan användas för att beskriva vägens bärighet, bestämdes genom fallviktsmätning. E-modulen är dock inte helt överförbar till vägens tillgänglighet. Överbyggnadens tjocklek mättes i provgropar för att bedöma tillgängligheten enligt Skogsstyrelsens anvisningar för klassning av skogsbilvägar. Korrelationen mellan överbyggnadstjocklek, elasticitetsmodul, jordart och fuktighet ger en möjlighet att bedöma vägarnas tillgänglighet givet att vägägarna definierar vilken E-modul de olika väglklasserna ska uppnå vid en given markfuktighet eller tidpunkt på året.

Slutsatserna från studien är att det går att göra en rimlig bedömning av terrassens hållfasthet med hjälp av jordart, fuktighetsklass och årstid (årstidsvariation av fuktighet). Fyllnadsmassor i terrassen är svårbedömda i de fall de transporterats från en annan lokal och inte utgörs av lokalt material, det vill säga av jordarten i jordartskartan. För att skatta vägens hållfasthet måste grustjockleken läggas till terrassens hållfasthet. För att kunna hålla hög kvalitet på skattningen av vägens E-modul utifrån jordart och fukthalt är den digitala jordartskartans kvalitet helt avgörande.

Terrasshöjden kan uppskattas med laserskanning från bil, men i den här studien var sambandet mellan tillgänglighet och terrasshöjd inte möjligt att studera på grund av samvariationer med andra faktorer. Terrasshöjdens betydelse för terrassens hållfasthet samt dräneringen av både väggropp och vägyta bör studeras närmare. Dessutom bör man studera hur överbyggnadens kvalitet inverkar på vägens hållfasthet.

Bakgrund

Skogsbruket i Götaland är beroende av ett väl fungerande vägnät året runt för en tillfredsställande virkesförsörjning från skog till industri. Vägnätet i Götaland är 24 000 mil långt varav enskilda vägar utgör 72 procent, kommunala vägar och gator 9 procent och statliga vägar 19 procent. Den största delen av transportarbetet utförs på det statliga vägnätet. Det enskilda vägnätet har en kapillär funktion eftersom 86 procent av virkestransporterna inleds vid en enskild väg, och utan dessa skulle virkesflödet försvåras och minska drastiskt.

Det enskilda vägnätet i Götaland har brister i framkomlighet och tillgänglighet, vilket orsakar ökade kostnader för transport, lagring och kvalitetsnedsättningar i form av leveransstörningar för alla skogliga aktörer. Dock är dessa brister svåra att överskåda eftersom informationen om det enskilda vägnätet i Götaland är långt ifrån heltäckande. Exempelvis saknade 55 procent av vägarna framkomlighetsklassning och drygt 68 procent saknade tillgänglighetsklassning år 2018 i den nationella vägdatabasen (NVDB). I en effektanalys utförd av Skogforsk 2018 bedömdes kostnaderna som uppstår på grund av bristande information om vägnätet i Götaland årligen uppgå till drygt 27 miljoner kronor, eller drygt en krona per avverkad kubikmeter.

Sedan databasens tillkomst i början av 2000-talet har uppdateringen och ajourhållningen av data varierat stort beroende på var i landet de enskilda vägarna återfinns. I Götaland är det främst avvikelshantering vid användning av Krönt vägval som drivit ajourhållningen. Detta orsakas av att det privata enskilda skogsbruket, till skillnad från de större skogsbolagen, inte har ett utarbetat arbetssätt för att ajourhålla information i NVDB. Eftersom de större skogsbolagen har tyngdpunkten av sitt markinnehav i norra Sverige har detta medfört att vägar, i framför allt södra Sverige, saknar information eller har inaktuell information.

Detta har orsakat växande problem för skogsbruket i södra Sverige, då NVDB utgör en viktig informationskälla vid planering av virkesförsörjningen. Ökad efterfrågan på tillgängligt virke året om, framkomlighet med 74-tons fordon, svårigheter att rekrytera lastbilschaufförer och personal med mindre och mindre lokalkännedom är utmaningar som skogsbruket har att möta.

Det råder konsensus inom skogsbruket i Götaland om att informationen i NVDB måste bli bättre och att en heltäckande inventering av vägnätet ska utföras. Idag är gängse metod att i fält besöka vägarna och manuellt fånga de skogliga företeelser som vägen har via inventering, alternativt inrapportering från transportörer. Sedan dessa metoder togs fram har tekniken utvecklats: ortofoton har fått högre spatial upplösning, Sverige har laserskannats en gång och ett första omdrev är i sitt slutskede, sensorer som kan placeras på fordon har utvecklats och blivit billigare. I British Columbia, Kanada, har man med viss framgång använt laserskanningsdata för att klassificera statusen på skogsvägar (Haga m.fl. 2020a). Skogforsk ser stora möjligheter att använda dessa nya tekniker och metoder för att på ett kostnadseffektivt sätt uppdatera informationen om det enskilda vägnätet i NVDB, framför allt på de delar av det enskilda vägnätet som ägs av enskilda markägare.

Syfte och mål

Projektets syfte var att:

- skapa underlag för att effektivisera fältarbetet vid inventering av vägar och komma ifrån personberoende subjektiva bedömningar.
- välja och mycket noggrant mäta upp teststräckor för att i framtiden kunna utvärdera olika inventeringsmetoder och tekniker för klassning av vägar.

Projektets mål var att:

- utifrån laserdata, jordartskartor och markfuktighetskartor ta fram en skattning av vägens bärighet som kan användas som stöd för tillgänglighetsklassningen i fält.
- skapa ett antal teststräckor för att utvärdera inventeringsmetoder.

