

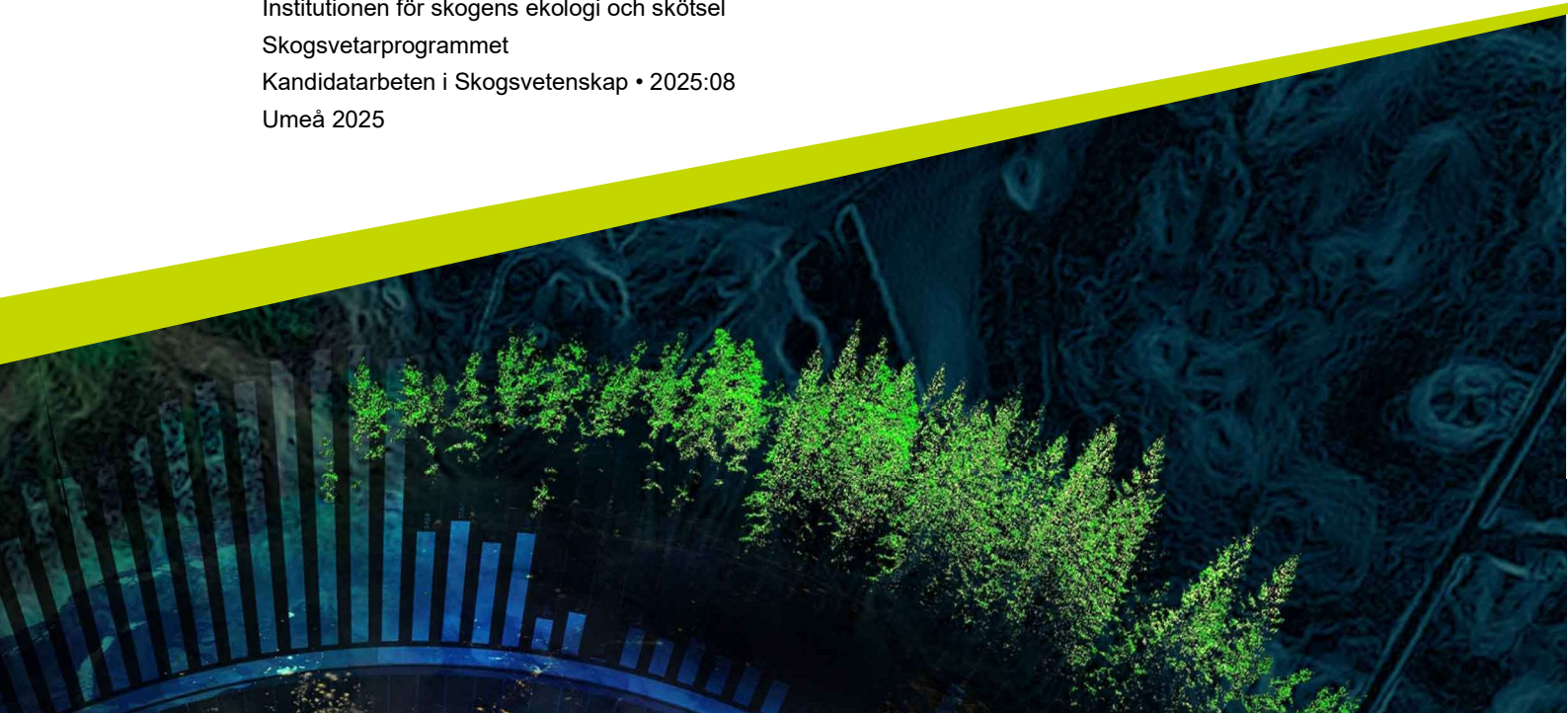


Optimering av materialförsörjning för skogsbilvägar

En ekonomisk analys

Karl Hansson & Fredrik Ström

Självständigt kandidatarbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel
Skogsvetarprogrammet
Kandidatarbeten i Skogsvetenskap • 2025:08
Umeå 2025



Optimering av materialförsörjning för skogsbilvägar. En ekonomisk analys

Karl Hansson & Fredrik Ström

Handledare: Tomas Nordfjell, SLU, skogens biomaterial och teknologi

Examinator: Torgny Lind, SLU, institutionen för skoglig resurshushållning

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i Skogsbruksvetenskap

Kurskod: EX1015

Program/utbildning: Skogsvetarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2025

Serietitel: Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Delnummer i serien: 2025:08

Nyckelord: optimering , grustäkt, vägmaterial, skogsbilväg

Sveriges lantbruksuniversitet

Skogsfakulteten

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Förord

Denna studie är genomförd inom ramarna för ett kandidatarbete i Skogsbruksvetenskap motsvarande 15hp mot institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå under Vårterminen 2025. Grus och Kross avdelningen på SCA var uppdragsgivare och har bistått med data och expertis för kandidatarbetet.

Vi vill rikta ett stort tack till vår handledare Tomas Nordfjell som har hjälpt oss med utformning och viktiga kritiska frågor för studien. Vi vill också tacka Mickael Bergqvist vår kontaktperson på SCA som kommit på idén till arbetet och har bidragit med givande diskussioner.

Vi vill även rikta ett stort tack till alla på Grus och Kross avdelningen på SCA som varit delaktiga i arbetet.

Umeå

Maj 2025

Karl Hansson & Fredrik Ström

Sammanfattning

I detta kandidatarbete undersöks optimering av materialförsörjning för underhåll av skogsbilvägar genom analysering av placering och antal grustäcker. Studien genomfördes i två områden: Dorotea och Boden. Syftet med arbetet är att utveckla en analysmodell för kostnader av underhållsgrusning på ett befintligt nät av skogsbilvägar och grustäcker när antal och placering av grustäckerna varierar.

Genom att använda ArcGIS Pro och verktyget "location allocation" analyserades transportavstånden mellan avlastningspunkterna längs vägnätet och grustäckerna. Resultaten visade att både ökat antal grustäcker och bättre placering av dessa leder till minskade transportsträckor. Det i sin tur säker transportkostnaderna som är den största kostnaden i underhållsgrusningen.

I både Dorotea och Boden kunde totalkostnaden sänkas med 14–21% genom strategisk optimering. Studien visar också att det är viktigt att ta hänsyn till öppnings-, drift- och stängningskostnader av grustäcker ur ett långsiktigt perspektiv, något som är en brist i modellen.

Slutsatsen som kan dras är att optimering av grustäckers placering med hjälp av GIS-verktyg och modellering är ett effektivt sätt att minska kostnader inom skogsbrukets infrastruktur.

Nyckelord: optimering, grustäkt, vägmateriäl, skogsbilväg

Abstract

This bachelor's thesis investigates how the supply of road maintenance materials for forest roads can be optimized by analyzing the number and placement of gravel pits. The study focuses on two areas in Sweden: Dorotea and Boden. The aim was to develop a model for costs related to maintenance of a forest road network when the number and placement of gravel pits.

Using ArcGIS Pro and the "location allocation" tool, transport distances from gravel pits to unloading points were analyzed. The results show that both increasing the number of gravel pits and optimizing their placement significantly reduces transport distances, which lowers transport costs, the largest component of overall maintenance expenses.

In both areas, total costs were reduced by 14-21% through optimization. The study also highlights the importance of considering how opening, operational, and closing costs of gravel pits affect the total cost long term, which is lacking in the model.

The conclusion is that optimizing gravel pit locations using GIS tools and modelling is an effective way to reduce infrastructure costs in forestry operations.

Key words: optimizing, gravel pit, road materials, forest road

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	6
Figurförteckning	7
1. Introduktion	8
1.1 Skogsbilvägar.....	8
1.2 Grusvägars uppbyggnad.....	9
1.3 Underhåll av grusväg	11
1.4 Grustäkter	11
1.5 GIS	12
1.6 Syfte	12
2. Material och Metod	13
2.1 Ingångsdata	13
2.2 ArcGIS Pro	13
2.3 Excel	16
3. Resultat och Analys.....	18
3.1 Dorotea	18
3.2 Boden.....	19
4. Diskussion och slutsats	23
4.1 Diskussion.....	23
4.2 Slutsats	26
5. Referenser	27
6. Bilaga 1	29

Tabellförteckning

Tabell 1: Beskrivning av vägklasser (7-9)(Louise 2020).	9
Tabell 2: Beskrivning av tillgänglighetsklasser (A-D)(Skogsstyrelsen 1983)	9
Tabell 3: Årsavgift för grustäkt beroende på tillståndsgivet uttag av grus i Västerbotten (Länstyrelsen Västerbotten 2025).....	12
Tabell 4: Sammanställt resultat från excelmodeller (se figur 3) över analysområde utanför Dorotea. Utifrån fyra olika scenarier (se figur 4–5 samt Bilaga 3-9).....	18
Tabell 5: Sammanställt resultat från excelmodeller (se figur2) över analysområde utanför Boden. Utifrån fyra olika scenarier (se figur 4–7).....	20

Figurförteckning

Figur 1: Vägområde och centrala begrepp för en grusväg (Larsson 2023).	10
Figur 2: Beskrivning av Skogsbilvägens uppbyggnad (Löfroth 2014).	10
Figur 3: Exempel av excelmodell för beräkning av totalkostnaden för underhåll av ett skogbilnätverk. 16	
Figur 4: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av i dagsläget 18 befintliga grustäcker. .	20
Figur 5: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 23 grustäcker av i dagsläget 18 befintliga grustäcker plus 5 nya möjliga placeringar av grustäcker.	21
Figur 6: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 17 grustäcker av i dagsläget 18 befintliga grustäcker plus 5 nya möjliga placeringar av grustäcker.	21
Figur 7: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 13 grustäcker av i dagsläget 18 befintliga grustäcker plus 5 nya möjliga placeringar av grustäcker.	22
Figur 8: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av i dagsläget 14 befintliga grustäcker	29
Figur 9: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 18 grustäcker av i dagsläget 14 befintliga grustäcker plus 4 nya möjliga placeringar av grustäcker.	30
Figur 10: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 13 grustäcker av i dagsläget 14 befintliga grustäcker plus 4 nya möjliga placeringar av grustäcker.	30
Figur 11: (Bilaga 1)Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 10 grustäcker av i dagsläget 14 befintliga grustäcker plus 4 nya möjliga placeringar av grustäcker.	30

1. Introduktion

1.1 Skogsbilvägar

Under 1920–30 talet skedde en snabb utveckling av lastbilar av bland annat Volvo, Scania-Vabis och Tidaholm. Att tillgången på bränsle ökade efter andravärldskriget tillsammans med dieselmotorernas utveckling gjorde att användningen av lastbilar ökade under 50 talet.