Material och metoder

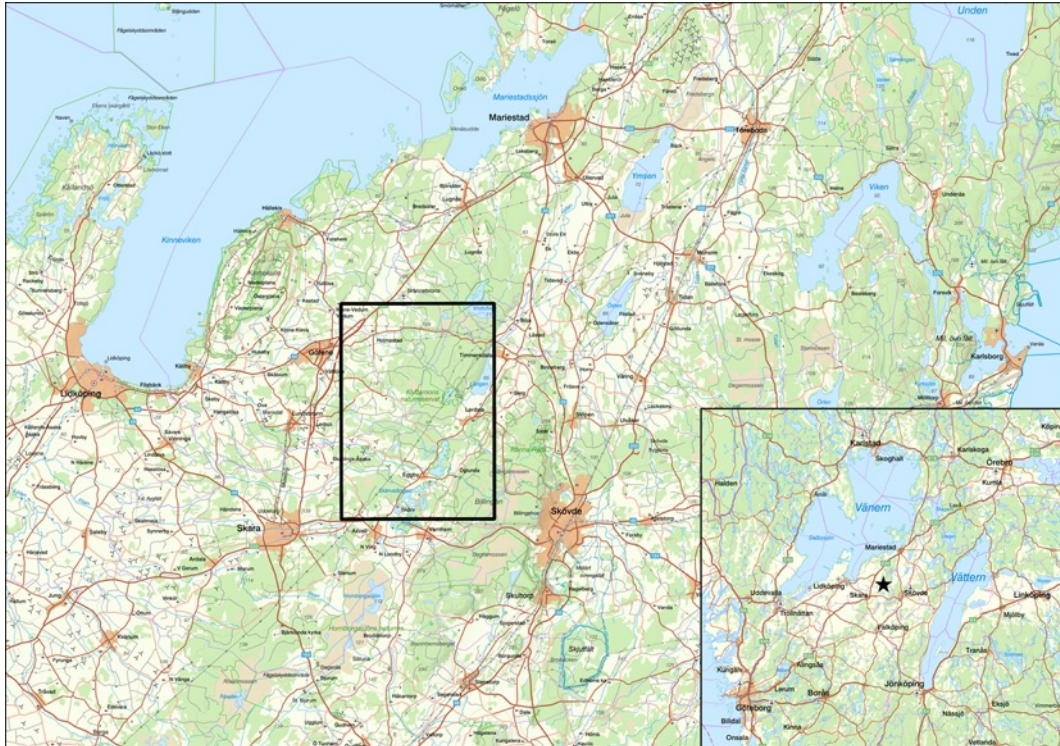
Utgångspunkten i projektet var att använda befintliga datamaterial som beskriver vägarnas beskaffenhet och omgivning för att bedöma tillgängligheten för dessa utan att behöva införskaffa kunskap genom fältinventeringar. Den information som vi tror kan bidra till en förtydligad tillgänglighetsklassning och som finns att tillgå idag är ett antal olika markfuktighetskartor, jordartskartor med olika detaljeringsgrad beroende på var i landet vi befinner oss och data från laserskanning som kan vara från luften eller från fordon.

För att verifiera de olika informationskällorna valdes ett antal vägsträckor ut på olika vägar på fastigheten Remningstorp (Figur 1). Dessa valdes så det fanns delsträckor på silt, finkorniga och grusiga sediment, morän, berg och torvmark, samt delsträckor med olika fuktighet inom samma jordart. Teststräckorna inventerades i fält, dessutom mättes E-modulen mättes med en fallviktsdeflektometer och vägytan laserscannades

Inledningsvis valdes sex teststräckor. Dessa kompletterades senare med en sjunde för att utöka med en väg som hade grusigt material i jordartskartan och fuktiga områden i markfuktighetskartan.

På teststräckorna utfördes olika mätningar för att så fullständigt som möjligt beskriva dessa (Figur 2). Laserskanningen som genomfördes gav en god beskrivning av vägens geometri. Fallviktsmätning beskrev vägens bärighet, vilket är inte helt överförbar till tillgänglighet. Provgropar grävdes för att beskriva överbyggnadstjockleken och överbyggnadsmaterialet. Dessa data kan användas för att beskriva tillgängligheten enligt Skogsstyrelsens anvisningar för klassning av skogsbilvägar. Den insamlade informationen om överbyggnadstjocklek, elasticitetsmodul, jordart och fuktighet ger möjlighet att bedöma vägens tillgänglighet.

Studieområde



Figur 1. De sju teststräckorna finns inom den svarta rektangeln på fastigheten Remningstorp Västergötland.

Markfuktighetskarta

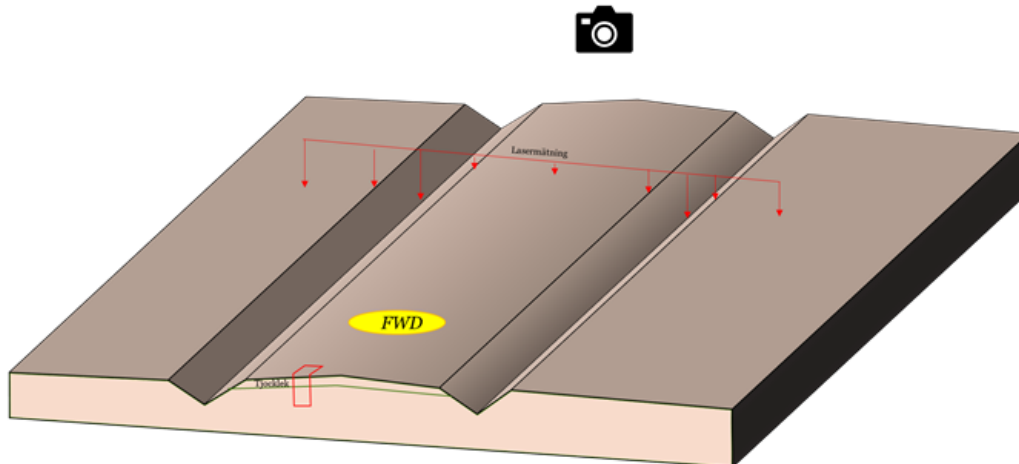
I projektet användes markfuktighetsindexet MFI (Metria 2019). Detta är ett delresultat från produktionen av Nationella Marktäckedata där det användes till avgränsning av våtmarker. Produkten redovisar markfuktighet i ett kontinuerligt spektrum från blött till torrt och har tio meters upplösning.

Markfuktighetsindexet kombinerar de två olika topografiska måtten Depth to Water och Topographic Wetness Index (TWI). Dessa kombineras med en viktning som ger Depth to Water större betydelse för slutresultatet. De två måtten tycks nämligen komplettera varandra, men generellt fungerar Depth to Water bättre än TWI för att förutsäga markfuktighet (Murphy m.fl. 2011, Ågren m.fl. 2014).

Markfuktighetsindexet indikerar om en plats oftast är torr eller fuktig och kan användas till att jämföra olika platsers markfuktighet med varandra. Hur fuktig marken verkligen är varierar förstås över tid och beroende på nuvarande och tidigare väderförhållanden.

Jordartskarta

De flesta av SGU:s jordartskartor har tagits fram genom flygbildstolkning samt fältrekognosering. De detaljerade kartorna (skala 1:50 000) har delvis tagits fram genom rekognosering till fots i terrängen. Inom den översiktliga (regionala) kartläggningen har fältrekognoseringen i huvudsak skett längs vägar. Idag används Lantmäteriets mycket detaljerade höjdmödel (upplösning 2x2 meter) som underlag för att ta fram jordartskartor.



Figur 2. Mätpunkterna för de olika parametrarna som mättes i fält. Provgrop för beskrivning av överbyggnad respektive terrass, FWD-position för mätning med fallviktsdeflektometer, laserskanning av vägbana och diken, samt position för fotografering av vägsektionen.

Laserskanning

Syftet med att laserskanna vägarna var att fånga vägnas geometri, främst vägbredd och vägbankens höjd, men skanningen ger även information om vägens bombering och tvärfall.

För att kunna fånga dessa geometriska mått behövs en viss punkttäthet från laserskanningen. Den luftburna laserskanning som genomfördes över hela Sverige under 2010 och framåt hade en täthet mellan punkterna på 0,5 punkter per kvadratmeter, vilket inte är tillräckligt tätt för att kunna mäta vägens bredd och vägbankens höjd med tillfredställande noggrannhet. Det första omdrevet av laserskanningen, vilket är pågående, har en täthet på två punkter per kvadratmeter, vilket fortfarande är för gles för att med säkerhet kunna fastställa vägens bredd och höjd mot omgivande mark.

För att få tillräckligt med laserpunkter har teststräckorna skannats med bilburen laser. Vägsträckan har skannats i ca 30 km/h med SICK LMS511 PRO laserskannrar. Dessa är monterade på ett sådant sätt att de tillsammans ger ett skannermönster utan skuggeffekter och en relativt jämn täthet över hela vägytan. Insamling har skett två gånger i båda riktningar för att säkerställa en god positionering, då många delar av sträckorna passerar täta skogsridåer.

Laserdata har importerats i blockrutor och stråkutjämnats internt med hjälp av kvalitetsinformation från positionsberäkningen. Därefter har även Lantmäteriets NH-data (flygburen laserskanning) nyttjats för att validera och på vissa ställen justera laserdata från bilskanningen i höjd. När stråkutjämnningen var klar har nya laserdata framställts med uppdaterade positioner.

Utifrån laserdatas punktmoln skapades en markmodell över vägen, diken och omgivning fem meter på båda sidor om vägens mitt. Genom att ta medelvärdet av differensen mellan höjdvärdet från vägens mitt och respektive dikes lägsta punkt, vinkelrätt mot körriktningen, fick vi fram terrassens medelhöjd för mätpunkten.

Elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen beskriver en vägs (ett materials) kapacitet att bära och fördela belastningar. Ett högre värde innebär att vägen deformeras mindre under last. Fallviktsmätning är en vedertagen metod för att mäta elasticitetsmodulen på allmänna vägar. Mätningarna mäter deflektionen i vägen och resultaten omvandlades sedan till elasticitetsmoduler för olika djup i vägen. Fallviktsmätningarna och beräkningarna av E-moduler genomfördes av VTI.

Materialprov

Materialet i underbyggnaden har bedömts med rullprov och okulärt. Överbyggnadens sammansättning har bedömts okulärt.

I samband med materialprovtagningen mättes även överbyggnadens tjocklek (Figur 3).



Figur 3. Mätning av överbyggnadens tjocklek.

Teststräckor

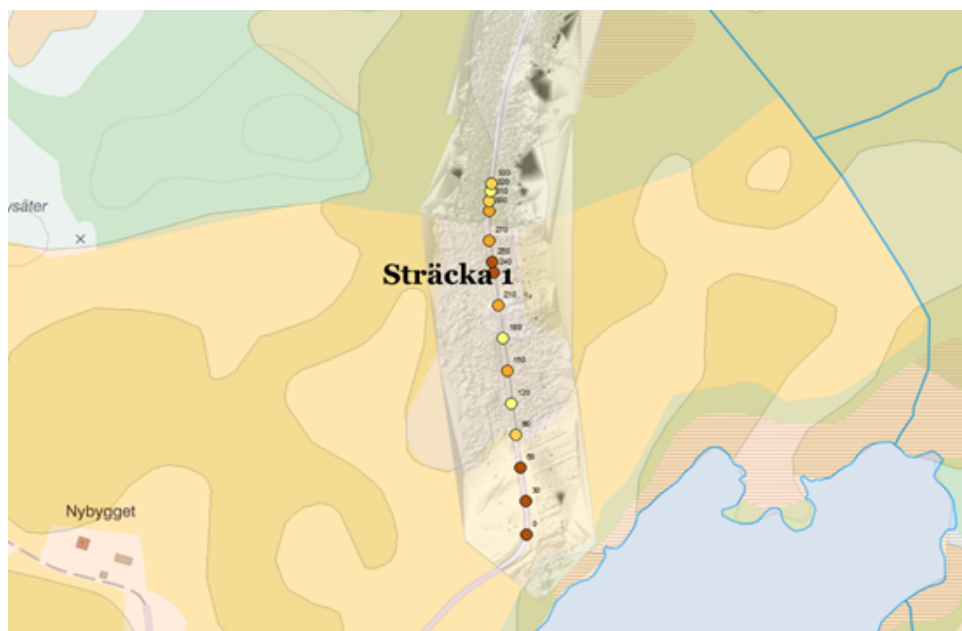
Sju teststräckor valdes ut för att representera olika jordarter och olika typer av vägar som finns i Götaland.

Vägarna undersöktes med provgropar för att beskriva överbyggnaden och underbyggnaden den 12 augusti 2020. Fallviktsmätningarna utfördes av VTI den 10 september 2020 samt en kompletterande mätning den 15 april 2021.

Fallviktsmätningarna utfördes vid två tillfällen för att undersöka om det finns någon säsongsvariation på E-modulen på dessa teststräckor.