Utvecklingen låg till grund för utbyggnaden av skogsbilvägnätverket. Skogsbilvägar anlades inte enbart i syfte att effektivisera transporterna inom skogsbruket. De spelade även en viktig roll i omställningen till trakthyggesbruk, bidrog till att bekämpa arbetslösheten samt främjade moderniseringen av landsbygden. Med tiden har vägarna också kommit att användas för andra ändamål, såsom svamp- och bärplockning, jakt, rallyverksamhet samt turism i form av exempelvis älgafari (Skogforsk u.å.b).

Inom skogsbruket används skogsbilvägarna främst för transport av maskiner till avverkningsområden och uttransport av virke. Även transport av utrustning, plantor och personal sker på skogsbilvägnätverket. Årligen transporteras cirka 70 miljoner ton timmer, massaved och skogsbränsle på det svenska skogsbilvägnätverket. (Skogforsk u.å.a).

I dagsläget finns det cirka 230 000 kilometer grusväg i Sverige som underhållsgrusas med material från husbehovstäkter. Varje år byggs cirka 1 000 – 1 500 kilometer ny grusväg. För nybyggnation och underhållsgrusning av dessa grusvägar behövs över 10 miljoner ton grus (Skogforsk u.å.b).

Enskilda vägar underhålls inte av staten eller kommunen och skogsbilvägar är enskilda vägar som används för virkestransport. Ungefär 50% av alla enskilda vägar i Sverige är skogsbilvägar (Skogforsk u.å.a). Skogsbilväg är konstruerad för virkestransporter med lastbil för skogsbruket. Vägarna ska även vara dimensionerade för fordon som är 24 m långa, 2,6 m breda, 4,5 m höga, har en bruttovikt på 60 ton, boggie-/axeltryck på 18/10 ton, boggietryck för broar 18–22 ton och axeltryck på broar 14 ton. Dimensionerad hastighet beror på vilken klassvägen har (*tabell 1*). Vägar har även tillgänglighetsklasser som mäts från A-D (*tabell 2*) och beskriver när på året vägen ska kunna vara farbar och bygger på enskilda transporter där det ska vara minst en timme mellan transporterna så vägen hinner återhämta sig (Gunnarsson et al. 2010).

Tabell 1: Beskrivning av vägklasser (7 - 9)(Louise 2020).

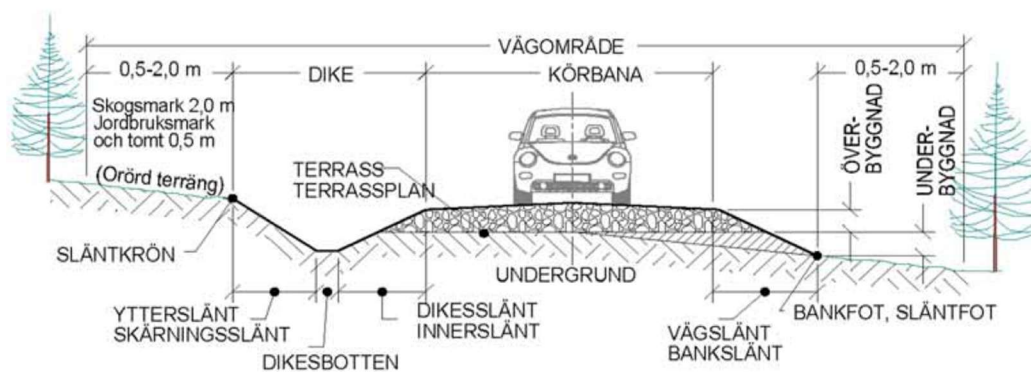
Väggklass	Beskrivning
7	Huvudvägar: vägar med stor betydelse för skogsbrukets samlade virkestransporter. Dessa vägar kan ses som ett komplement till det statliga vägnätet. De ska vara stammen i ett vägnät eller avsevärt underlätta virkestransporten till eller mellan statliga vägar. De underhålls årligen
8	Normalvägar: Anslutna till flera nollvägar eventuellt en huvudväg. Underhållet är kontinuerligt.
9	Nollvägar: Nollvägar är en väg klarar minst lastbil utan släp. Ligger i yttre förgreningar av vägnätverket eller korta isolerade vägbitar. Inget kontinuerligt underhåll.

Tabell 2: Beskrivning av tillgänglighetsklasser (A - D)(Skogsstyrelsen 1983)

Tillgänglighetsklass	Beskrivning
A	Last- och personbilstrafik hela året.
B	Lastbilstrafik hela året om utom under tjällossning. Personbilstrafik hela året.
C	Lastbilstrafik hela året utom under tjällossning och ihållande regnperioder. Personbilstrafik hela året utom under tjällossning.
D	Lastbilstrafik i huvudsak endast då vägkroppen är tjälad. Personbilstrafik även sommartid.

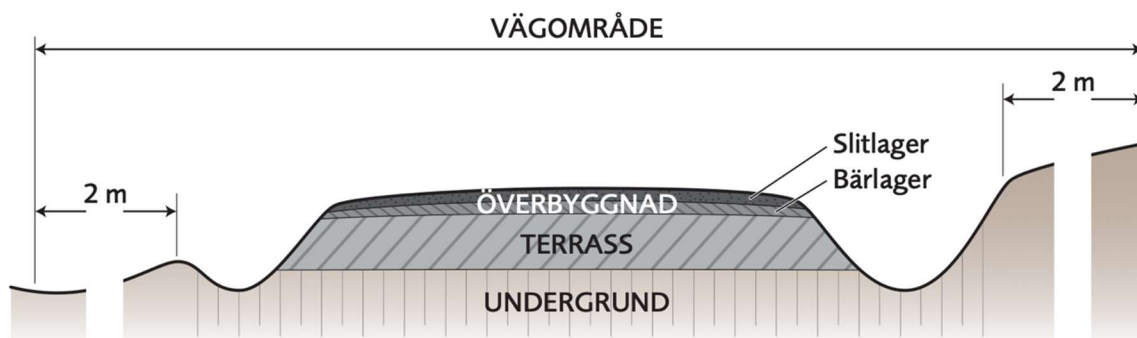
1.2 Grusvägars uppbyggnad

En grusväg anläggs på en undergrund bestående av orörd mark. Ovanpå denna byggs vägkroppen. Vägkroppen kan utformas på olika sätt, antingen genom skärning eller bankning. Vid skärning placeras vägen under marknivå för att begränsa höjdskillnader, medan bankning innebär att vägen anläggs ovanpå markytan för att jämna ut låga partier (Larsson 2023) (figur 1).



Figur 1: Vägområde och centrala begrepp för en grusväg (Larsson 2023).

Väggroppen består av olika material som delas in i ett underbyggnads- och överbyggnadslager. Underbyggnadslager består av undergrund, terrass, dike och slänt. Undergrunden är orört material och terrassen är väggroppens undre del som oftast byggs med befintligt material (figur 2). Överbyggnad är den övre delen av vägen som består av bärlager och slitlager och består i sin tur av morän eller bergskross i olika fraktioner. Ett slitlagret vara minst 5cm tjockt, då räcker det för hyvling och slitning. Överbyggnadens funktion är att skapa bärigheten för den avsedda tillgänglighetsklassen på vägen (figur 2). Överbygganden bör inte läggas på terrassen innan denna är färdigjusterad (Löfroth 2014).



Figur 2: Beskrivning av Skogsbilvägens uppbyggnad (Löfroth 2014).