Teststräcka 1, 330 m

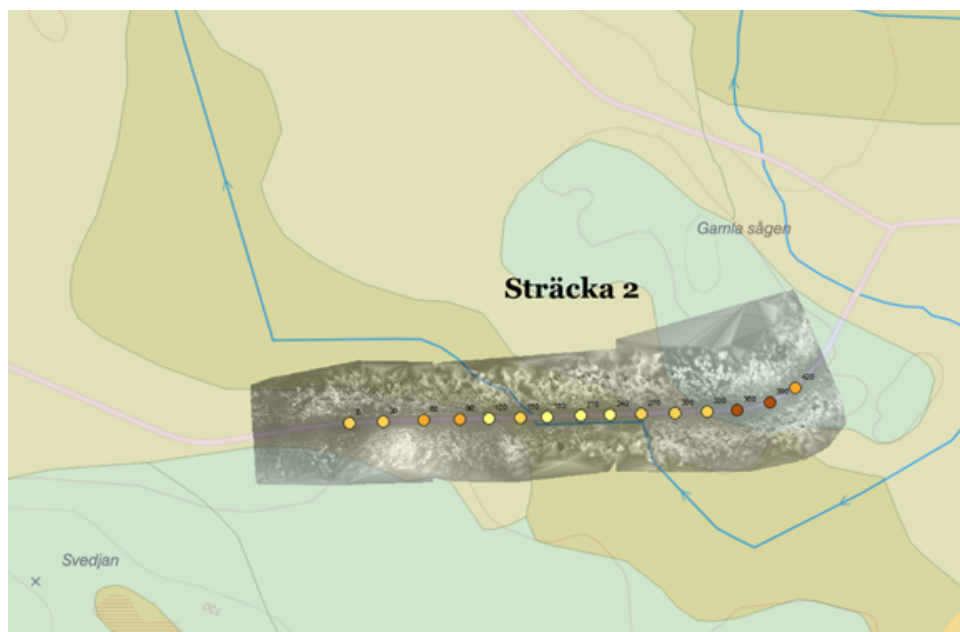
Teststräcka 1 går över jordbruksmark som är av torv. 15 punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021 (Figur 4). Dessutom grävdes fyra provgropar för att avgöra överbyggnadstjocklek och materialet i underbyggnaden.



Figur 4. Teststräcka 1. Siffrorna vid mätpunkterna visar avståndet i meter från första mätpunkten.

Teststräcka 2, 425 m

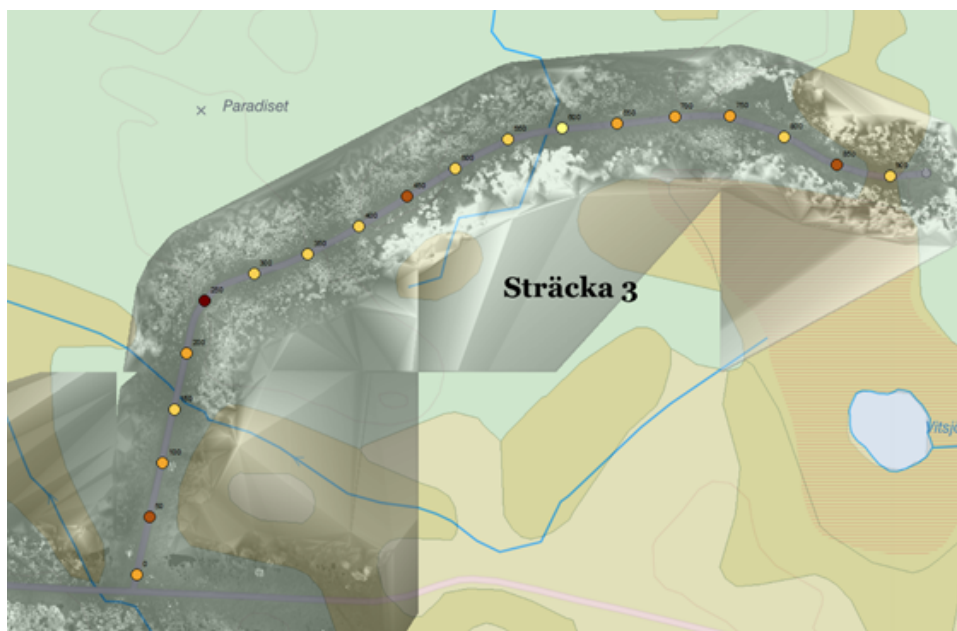
Teststräcka 2 är dragen över varierande undergrundsmaterial från isälvssediment till kärrtorv samt passerade en mindre bäck. 15 punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021. Tre provgropar grävdes för att avgöra överbyggnadens tjocklek och materialet i underbyggnaden.



Figur 5. Teststräcka 2. Siffrorna vid mätpunkterna visar avståndet i meter från första mätpunkten.

Teststräcka 3, 929 m

Teststräcka 3 är dragen över sandig morän. 19 punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021, och fem provgropar grävdes för att avgöra överbyggnadstjocklek och materialet i underbyggnaden (Figur 6).



Figur 6. Teststräcka 3. Siffrorna vid mätpunkterna visar avståndet i meter från första mätpunkten.

Teststräcka 4, 924 m

Teststräcka 4 är dragen över glacial silt med grunt jorddjup och berg i dagen. 19 punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021. Dessutom grävdes fyra provgropar för att avgöra överbyggnadens tjocklek och materialet i underbyggnaden (Figur 7).



Figur 7. Teststräcka 4. Siffrorna vid mätpunkterna visar avståndet i meter från första mätpunkten.

Teststräcka 5, 385m

Teststräcka 5 passerar över sandig morän. Tretton punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021. Tre provgropar grävdes för att avgöra överbyggnadstjocklek och materialet i underbyggnaden (Figur 8).



Figur 8. Teststräcka 5 och 6. Siffrorna vid mätpunkterna visar avståndet i meter från första mätpunkten.

Teststräcka 6, 580 m

Teststräcka 6 ligger i anslutning till teststräcka 5 och passerar över sandig morän. Vägen har statligt driftsbidrag. Tretton punkter mättes med fallvikt den 10 september 2020 samt den 15 april 2021. Dessutom grävdes tre provgropar för att avgöra överbyggnadstjocklek och materialet i underbyggnaden (Figur 8).

Teststräcka 7, 508 m

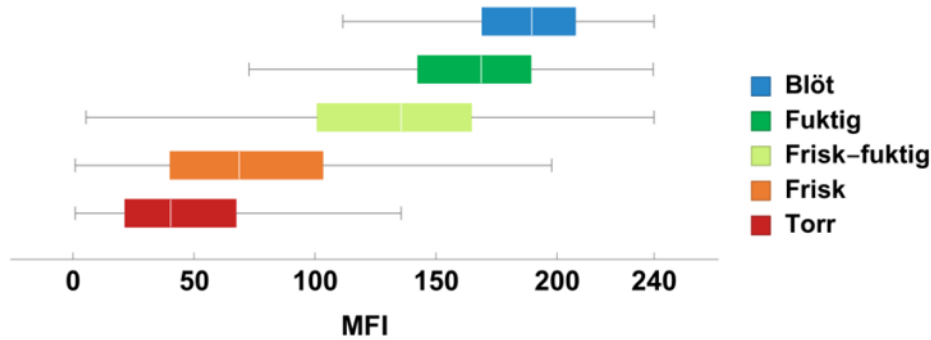
Teststräcka sju är dragen över isälvssediment grus. Då vägen lades till i ett senare skede gjordes bara en fallviktsmätning, den 15 april 2021 mättes 19 punkter med fallvikt. Samtidigt grävdes 9 provgropar för att avgöra överbyggnadstjocklek och materialet i underbyggnaden (Figur 9).



Figur 9. Teststräcka 7.

Analyser

Markfukten anges med ett statistiskt värde hämtat från en markfuktighetskarta framtagen av Metria (2019). Fukthaltsvärdet bygger på en kombination av två olika topografiska mått: Depth to Water och Topographic Wetness Index (TWI). I figur 10 nedan beskrivs hur fukthaltsvärdet överensstämmer med den fältbedömda fukthalten.



Figur 10. Metrias beskrivning av markfuktighetsindexet (MFI) i förhållande till markfukten enligt riksskogstaxeringen. Från Metria (2019).

För att underlätta analyserna och möjliggöra mer robusta samband i den här studien har markfuktigheten enligt markfuktighetsindexet (Metria 2019) delats i fyra klasser som inte överlappar varandra (tabell 1) och de åtta förekommande jordarterna har slagits ihop till fem jordartsklasser (tabell 2). Jordarten Urberg har tagits bort från analysen eftersom antalet punkter i materialet är för litet och eftersom man inte vet vad det tunna jordskiktet ovanpå berget består av.

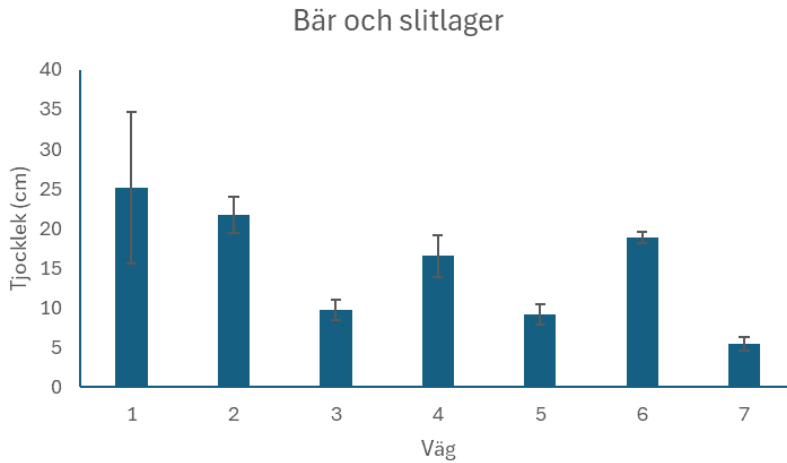
Tabell 1. Markfuktighetsklasser.

Fuktklass	Markfuktighetsindex	Fuktighetskategori
A	0–50	Torr
B	>50–100	Frisk
C	>100–150	Frisk-fuktig
D	>150	Fuktig-blöt

Tabell 2. Jordarternas omklassning till jordartsklasser.

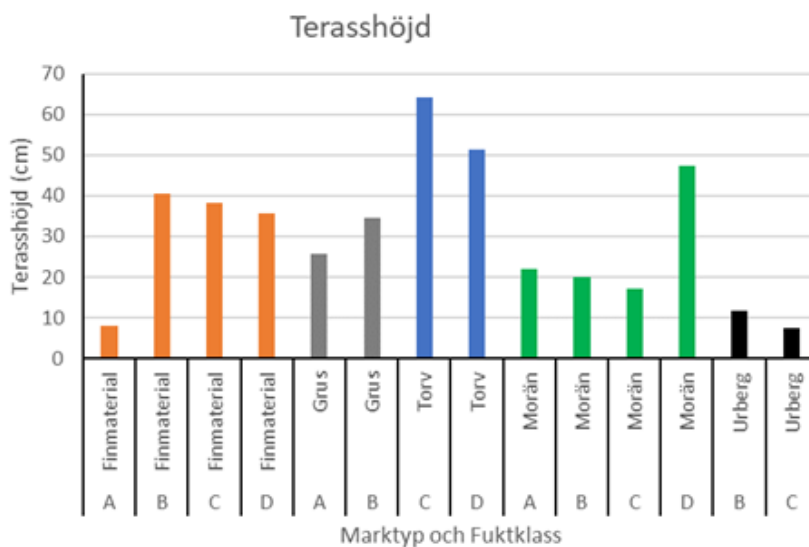
Jordart enl. jordartskartan	Jordartsklass
Glacial silt	Finmaterial
Isälvssediment	Finmaterial
Isälvssediment, grus	Grus
Svallsediment, grus	Grus
Kärrtorv	Torv
Morän omväxlande med sorterade sediment	Morän
Sandig morän	Morän
Urberg	Urberg

I medeltal var överbyggnaden 15 cm tjock för de studerade vägarna. Dock varierade medeltjockleken för bär- och slitlager stort mellan och inom vägarna (Figur 11).



Figur 11. Överbyggnadens (bär- och slitlagrets) tjocklek för de studerade vägarna inklusive ett 95 % konfidensintervall för skattningen.

Det finns ett komplext beroende mellan terrasshöjden, jordartsklassen och fuktklassen (Figur 12). De redovisade värdena påverkas till en del av att antalet observationer är litet i vissa kombinationer. I materialet från 2020 är det bara på två jordarter, morän och finmaterial, som de inventerade vägpunkterna finns i alla fuktklasser. Detta är inte oväntat eftersom grusiga sediment är väl-dränerade och därför inte brukar vara blöta, och torvmarker brukar inte uppstå i torra partier. Detta samband gör att man får vara försiktig då man använder terrasshöjd som en variabel när man vill beskriva elasticitetsmodulen i vägytan eller längre ner i väggroppen. Vid mätningen 2021 kompletterades materialet med en väg och för 2021 finns även observationer för grusig mark i alla fuktklasser.