1.3 Underhåll av grusväg

En optimal grusvägs slitlager är uppbyggd med 60% grovt material med kornstorlek på 2–20 mm, 25% sand med kornstorlek på 0,125–2 mm och 15% finmaterial som har kornstorlek mindre än 0,125 mm. När vägen används påverkas slitlagrets sammansättning. De grövre kornen krossas eller skjuts åt sidan av däckens medan finmaterialet dammar bort vilket leder till att andelen sand ökar i slitlagret som i sin tur leder till korrigering av vägen. För att bibehålla god kvalitet på grusvägar kompletteras slitlagret med fraktionerna som saknas. Mängden material som krävs för att rusta upp en väg blir mindre om endast de fraktioner som saknas tillförs jämfört med ett helt nytt slitlager. Vanligtvis används bindjord (finmaterial) eller bindjordsrikt grus när vägar grusas upp (Larsson 1992). Stödgrusning bör ske när vägkroppen är fuktig och i samband med vår- eller hösthyvling av vägen (Larsson 1992). Gruset sprids ut med en tippbil utrustad med spridarlem. För önskad tjocklek på gruslagret anpassas lastbilens hastighet och spridarlemmens öppning. Gruset blandas med hjälp av en hyvel som delar upp vägen på mitten. Hyveln blandar ner ena vägsidan ut mot vägkanten och sen andra sidan på tillbakavägen. Därefter vänds hyveln och riktas mot mitten av vägen och bågiga sidorna hyvlas igen. Därefter fördelas massorna jämt över vägen. Hyveldjupet sätts till runt 2-3 cm för att få en god inblandning i det tidigare slitlagret (Larsson 1992).

Vägar grupperas i två grupper utifrån belastning. Grupp 1 belastas med 0-25st fordon/dygn och grupp 2 med 26-50st fordon/dygn. På en väg med 3,5 meter bred vägbana under en barmarkssäsongen blir grusåtgången för grupp 1 vägar 10-15m³/km och för grupp 2 vägar 20-25m³/km och år (Larsson 1992). Variationen beror på bredd och trafikintensitet samt om vägen dammbinds. Det är mest rationellt att grusa vart tredje år, då läggs tre gånger årsmängden samtidigt. En välbunden väg är mer trafiksäker och håller bättre för trafik och väder (Johansson 2019).

1.4 Grustäkter

Husbehovstäkter och kommersiella täkter får tillämpas på alla typer av fastigheter. Om det brutna materialet används inom fastigheten för att förse eget underhåll av jordbruks- eller skogsfastigheten är det en husbehovstäkt, om det brutna materialet säljs, byts eller på andra sätt utnyttjas kommersiellt klassas det som kommersiell täkt. Grustäkt för hushållsbehov är antingen anmälnings- eller tillståndspliktig. Om mindre än 10 000 ton naturgrus eller berg tas ut är täkten anmälningspliktig till tillsynsmyndighet som antingen är kommunen eller länsstyrelsen. Verksamhet får påbörjas sex veckor efter att anmälan gjorts om tillsynsmyndigheten inte har sagt något annat. Uttag som är större än 10 000 ton eller där uttagsområdet är större än 25 hektar måste söka tillstånd från länsstyrelsen. En årlig avgift betalas till länsstyrelsen och varierar beroende på uttaget i täkten (*Tabell 3*). Om uttaget potentiellt kan påverka naturmiljön krävs enligt miljöbalken samråd med länsstyrelsen för att

öppna en täkt oavsett storlek (Naturvårdsverket u.å.). Beroende på om en grustäkt är anmälningspliktig eller ej så påverkar det kostnaden för att öppna en grustäkt.

Tabell 3: Årsavgift för grustäkt beroende på tillståndsgivet uttag av grus i Västerbotten (Länstyrelsen Västerbotten 2025)

Tillståndsgiven mängd i ton	Årlig avgift i kronor
< 1000	1 200 kr
1000–4999	1 950 kr
5000–9999	2 550 kr
10 000–49 999	6 450 kr
50 000–199 999	15 750 kr
>200 000	26 250 kr

1.5 GIS

Det traditionella skogsbruket har historiskt sätt byggt på personlig erfarenhet kopplat till skogsskötsel. Även med erfarenhet är det svårt att göra optimala lösningar när det gäller att välja bland flera alternativ, därför används idag DSS (Decision Support Systems). En typ av DSS är GIS (Geographical Information System) som kan användas för att lösa spatiala problem. Ett sätt att använda GIS är att hitta den optimala rutten mellan två eller fler platser för att minimera transporter. Nätverksanalyser som bygger på linjär programmering och dynamiska programmering har på ett effektivt sätt används i tidigare studier för att analysera optimal och kostnadseffektiv transport för skogsbruket (Hande E. Süslü 2017).

1.6 Syfte

Syftet med detta arbete är att utveckla en analysmodell för kostnader av underhållsgrusning på ett befintligt nät av skogsbilvägar och grustäkter när antal och placering av grustäkter varierar.

Frågeställningen är hur totalkostnaden för grusning påverkas av antal och placering av täkter.

2. Material och Metod

2.1 Ingångsdata

Data som användes för att göra analyser är från SCA och består av tre shapefiler; två vägnät i form av linjer samt en med placering av befintliga täkter i form av polygoner. Det ena vägnätet bestod av allmänna vägar och det andra av privata vägar. I attributtabellerna för vägnäten användes informationen vägklass, ägare av väg och väglängd. Grustäkterna hade också attributtabeller där viktig information som täktamn, typ av täkt (kommersiell/husbehov) och material (berg/morän) användes. Data om täkt- och transportkostnader som skulle användas kom från SCA. Även grusningsintervall för de olika vägklasserna kom från SCA.

Två geografiska områden studerades, ett utanför Boden och ett utanför Dorotea. Likadana data fanns tillgängligt för båda områdena. Området utanför Dorotea var 1,5 Milj ha stort och hade 12 198 km väg som underhållsgrusning skulle räknas på, Boden var 935 000 ha stort och hade 9 309 km väg som underhållsgrusning skulle räknas på.

2.2 ArcGIS Pro

De geografiska analyserna har gjorts med hjälp av programmet ArcGIS Pro. Det är ett GIS program som är byggt för att fungera som ett beslutsstödsystem (DSS) genom att utföra geografiska analyser (*ArcGIS Pro* u.å.). I ArcGIS Pro finns verktyget "location allocation" som användes för analyserna. Verktyget används när fler punkter i ett nätverk ska kopplas till en punkt (eller fler). Exempelvis om det i en liten stad finns fler vårdcentraler så kan verktyget räkna ut vilka hushåll som bör åka till vilken vårdcentral för att alla ska få så kort transportavstånd som möjligt.

Analyserna över Dorotea och Boden gjordes genom beräkningar av totalkostnaden för underhållsgrusning av utvalda vägar inom området över en tre års period.

Beräkningar gjordes på varje enskild transport från grustäkt till avlastningspunkt. Avlastningspunkterna placerades ut med ett avstånd mellan varandra som motsvarade sträckan som ett lastbilslass med grus räcker till för underhållsgrusning.

De två olika sorters grundpunkter verktyget bygger på är "facilities" och "demand points". "Facilities" var i analyserna grustäkter där grustransporterna utgick ifrån. "Demand points" var avlastningspunkter som grustransporterna från täkterna skedde till.

Först skapades en geodatabas där ingångsdata fördes in. Sedan skapades vägnätet som transporterna fick ske på från filerna med de allmänna och privata vägnäten. Regler och inställningar sattes upp för hur analysen på nätverket skulle fungera. Reglerna som sattes var att alla vägar hade köriktning åt båda hållen samt att lastbilarna fick vända i vägändar och vägska. Inställningarna bestämde att analysen skulle göras i km och att sökavståndet från vägnätverket för att hitta grustäkter var 50m (eftersom grustäkterna inte låg på vägarna och

ingen grustäkt låg längre bort än 50m från vägnätet). När alla inställningar var klara så byggdes analysnätverket.

Grustäkterna fanns i form av polygoner och gjordes om till punkter med verktyget “polygon to point” för att kunna användas i analysen.

Underhållsgrusning skedde endast på delar av det privat vägnätverket, därför användes endast filen med det privata nätverket vid beslut om vilka vägar som skulle grusas. För att sortera bort de vägar som inte skulle vara med i analysen användes attributdata om vägägare. Endast de vägar med ägare av SCA, Holmen, och SVEA skog inkluderades i analysen, övriga togs bort. Vägarna sorterades därefter utifrån vägklass i attributdata, klasserna var sju, åtta, eller nio. Alla vägar i respektive klass grupperades ihop.

Verktyget “location allocation” startades när alla förberedelser var klara. Befintliga grustäkter sattes ut baserat på ingångsdata och avlastningspunkterna placerades ut. Avståndet mellan punkterna beräknades genom att först räkna ut hur lång sträcka ett lassgrus räckte till. Kapaciteten av en 32 ton lastbil räknades ut genom att dela densiteten på 0–40 grus som var 1,6 ton/m³ med kapaciteten av lastbilen (32 ton) vilket var 20 m³ grus. Sedan användes åtgången på 30m³/km och år för att räkna ut hur lång sträcka ett lass grus räckte till vilket var 666 m. Eftersom underhållet bör ske var tredje år blev grusmängden som behövs då tredubbelt och ett lass grus räckte till en tredjedel, 222 m.

De olika vägklasserna sju, åtta och nio behöver olika mycket underhållsgrusning och därför har de olika stor grusåtgång över samma mängd tid. För att kompensera för detta i analysen fick de olika klasserna en grusåtgångsfaktor baserat på underhållsbehovet. Vägklass sju som behöver mest underhåll fick faktor ett, vägklass åtta fick faktor 0,333 och vägklass nio faktor 0,1. Hur lång sträcka en lastbil grus räckte till blev då följande för varje vägklass; vägklass sju: 222 m, vägklass åtta: 666 m, vägklass nio: 2220 m.

Utifrån grusåtgången placerades avlastningspunkterna ut på alla vägar i klass sju med 222 m mellanrum, klass åtta med 666 m mellanrum och klass nio 2220 m mellanrum. Genom att punkterna placerades ut på det sättet gick det att se alla transporter som behövdes för att underhållsgrusa alla vägar inom området.

Innan analysen kunde köras så ställdes det in hur många grustäkter programmet fick använda. När alla förberedelser var klara i både Boden och Dorotea så kördes en analys på vardera område (*Bilaga 1 figur 8 och Figur 4*). I Boden fanns det 18 täkter och i Dorotea 14, i båda fallen fick alla täkter användas. Analyserna namngavs därför ”Utgångsläge 18T (18)” i Boden och ”Utgångsläge 14T (14)” i Dorotea. Verktyget valde den optimala kopplingen mellan avlastningspunkt och grustäkt för att få det kortaste möjliga totaltransportavståndet. För varje grustäkt skapades data som visade hur många avlastningspunkter varje grustäkt transporterade grus till och hur lång den totala körsträckan från varje grustäkt var. Sedan adderades alla transporter från grustäkterna tillsammans. För varje avlastningspunkt skapades en linje som visade vilken grustäkt den fick sin transport ifrån. Linjen var dragen fågelvägen från varje avlastningspunkt till rätt grustäkt och visade endast vilken täkt den var kopplad till, inte själva transportsträckan. Varje linje fick attributdata som innehöll vilken

avlastningspunkt och grustäkt den var kopplad till samt hur lång transportsträckan var mellan de två.

För lokalisering av områden där transportsträckan var längst och därmed dyrast så gavs varje avlastningspunkt en färg; röd, gul, eller grön. Uppdelningen gjordes baserat på den längsta transportsträckan i området. Utifrån den sträckan fick alla avlastningspunkter som hade en distans på 0–33% av den längsta sträckan grön färg, alla som var mellan 34–66% gul färg och alla som var 67–100% röd färg. I Boden var transportsträckan till de gröna punkterna 0–11 km, de gula 11–22 km och de röda 22–34 km. I Dorotea var transportsträckan till de gröna punkterna 0–16 km, de gula 16–32 km och de röda 32–48 km.

Efter att områden med långa transportsträckor (gula och röda områden) lokaliserats lades nya potentiella täkter godtyckligt ut för hand i dessa områden och nya analyser gjordes. Antalet nya potentiella täkter som lades till var en ökning med 30% (för att endast hela täkter kunde läggas till blev ökningen 28% och 29% i Boden respektive Dorotea). I Boden gjordes tre ytterligare analyser utöver den första med ett tillägg av fem nya potentiella täkter då totala mängden täkter verktyget fick välja mellan blev 23. En där alla 23 täkter fick användas "23T (23)", en där 18 fick användas "23T (17)" och en där 13 fick användas "23T (13)". I Dorotea gjordes också tre ytterligare analyser där fyra nya potentiella täkter lades till då totala mängden täkter verktyget fick välja mellan blev 18. En där alla 18 fick användas "18T (18)", en där 13 fick användas "18T (13)" och en där tio fick användas "18T (10)".

För att resultaten av de fyra olika analysera skulle kunna jämföras inom de enskilda områdena var intervallen för de gröna, gula och röda punkterna satta till samma längd som i den första analysen med endast befintliga täkter för respektive område. Resultaten fördes sedan in i Excelmodellen för att vidare analyseras.

2.3 Excel

Modellen är skapad i Excel som är ett program skapat för att hantera data. Programmet har många funktioner för att på ett effektivt sätt få ut den informationen som söks ur en mängd data. Kärnan i programmet är ett system med celler där data förs in för att sedan kunna organiseras på ett oändligt antal olika sätt (*Microsoft* u.å.).

namn	används	material	antal lass	ton grus	km transport grus	Medeltransport avstånd (km)	Transportkostnad per takt	typ av takt	öppnings kostnad	Ska tåkten stängas	stängnings kostnad	Driftkostnad
befintliga												
Risede	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
Fånån- Åmyrväg	JA	MORÄN	91	2912	620,26	6,82	81543,722	HUSBEHOV	X	NEJ	0	26648
Fingervattnet	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
Hulkasåsvägen	JA	MORÄN	71	2272	552,29	7,78	72508,07804	HUSBEHOV	X	NEJ	0	24088
Bunksjön	JA	MORÄN	193	6176	1890,89	9,80	247746,1183	HUSBEHOV	X	NEJ	0	39704
Lillån	JA	MORÄN	227	7264	1870,60	8,24	245447,6317	HUSBEHOV	X	NEJ	0	44056
Långmarksjön	JA	MORÄN	89	2848	334,06	3,75	44317,45316	HUSBEHOV	X	NEJ	0	26392
Storselet	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
Harrsjön	JA	MORÄN	95	3040	702,13	7,39	92226,66574	HUSBEHOV	X	NEJ	0	27160
Gubbhögen	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	KOMERSIELL	X	NEJ	0	15000
Tomas-Hansselet	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
Näxåsen	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
spjutviken	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	HUSBEHOV	X	NEJ	0	15000
Risbäck	NEJ	MORÄN	0	0	0,00	-	0	KOMERSIELL	X	NEJ	0	15000
nya												
K1	JA	MORÄN	106	3392	496,10	4,68	65552,65745	HUSBEHOV	75010	X	X	28568
K2	JA	MORÄN	84	2688	663,98	7,90	87156,86843	HUSBEHOV	75010	X	X	25752
K3	JA	MORÄN	163	5216	1775,86	10,89	232491,5895	HUSBEHOV	75010	X	X	35864
K4	JA	MORÄN	53	1696	536,28	10,12	70247,03999	HUSBEHOV	75010	X	X	21784

	fills i	tot	tot	tot	Snitttransport	tot	tot	tot	tot
	resultat	1172	37504	9442,44	8,06	1239237,824	300040	0	420016
X	används ej								

Rörliga kostnader		typ av takt	Öppningskostnad	stängningskostnad
driftkostnad/ton grus	4	husbehov	10	1
driftkostnad/år	15000	komersiell	15000	1
Lastbilsstorlek (ton)	32			
Kr/tonkm	4	Material i takt	Öppningskostnad	stängningskostnad
lastkostnad	10	berg	200000	150000
kr/km tomkörning	2	Morän	75000	50000

Totalkostnad
1 959 293,82 kr

Figur 3: Exempel av excelmodell för beräkning av totalkostnaden för underhåll av ett skogsbilnätverk.

Kostnaderna beräknades i Excel där data fördes in en tabell enligt figur 3. Varje analys fördes över i en ny tabell. I rörliga kostnader redovisas driftskostnad i tåkten per ton grus som används, en driftskostnad per år för tåkten, transportkostnad i form av tonkm metoden (Trafikanalys 2023), en lastkostnad för varje transport och en tomkörningskostnad för transporten tillbaka till gruståkten. Kostnaderna beräknades i Excel där data fördes in en tabell enligt figur 3. Varje analys hade en egen tabell. I rörliga kostnader redovisas driftskostnad i tåkten per ton grus som används (4kr), en driftskostnad per år för tåkten (15 000kr), lastbilsstorlek räknad med i analysen (32ton), transportkostnad i form av tonkm metoden (4kr) (Trafikanalys 2023), en lastkostnad för varje transport (10kr) och en tomkörningskostnad per

kilometer för transporten tillbaka till grustäkten (2kr). Transporten tillbaka räknades med samma sträcka som utkörningen.

Öppning och stängningskostnaderna beror på materialet från grustäkten om det är en berg/moräntäkt (200 000/75 000 kr öppningskostnader och 150 000/50 000kr stängningskostnader) samt olika påslag om det är en husbehovstäkt/kommersielltäkt (10/15 000kr öppningskostnad och 1/1kr för stängningskostnad).

I stora tabellen lades namnet på grustäkten in samt delades upp i befintliga och nya potentiella täkter, de nya potentiella döptes om till K1, K2, osv... för Kandidat 1, Kandidat 2, osv... . Om täkten användes eller ej, vilken typ av material täkten har, antal lastbilslass med grus transporterat från täkten och antal km transport från täkten fylldes i.

Från införda data räknades total mängd grus i ton som användes från varje grustäkt ut genom att antal lastbilslass multiplicerades med lastbilsstorleken. Medeltransportavståndet räknades ut genom att "km transport grus" dividerades med "antal lass". Transportkostnaden räknades på följande vis;

$$(\text{"km transport grus"} \times \text{"lastbilsstorlek(ton)} \times \text{kr/tonkm}) + (\text{lastkostnad} \times \text{antal lass}) + (\text{km transport grus} \times \text{kr/km tomkörning})$$

Sist fylldes vilken typ av täkt och om täkten skulle stängas eller inte. Öppningskostnad beräknades genom att kostnaden för berg- eller moränmaterial adderades ihop med påslaget för husbehov eller kommersiell täkt. Driftkostnaden räknades ut genom multiplicering av "driftkostnad/ton grus" med "ton grus" och sedan adderades "driftkostnad/år" multiplicerat med tre (underhållsgrusning är räknat på var tredje år). En beräkning gjordes dock inte om det fyllts i att täkten ska stängas. Slutligen så räknades totalkostnaden för området ut genom att addera totalerna för kolumnerna "transportkostnad per täkt", "öppningskostnad", "stängningskostnad" och "driftkostnad".