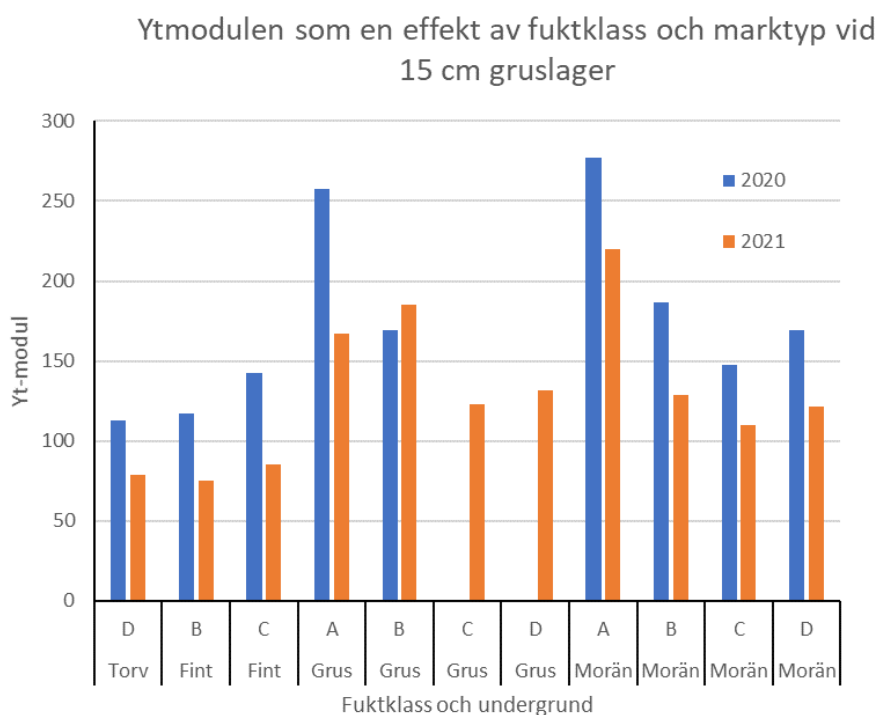


Figur 12. Medelterrasshöjd (vägbans högsta punkt – dikets lägsta punkt på samma position i vägens längdriktning) beroende av jordarts- och fukthaltssklass baserat på väg ett till sex.

Elasticitetsmodulens beroende av jordartsklass, fukt (både fuktklass och markfuktighetsindex), grustjocklek, terrasshöjd (min, medel och max) har analyserats med en linjär modell i statistikpaketet SAS.

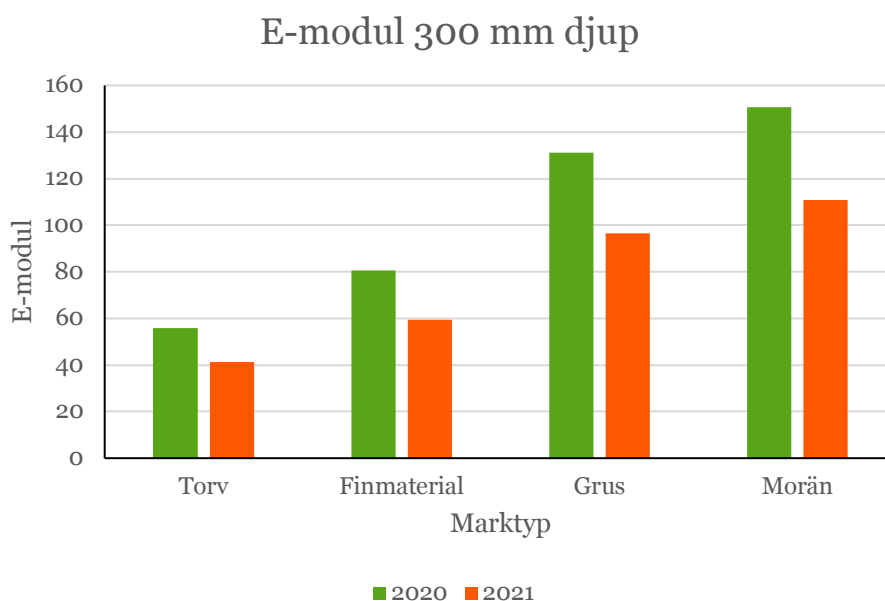
Resultat

Ytmodulen förklaras på ett acceptabelt sätt av en modell med bara år (det vill säga mättillfälle), fuktklass, jordartsklass och grustjocklek, där samtliga variabler liksom interaktionen mellan fuktklass och jordartsklass är starkt signifikanta. Övriga interaktioner var inte signifikanta. Resultaten visar att E-modulen ökar med ökande grustjocklek och i varierande grad minskar med ökande fukthalt (Figur 13). Modellen förklarar 45 procent av variationen, vilken sjunker till 35 procent om man använder fukten som en kontinuerlig variabel i stället för en klassvariabel.

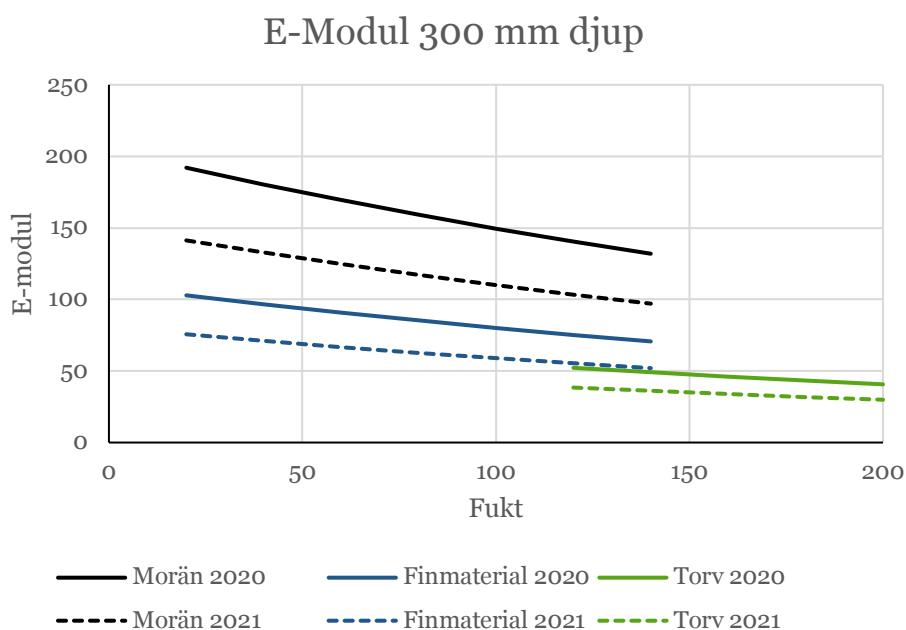


Figur 13. Ytmodulens beroende av årstid, fukthaltsklass, och jordartsklass vid 15 cm grustjocklek. Endast medelvärden för de kombinationer där minst tre punkter mätts under samma år presenteras.