3. Resultat

3.1 Dorotea

I området utanför Dorotea utfördes fyra analyser. Den första "Utgångsläge 14T (14)" gjordes på i dagsläget befintliga 14 grustäkter och 14 fick användas. Endast 13st användes då den nordligaste grustäkten inte bidrog till den effektivaste lösningen för kortast totaltransportavstånd (*Bilaga 1 Figur 8*).

Den andra analysen "18T (18)" gjordes på befintliga täkter samt fyra nya potentiella placeringar av grustäkter där 18 täkter fick användas (*Bilaga 1 Figur 9*). De nya placeringarna baserades på resultatet från den första analysen där de placerades ut i områden med långa transportavstånd. Endast 17 grustäkter användes i analysen då den nordligaste tärkten inte bidrog till effektivast lösningen.

Den tredje analysen "18T (13)" gjordes på befintliga täkter och de fyra nya potentiella placeringar av grustäkter där 13 täkter användes. De 13 mest optimala tärktena för kortast transportavstånd användes (*Bilaga 1 Figur 10*).

Den fjärde analysen "18T (10T)" gjordes på befintliga täkter samt fyra nya potentiella placeringar av grustäkter där tio täkter användes. De tio mest optimala tärktena för kortast transportavstånd användes (*Bilaga 1 Figur 11*).

Tabell 4 och 5 visar resultaten från de två analysområdena. I "Grus" visas antalet ton grus som användes vid underhållet i varje analys. "Transport" visar den totala transportsträckan för att transportera gruset. "Medeltransportavstånd" visar medeltransportavståndet för varje analys. "Transportkostnad" visar den totala kostnaden för alla transporter.

"Öppningskostnader" och "Stängningskostnader" visar de kostnader som är kopplade till öppning och stängning av tärkten. "Driftkostnader" visar kostnader för driften och underhåll av de öppna tärktena. "Totalkostnad treårsperiod" visar summan av "Transportkostnad", "Öppningskostnader", "Stängningskostnader" och "Driftkostnader". "Medeltotalkostnad/år" visar kostnaden för 1 år. minskning totalkostnad visar minskningen i förhållande till dagsläget. "Minskning totalkostnad" visar hur mycket totalkostnaden har sänkts i förhållande till utgångsläget.

Tabell 4: Sammanställt resultat från excelmodeller (se figur 3) över analysområde utanför Dorotea utifrån fyra olika scenarier (se Bilaga 1 Figur 8-11)

Namn	Grus (ton)	Transport (km)	Medeltransport- avstånd (km)	Transport- Kostnad	Öppnings- Kostnader	Drift- Kostnad	Totalkostnad treårsperiod	Medelkostnad /år	Minskning totalkostnad
Utgångsläge 14T (14)	86 560	31 985	11,82	4 185 000kr	-	976 000kr	5 161 000kr	1 720 000kr	-
18T (18)	86 560	19 787	7,32	2 599 000kr	300 000kr	1 156 000kr	4 055 000kr	1 352 000kr	21,4%
18T (13)	86 560	20 202	7,47	2 653 000kr	300 000kr	1 156 000kr	4 109 000kr	1 370 000kr	20,4%
18T (10)	86 560	21 943	8,11	2 880 000kr	300 000kr	1 156 000kr	4 336 000kr	1 445 000kr	16%

Störst minskning sker i analys ”18T (18)” där kostnaden går från 5 161 000kr i utgångsläget till 4 055 000kr, en reduktion 21,4%. I analys ”18T (13)” blev totalkostnaden 4 109 000kr, en reduktion på 20,4% från utgångsläget. I ”18T (10)” blev totalkostnaden 4 336 000kr, en reduktion på 16% från utgångsläget (*Tabell 4*). Öppningskostnader finns inte i ”utgångsläge 14T (14)” då den bygger på befintliga täkter, i de övriga analyserna så öppnas samma 4 täkter och därav är kostnaderna likadana. Inga täkter stängs i någon av analyserna och därav tillkommer ingen stängningskostnad. Driftkostnaderna bygger på antal ton grus och antal öppna täkter och därför är kostnaden lägre i utgångsläget jämfört med de andra analyserna och likadana i analys 2–4. Medeltransportavståndet för ”14T (14)” är 11,82km samt att transportkostnaden är 4 185 000kr. För analys ”18T (18)” sjönk medeltransportavståndet till 7,32km och transportkostnaden sjönk till 2 599 000kr. För analys ”18T (13)” är medeltransportavståndet 7,47km, transportkostnaden på 2 653 000kr. För analys ”18T (10)” är medeltransportavståndet 8,11 och transportkostnad på 2 880 000kr. Grusmängden i de olika analyserna över Dorotea varierar inte då endast moräntäkter används.

3.2 Boden

I området utanför Boden utfördes fyra analyser. Den första gjordes utifrån i dagslägets 18 befintliga grustäkter där alla 18 användes i analysen. Endast 17 grustäkter användes då den sydligaste grustäkten inte bidrog till effektivast lösningen (*figur 4*).

Den andra analysen gjordes på befintliga täkter samt fem nya potentiella placeringar av grustäkter där 23 täkter skulle användas (*Figur 5*). De nya placeringarna var baserade på resultatet av den första analysen och placerades i områden med långa transportavstånd. Endast 22 grustäkter användes i analysen. Då den sydligaste grustäkten inte bidrog till effektivast lösning.

Den tredje analysen gjordes på befintliga täkter och de fem nya potentiella placeringar grustäkter där 17 grustäkter skulle användas. De 17 mest optimala täkterna för kortast transportavstånd användes (*Figur 6*).

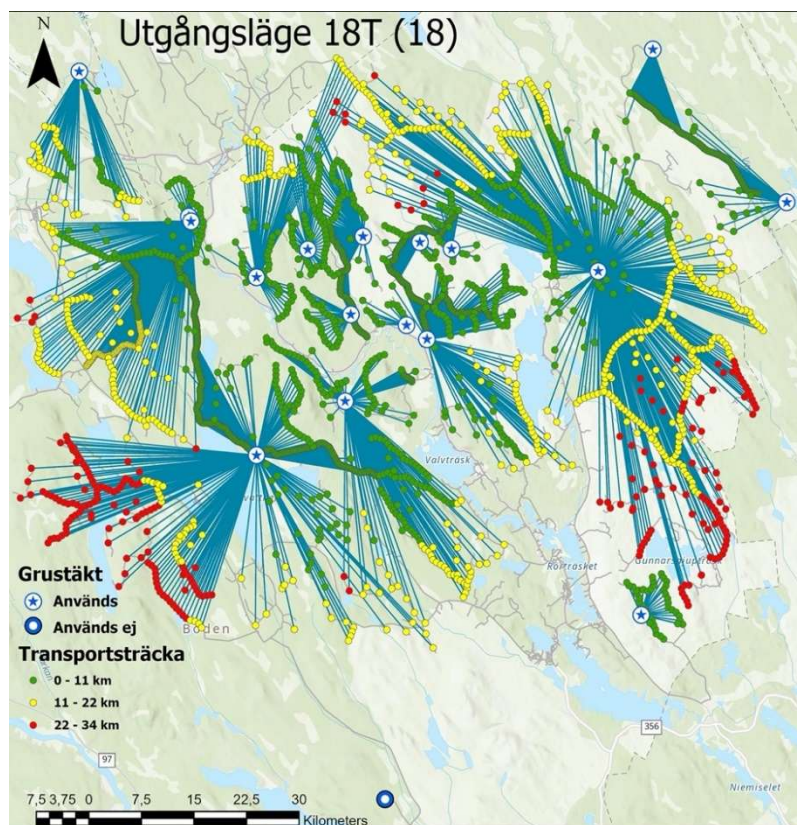
Den fjärde analysen gjordes på befintliga täkter och de fem nya potentiella placeringar grustäkter där 13 täkter skulle användas. De 13 mest optimala täkterna för kortast transportavstånd användes (*Figur 7*).

Resultattabellen för Boden (*Tabell 5*) visar att transportavstånden, medeltransportavstånd, transportkostnad och totalkostnad minskar när fler grustäkter används. Även när färre och bättre placerade täkter används så minskar transportavstånden, medeltransportavstånd, transportkostnad och totalkostnad i förhållande till utgångsläget. Transportavståndet och medeltransportavståndet är lägst i ”23T (23)” med 14 634 km respektive 6,07 km. Totalkostnaden minskade med 14,1% i ”23T (23)” från 4 227 000 kr i ”utgångsläge 18T (18)” till 3 632 000 kr. Sedan en minskning på 12,79% minskning i ”23T (17)” till 3 686 000 kr och 10,71% i ”23T (13)” till 3 774 000kr.