E-modulen på 30 cm djup förklaras av en modell som bara beror av år (mättillfälle), kartografisk fukthalt och jordartsklass. Modellen förklarar 45 procent av variationen i materialet. Mätningen på våren 2021 gav en 26 procent lägre elasticitetsmodul än vid mätningen under hösten 2020 oavsett jordartsklass och kartografisk fuktklass (Figur 14). Detta beror huvudsakligen på att den faktiska fukthalten i vägen var avsevärt högre vid vårmätningen. På 30 cm djup minskar E-modulen med ökande kartografisk fukthalt, och moränmark och grus ger föga förvånande en högre E-modul än torv och finjordsrika marker (Figur 15). Man kan inte se någon påverkan av grustjockleken på 30 centimeters djup. Dock har de två mätpunkter på blöt torvmark som tagits bort på grund av att gruslagret var 66 cm tjockt en avsevärt högre E-modul än vad modellen förväntar av blöt torvmark.

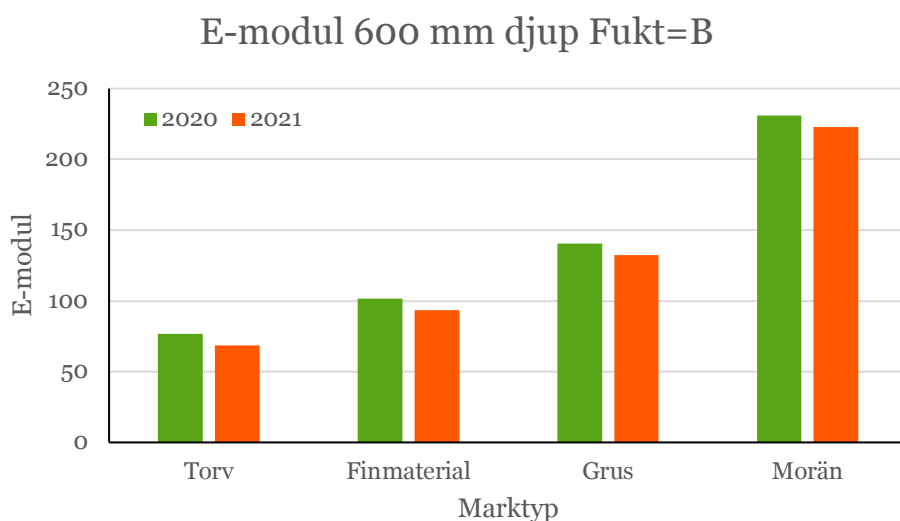


Figur 14. Medelvärde för E-modulen på 30 centimeters djup beroende på jordartsklass.

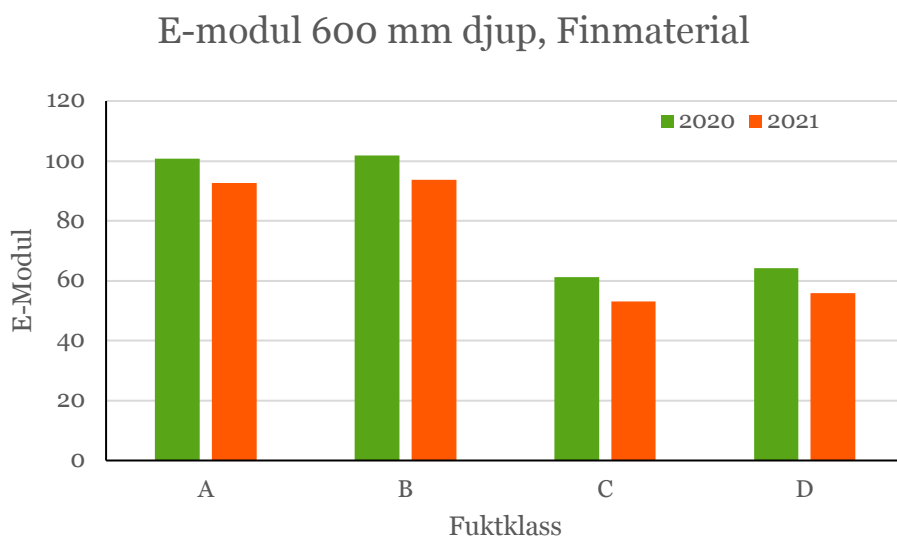


Figur 15. E-modulens beroende av fukthaltsindex och jordartsklass på 30 centimeters djup. Notera de konsistent lägre mätvärdena vid mätningen våren 2021, vilka orsakas av en högre faktisk fuktmängd i vägarna.

På 60 cm djup finns ingen säkerställd effekt av årstid, utan markens elasticitetsmodul förklaras endast av jordartsklassen och fuktklassen. Modellen förklarar 50 procent av variationen i materialet. De olika jordartsklassernas E-modul är säkerställt skilda från varandra (Figur 16). Vägar i de torrare fuktighetsklasserna A och B har en säkerställt högre E-modul än de fuktiga klasserna C och D (Figur 17).



Figur 16. Den omgivande jordartens påverkan på E-modulen på 60 cm djup vid markfuktighetsklass B.



Figur 17. Effekten av markfuktighetsklass och mättillfälle på E-modulen på 60 cm djup.

Diskussion

Studien är utförd på ett begränsat antal testvägar med ett begränsat antal parametrar, men visar ändå på någorlunda stor förklaringsgrad. Vi kan inte använda alla parametrar som har mätts då vissa parametrar visat sig samverka med varandra. För att öka förklaringsgraden behöver fler testvägar och fler parametrar undersökas. Resultat från studien med E-modulens variation beroende på jordart och fuktighet samt grustjocklek är inte kontroversiellt då dessa samband stöds i tidigare forskning (Waga m.fl. 2020b).

Relationen mellan dessa variabler beskrivs även i ”Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilväg klass 3 & 4” (Skogsstyrelsen 2011).

Det är viktigt att påpeka att det troligen inte går att skatta hur en ökad eller minskad fukthalt i vägkroppen påverkar vägens E-modul genom att öka eller minska TWI-indexet. Relationen mellan den faktiska fukthalten, jordarten och E-modulen kan mycket väl skilja sig från relationen mellan TWI, jordart och E-modul.

En svaghet i studien är att materialet i terrassen inte beskrivits närmare. I många fall bör det vara material från den omgivande terrängen, och då kan man anta att det är den jordart som presenteras i jordartskartan. Däremot utgör fyllnadsmassor i terrassen en källa till variation i de fall där de hämtats från en annan lokal, och därmed inte utgörs av jordarten i jordartskartan.

Slutsatser

Slutsatserna i denna studie är att det går att få en rimlig bedömning på terrassens hållfasthet baserad på:

- Jordart
- Fuktighetsindex
- Årstid (årstidsvariation av fuktighet). Denna variabel är egentligen utan betydelse när man ska göra en förtolkning. Då är det viktigare med vilken mättidpunkt man valt som normalläge för förtolkningen.

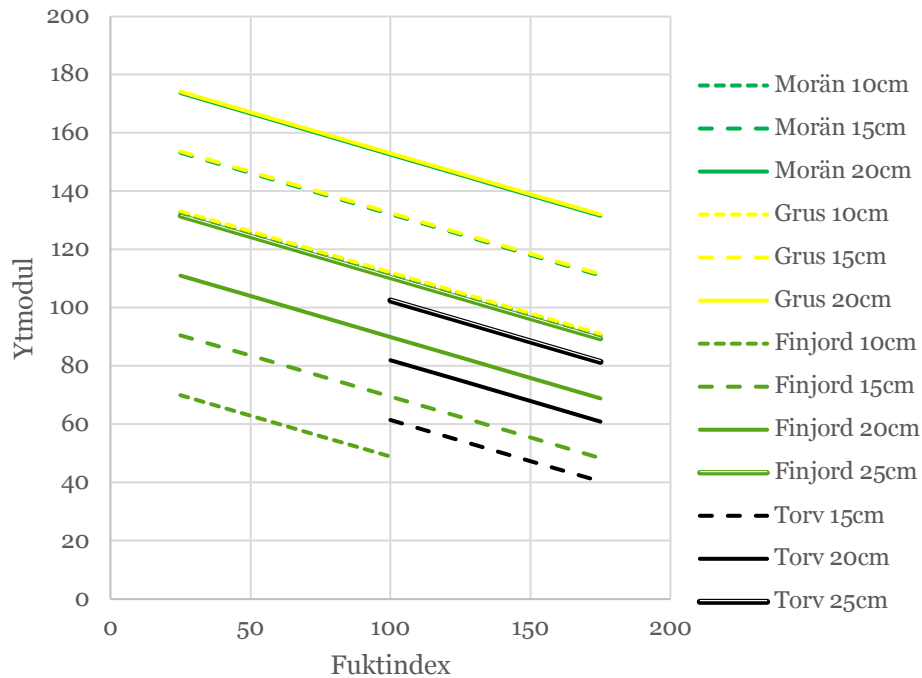
För att få vägens hållfasthet måste grustjocklek läggas till terrassens hållfasthet. Det är därför viktigt att kontrollera grustjockleken i allmänhet, men i synnerhet där hållfastheten kan förmodas vara låg i terrassen. Baserat på resultaten i denna studie kan vägens normala bärförmåga skattas från exempelvis figur 18 om den kompletteras med gränser för E-modulen för de olika vägklasserna. Det kvarstår att bestämma vilken E-modul (ytmodul E_{300} eller E_{600}) som ska användas vid skattningen av vägens bärighet, och att fastställa vilka värden på denna E-modul som ska anses motsvara en viss bärighetsklass. Detta, liksom frågan om vilken mättidpunkt som ska användas vid förtolkningen, är en fråga för vägägarna. Observera dock att sambandet mellan fuktighetsindexet och E-modulen inte kan användas för att skatta hur en väg påverkas av nederbörd eller uttorkning under året.

Med laserskanning från bil kunde terrasshöjden uppskattas. De eventuella sambanden mellan E-modul och terrasshöjd var inte möjliga att studera på grund av de samvariationer med andra variabler som fanns i materialet.

För att kunna hålla god kvalitet på bedömningen av E-modulerna (vägens hållfasthet), är det viktigt att klassificeringen av jordart i GIS-underlagen är korrekt.

Nya studier är nödvändiga för att klargöra terrasshöjdens betydelse för terrassens hållfasthet samt för dräneringen av vägkroppen och vägytan. Dessutom behövs fler studier av hur överbyggnadens kvalitet inverkar på vägens hållfasthet.

Ytmodulens beroende av marktyp, fukt och grusmängd



Figur 18. Ytmodulen skattad från markfuktighetsindex (MFI), jordart och grustjocklek.

Referenser

Metria 2019. Rikstäckande information om markens fuktighet. https://gpt.vic-metria.nu/data/land/NMD/ARTIKEL_Markfuktighetsindex_NMD.pdf Besökt 2021-08-26

Skogsstyrelsen 2011. Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilväg klass 3 och 4. Skogsstyrelsen, Jönköping. 50 sid.

Waga, K., Tompalski, P., Coops, N.C., White, J.C., Wulder, M.A., Malinen, J., Tokola, T., 2020a. Forest Road Status Assessment Using Airborne Laser Scanning. *For. Sci.* 66(4), 501-508.

Waga, K., Malinen, J., Tokola, T., 2020b. A Topographic Wetness Index for Forest Road Quality Assessment: An Application in the Lakeland Region of Finland. *Forests* 11(11), 1165.

Bilaga 1

Ytmodul

$$E = 98,73 + J + \text{\AA} + 4,103G - 0,281F$$

Där \AA = 51,49 om år = 2020 och 0 om 2021, samt J är -70,69 för Torv, -62,72 för finmaterial, 0,44 för grus och 0 för morän. G är grustjocklek i cm, och F är det kartografiska fuktvärdet. Modellen förklarar 35 procent av variationen i materialet.

E-modul på 30 cm djup

$$E = e^{((4,88 + \text{\AA} + J - 0,0031F) + (0,5125^2)/2)}$$

Där \AA = 0,3072 om år = 2020 och 0 om 2021, samt J är -0,9895 för Torv, -0,6243 för finmaterial, -0,1373 för grus och 0 för morän och F är det kartografiska fuktvärdet. Modellen förklarar 45 procent av variationen i materialet.

E-modul på 60 cm djup

$$E = e^{((5,328 + \text{\AA} + J - 0,0027F) + (0,6511^2)/2)}$$

Där \AA = 0,1362 om år = 2020 och 0 om 2021, samt J är -1,6918 för Torv, -0,8830 för finmaterial, -0,4988 för grus och 0 för morän och F är det kartografiska fuktvärdet. Modellen förklarar 50 procent av variationen i materialet.