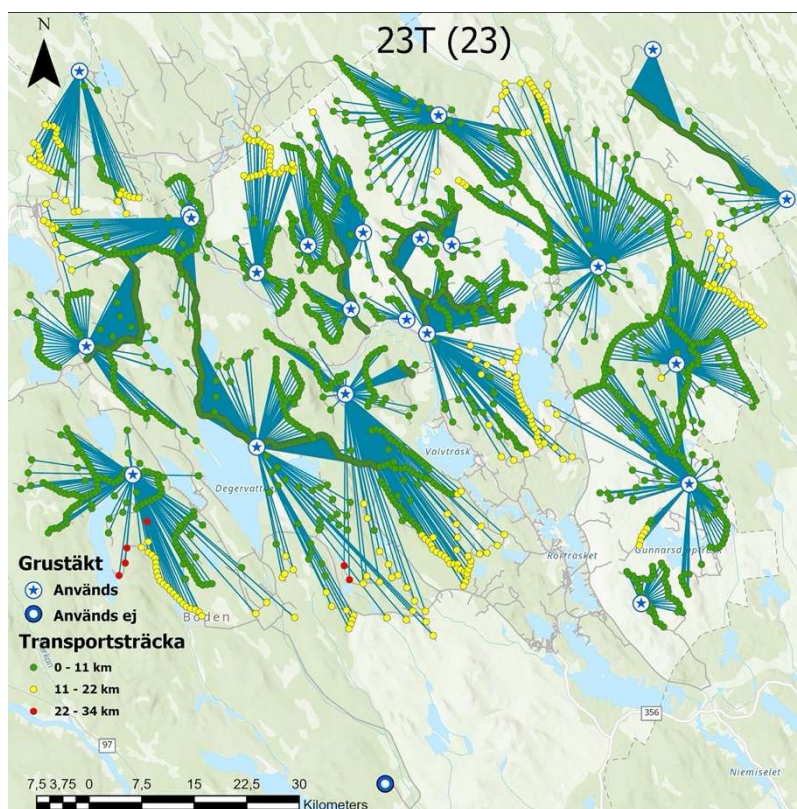
Det finns inga öppningskostnader i "Utgångsläge 18T (18)" då den bygger på befintliga grustäkter och inga nya öppnas. I "23T (23)" och Utgångsläge "23T (17)" öppnas samtliga fem potentiella nya grustäkter. I "23T (13)" öppnas bara fyra av de potentiella nya grustäkterna. Inga täkter stängs i någon av analyserna och därav tillkommer inte några stängningskostnader. Grusmängden i de olika analyserna över Boden varierar på grund av att både morän- och bergtäkter används.

Tabell 5: Sammanställt resultat från excelmodeller (se figur2) över analysområde utanför Boden. Utifrån fyra olika scenarier (se figur 4–7)

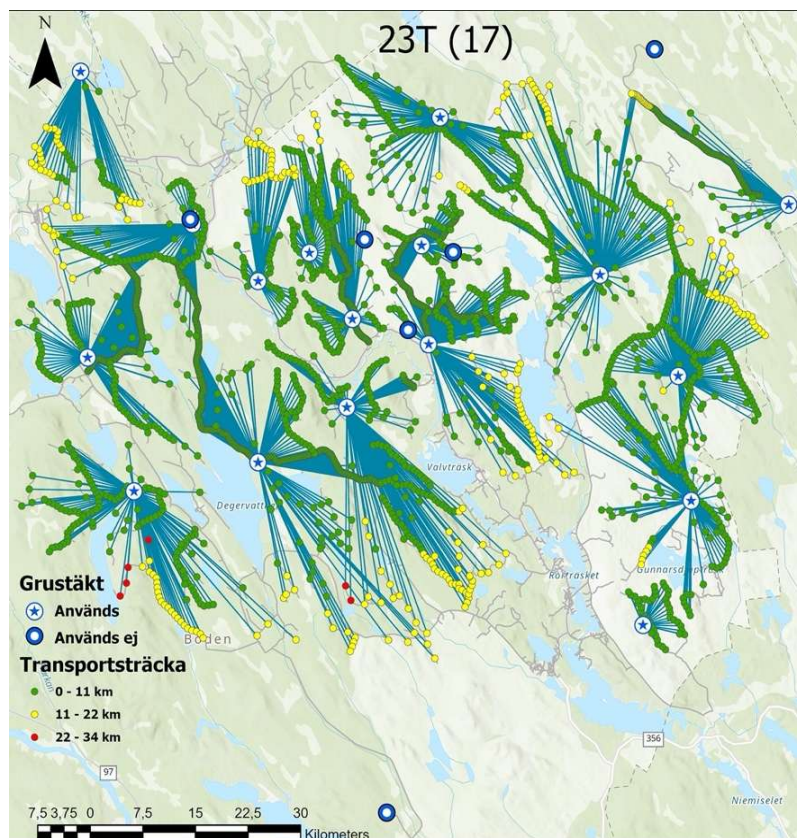
Namn	Grus (ton)	Transport (km)	Medeltransport- avstånd	Transport- kostnad	Öppnings- kostnader	Drift- kostnad	Totalkostnad treårsperiod	Medelkostnad /år	Minskning totalkostnad
Utgångsläge 18T (18)	70 128	23 943	9,93	3 136 000kr	-	1 091 000kr	4 227 000kr	1 409 000kr	-
23T (23)	73 872	14 634	6,07	1 927 000kr	375 000kr	1 330 000kr	3 632 000kr	1 211 000kr	14,1%
23T (17)	73 824	15 055	6,24	1 981 000kr	375 000kr	1 330 000kr	3 686 000kr	1 229 000kr	12,8%
23T (13)	73 325	16 668	6,91	2 191 000kr	300 000kr	1 283 000kr	3 774 000kr	1 258 000kr	10,7%



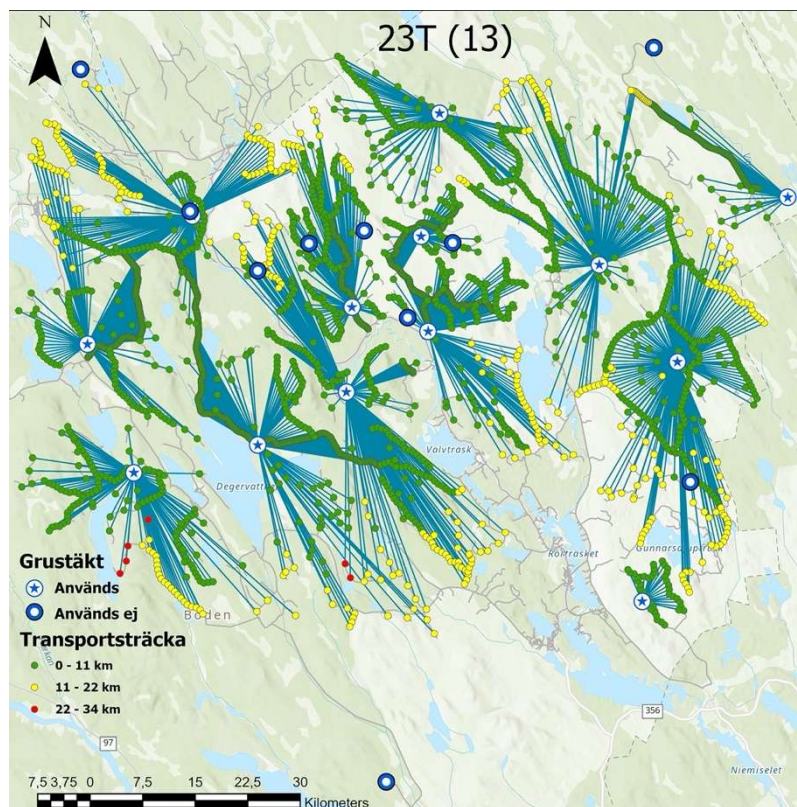
Figur 4: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av i dagläge 18 befintliga grustäkter.



Figur 5: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 23 grustäkt av i dagsläget 18 befintliga grustäkt plus 5 nya möjliga placeringar av grustäkt.



Figur 6: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 17 grustäkt av i dagsläget 18 befintliga grustäkt plus 5 nya möjliga placeringar av grustäkt.



Figur 7: Kartbild över analysområde utanför Boden. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 13 grustäkt av i dagsläget 18 befintliga grustäkt plus 5 nya möjliga placeringar av grustäkt.

4. Diskussion och slutsats

4.1 Diskussion

I analysen från Boden (*Tabell 5*) skiljer sig grusmängderna åt mellan analyserna. Det beror på att modellen räknar med olika grusåtgång beroende på om gruset kommer från en bergtäkt eller en moräntäkt. I Dorotea fanns ingen skillnad i grusåtgång. Det beror på att det inte finns några bergtäkter i Dorotea. Alla nya potentiella grustäkter som vi föreslår i Dorotea och Boden klassade vi som moräntäkter. Eftersom ingen jordartskarta användes i analyserna baserades valet på matematiska beräkningar. Analysområdena består totalt av 32 grustäkter där endast två är bergtäkter vilket är 6,25%. Totalt nio nya potentiella grustäkter lades till och om ca 6% av alla täkter ska vara bergtäkter så blir det 0,54 av de nio nya potentiella täkterna som ska vara bergtäkter, därav öppnade vi endast moräntäkter.

Inte i någon analys fanns några stängningskostnader av anledningen att totalkostnaden var lägre om de inte stängdes. Driftkostnaden var lägre än vad det kostar att stänga en täkt. I analysen var det ett enkelt val men i verkligheten så finns det fler faktorer som väger in på beslutet. Dels så kommer driftkostnaderna över tid överstiga engångskostnaden för att stänga en grustäkt. Stängningskostnaden för en bergtäkt sattes till 150 000kr vilket motsvarar tio år av driftkostnader i en täkt som inte används men är öppen. För en moräntäkt sattes stängningskostnaden till 50 000kr vilket motsvarar 3,3 år av driftkostnader i en öppen täkt som inte används. Analysen tar inte hänsyn till ett sådant långt tidsintervall och det är därmed viktigt att ha det i åtanke när resultatet från analysen ska tolkas. Samma problematik finns för öppningskostnaderna, som modellen är utformad så skrivs de helt av på de tre år och sedan är det klart. Skulle analysen göras på en tio års period så påverkar det totalkostnaden på ett annat sätt. Sedan så tar inte analysen heller hänsyn till hur mycket mer grus det går att ta ut av täkten, vilket är något som måste tas hänsyn till vid grustäcksplanering.

Förändringen i ”transport” och ”transportkostnad” (*Tabell 4 & 5*) i jämförelse med utgångsläget för båda analysområdena är näst intill identiska, det skiljer ungefär 1%. Det kan bero på olika saker. Det kan vara ren slump, i och med att vi bara har analyserat två områden så är det svårt att utesluta. Det skulle även kunna bero på att vi har ökat och minskat antalet täkter som används procentuellt lika för bägge analysområdena. I Boden ökade vi antalet grustäkter med 27,7% och Dorotea ökade vi antalet grustäkter med 28,5%. Det skulle kunna bero på placeringen av de nya potentiella täkterna då vi valde att placera täkterna där transportkostnaderna blev som högst över de två områdena. I utgångsläget för både Boden och Dorotea så har de likheterna att det finns ett par ytterområden där transportkostnaderna är högst, vilket har lett till att de nya potentiella täkterna löser liknande problem i båda områdena och därför blir resultaten väldigt lika varandra.

Minskningen i totalkostnad för de två områdena skiljer sig, minskningen är större i Dorotea än i Boden i alla tre analyserna men skillnaden mellan analyserna i samma område är rätt lika. Att minskningen är större i Dorotea beror på att området är större och har färre antal täkter

vilket leder till ett högre medeltransportavstånd än i Boden. Minskningen av transportavstånd i procent är lika mellan båda områdena vilket betyder att det totala transportavståndet har minskat mer i Dorotea. Minskningen i Boden mellan "Utgångsläge 18T (18)" och "23T (23)" är 9 308 km och i Dorotea mellan "Utgångsläge 14T (14)" och "18T (18)" är skillnaden 12 198 km. Transportkostnaden står i snitt för 64,4% av totalkostnaden och har därför störst påverkan. Att skillnaden i totalkostnaden mellan analyserna i samma område är lika beror på att skillnaden i transportkostnad är lika.

Avståndskillanden för de röda, gula och gröna transportpunkterna i de två olika analysområdena bygger enbart på den längsta transportsträckan för respektive område. Det optimala är att bygga färgskalan på ett fast avstånd som är samma mellan alla analysområdena. Problemet med det är att då måste fasta avstånd sättas där det blir för dyrt att transportera ut material från en grustäkt. För att få fram vilka transportavstånd som bör vara röda, gula eller gröna krävs en ytterligare studie för att ta fram dessa avstånd.

Ett problem som uppkom under utvecklingen av modellen var hur avgränsningen av området påverkade resultatet. Ingångsdata var ett område med alla vägar och täkter som fanns innanför och ingenting som fanns utanför. Den skarpa avgränsningen skapar en del problem. Ett av dem var att analysen inte stämmer överens med verkligheten om det finns täkter som ligger i närheten utanför området som skulle använts om området hade varit större. För att lösa problemet så lades täkter som låg utanför men nära området till i analysen så de inte exkluderas när de egentligen borde användas. Att täkterna som låg nära men utanför togs med i analysen skapade i sin tur ett nytt problem, om de extra täkter som lags till inte bidrar till en bättre lösning (inte sänker transportavståndet till någon avlastningspunkt) och därför inte används i analysen så kommer de ändå lägga till kostnader i form av antingen drift- eller stängningskostnader. Det betyder att resultatet inte speglar verkligheten lika bra som den annars skulle.

Ett annat problem med avgränsningen och täkter som ligger i närheten av kanten av området (både innanför och utanför) är att endast vägarna innanför området räknas på. Täckerna i kanten blir mindre värdefulla än vad de faktiskt är i och med att en potentiellt stor del av deras "försörjningsområde" inte räknas på. I ett försök att motverka problemet skulle ett alternativ vara att utvidga området för att försöka få det att passa med grustäckernas "försörjningsområden", den lösningen valdes dock inte. Dels för att det alltid kommer att finnas problematik i att avgränsa ett större område oavsett hur det försöker anpassas på bästa sätt. Men av större vikt för vad den optimala avgränsningen är kommer att ändras för varje olik analys av området, det som är optimalt för utgångsläget är antagligen inte optimalt när nya potentiella täkter läggs in som alternativ. För att inte gynna någon av analyserna gjordes därför valet att inte ändra på storleken av det avgränsade området.

I och med att avgränsningen av området fanns det vägbitar i kanten som inte var ihopkopplade med resten av vägnätet. De kom utifrån området och stack in från kanten men slutade innan de mötte någon annan väg innanför området. Det skapade ett problem, skulle de tas bort eller skulle det göras möjligt att komma åt vägarna? Om det skulle vara möjligt att komma åt vägarna måste först analysvägnätet byggas ut så det går att köra till dessa vägar.

Hur påverkas resultatet av att undantag från avgränsningen görs för dessa vägar? De ligger innanför området men skapas en väg utanför området för att nå dem liknar de mer vägar utanför området än vägar inom området i för av transportavstånd. Av den anledningen valdes att ta bort de vägar som stack in från kanten och inte hade någon koppling till det resterande vägnätet. Resultatet påverkas då genom att en liten mängd vägar som borde analyseras inte kom med och kostnaden blir därför mindre än den borde vara men det antogs vara ett bättre alternativ än att ta med instickande vägar.

Modellen som byggts upp här och sättet att genomföra analysen är bara ett sätt att utföra arbetet på, det finns andra alternativ som har sina egna för och nackdelar.

Att basera analysen på tid istället för avstånd hade gjort det möjligt att få mer exakt data på transporterna. Att räkna på sträckan tar inte hänsyn till de olika hastigheterna på vägarna, vägkvalitén, lutningen eller tidstapp i kurvor. Om dessa parametrar inkluderas i uträkningen blir data mer exakt och arbetstid för förare skulle också kunna inkluderas. Att räkna med tid kräver dock ett mer detaljerat data-set över området som ska analyseras och finns inte tillgängligt i detta fall.

Eftersom analyserna bygger på två områden finns risken att likheten i den procentuella minskningen beror på slumpen. För att säkra sambandet mellan den procentuella förändringen av antalet grustäkter hade vi behövt göra dessa analyser på fler områden för att minska slumpfaktorn.

Genom att göra fler analyser på de två områden skulle ett optimum med antal och placeringar av grustäkter kunna undersökas för att göra totalkostnaden så låg som möjligt. För att kunna ta ut ett riktvärde på hur många grustäkter som behövs för ett visst antal kilometer skogsbilsvägnät.

För att göra en analys som stämmer bättre överens med verkligheten skulle en jordartskarta kunna läggas in i GIS programmet för att användas vid täktplacering. Det skulle då vara möjligt att inte bara se vilken jordart en täkt hamnar på men också välja placering av täkten utifrån önskad jordart. Ska en täkt exempelvis placeras i ett område där det kommer användas mycket grus och en bergtäkt skulle vara absolut bäst så gör en jordartskarta det möjligt att planera bättre för det.

Modellen vi har tagit fram räknar inte med de vägar som ska byggas eller de områden där det i framtiden kommer behövas nya skogsbilvägar. Genom att lägga in detta som en parameter i modellen skulle de nya grustäkterna kunna placeras på ett bättre sätt så de täcker upp för det framtida behovet.

För att ytterligare förbättra resultaten och att minska tid och kostnad i utförandet av analyserna kan AI användas. AI skulle kunna göra arbetet med att placera ut grustäkter på ett mer optimalt sätt och framför allt snabbare än vad en människa kan göra. Även att ta fram en stor mängd olika alternativ för att sedan välja ut det mest optimala utifrån önskemål.

I denna studie har vi inte tagit hänsyn till skillnaderna i var material från husbehovstäckter och kommersiella täckter från användas.

Eftersom den aktuella modellen baseras på ett vägnät som ägs av flera olika aktörer (Holmen, SCA och Sveaskog), och det inte förekom några restriktioner kring var material från SCAs husbehovstäckter fick användas, har detta material även tillämpats på vägar som tillhör Holmen och Sveaskog. Detta strider mot gällande praxis, där material från husbehovstäckter endast får användas inom den egna fastigheten.

För att förbättra modellen bör framtida analyser inkludera restriktioner för materialförsörjning, samt utvärdera huruvida det kan vara mer lönsamt att etablera kommersiella täckter istället för att enbart utgå från husbehovstäckter, vilket varit fallet i denna studie.

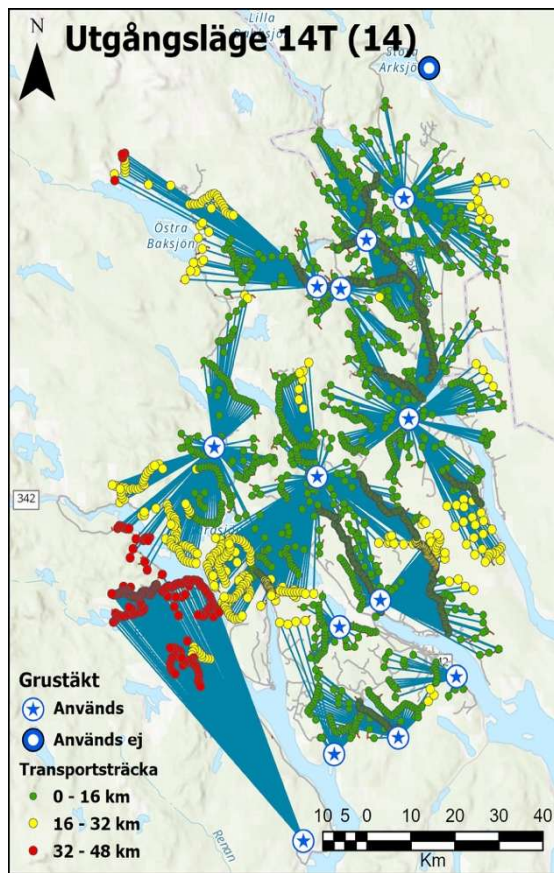
4.2 Slutsats

Med modelleringen kan slutsatsen dras att totalkostnaden i underhållsgrusning av skogsbilvägsnätverket kan minskas genom att både öka antalet grustäckter och genom en bättre placering av grustäckerna. En ökning av antalet grustäckter hade störst påverkan på totalkostnaden i och med att det sänkte transportkostnaden mest. Även att placera täckter mer optimalt gav en mindre totalkostnad både när samma antal täckter som finns idag användes och när färre täckter användes. I och med att öka mängden grustäckter gav den största sänkningen på totalkostnaden kan slutsatsen dras att det borde anläggas fler grustäckter än vad som finns idag, förbehållet problematiken med stängningskostnader som diskuterats ovan.

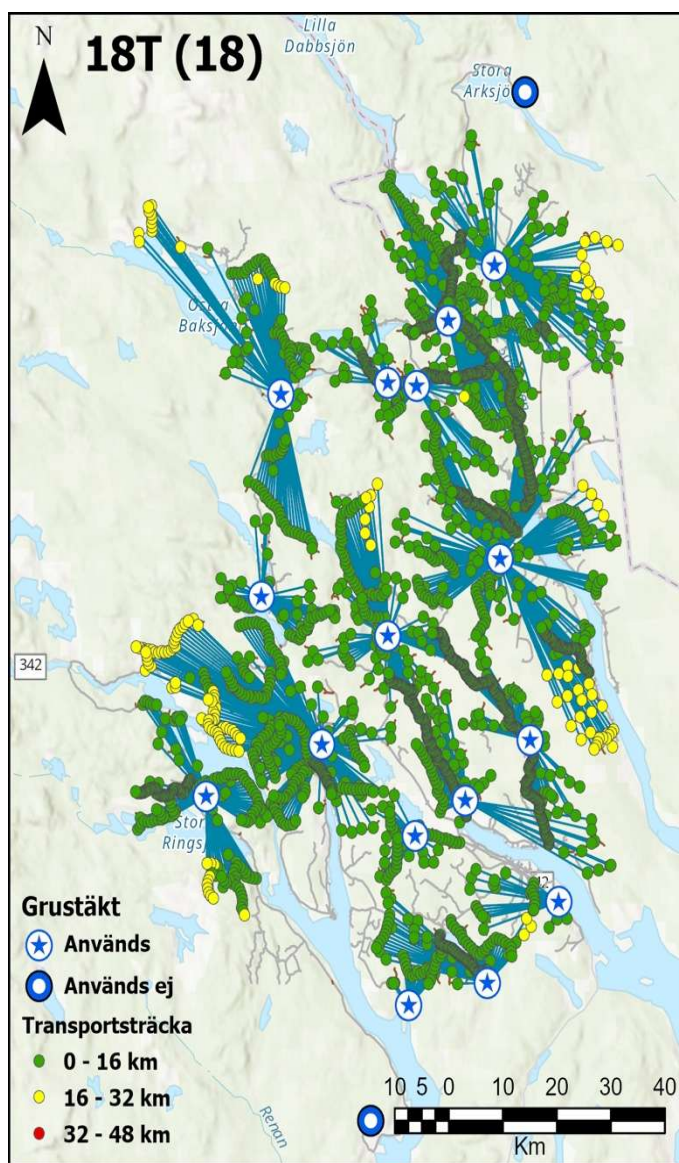
5. Referenser

- ArcGIS Pro (u.å.). *ArcGIS Pro - arbeta professionellt med GIS-data i 2D, 3D & 4D* | Esri Sverige. <https://www.esri.se/sv-se/arcgis/products/arcgis-pro/overview> [2025-04-12]
- E. Akay, A. & Hajil Kakol, A.A. (u.å.). Forest Transportation Planning by using GIS-based Decision Support System. 1–8
- Grigolato, S., Mologni, O. & Cavalli, R. (2017). GIS Applications in Forest Operations and Road Network Planning: an Overview over the Last Two Decades. *Croatian Journal of Forest Engineering : Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 38 (2), 175–186. <https://hrcak.srce.hr/en/clanak/281454> [2025-03-04]
- Gunnarsson, S., Hallgren, P. & Chritoffersson, P. (2010). Anvisningar för projektering och byggande av skogsbilvägar klass 3 och 4. Skogsstyrelsen. [2025-04-07]
- Hande E. Süslü, A.E.A. (2017). Developing GIS based Decision Support System for Planning Transportation of Forest Products. *J Inno Sci Eng*, 1 (1), 6–16
- Johansson, B. (2019). *Drift och underhåll av enskilda vägar*. Trafikverket. [2025-04-08]
- Larsson, G. (1992). *Skogsväghållning byggnad och underhåll*. (1992:2). [2025-04-07]
- Larsson, R. (2023). *Skogsvägen Handbok projektering och byggande*. Sveriges lantbruksuniversitet, skogsmästarkolan. https://www.slu.se/contentassets/16f126a833ec42458d6432506a0c49c6/skogsvagen-handbok_a4_kompakt.pdf [2025-04-08]
- Louise, N. (2020). Funktionell vägklass. https://bransch.trafikverket.se/TrvSeFiler/Dataproduktspecifikationer/Vagdataprodukter/DPS_E-G/1010funktionell_vagklass.pdf
- Länstyrelsen Västerbotten (2025). Information om täktverksamhet. Länsstyrelsen Västerbotten. <https://www.lansstyrelsen.se/download/18.676b84161926b2114454c24/1728468161653/Information%20om%20t%C3%A4ktverksamhet.pdf>
- Löfroth, C. (2014). *Skogsbilvägar: service, underhåll och upprustning*. Ny, rev. version. Skogforsk.
- Microsoft (u.å.). *Grundläggande uppgifter i Excel - Microsoft Support*. <https://support.microsoft.com/sv-se/office/grundl%C3%A4ggande-uppgifter-i-excel-dc775dd1-fa52-430f-9c3c-d998d1735fca> [2025-04-12]
- Naturvårdsverket (u.å.). *Husbehovstakter*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/takter/husbehovstakter/> [2025-05-06]
- Skogforsk (u.å.a). *Använda skogsbilväg*. <https://www.skogforsk.se:443/kunskapsbanken/temasidor/skogsbilvag/anvanda/> [2025-05-07]
- Skogforsk (u.å.b). *Konsekvenser för skogsbrukets materialförsörjning från husbehovstakter*. (1087–2021). Skogforsk.
- Skogsstyrelsen (1983). *Konstruktionsteknik vid skogsvägsbyggnad*. Skogsstyrelsen.
- Sonesson, J. (2023). *Vägen in i skogen*. (2019–643)
- Trafikanalys (2023). Transportarbete i Sverige 2000–2022. *Trafikanalys*, 6

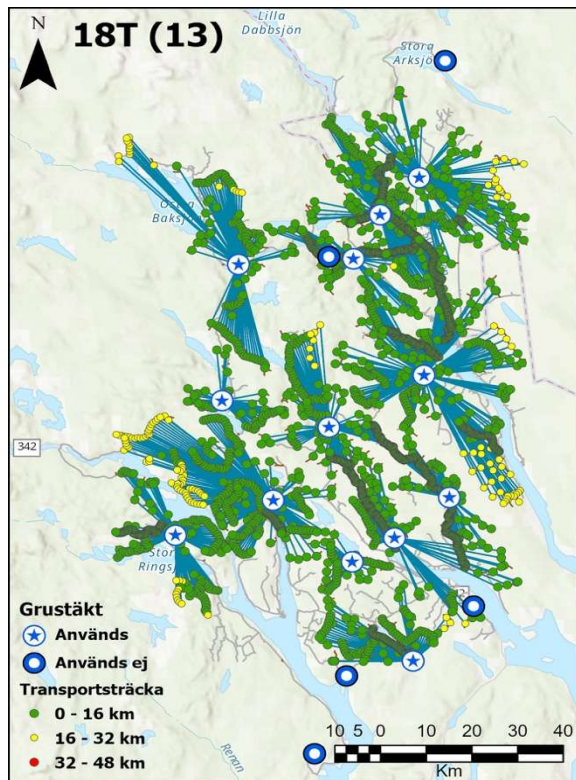
6. Bilaga 1



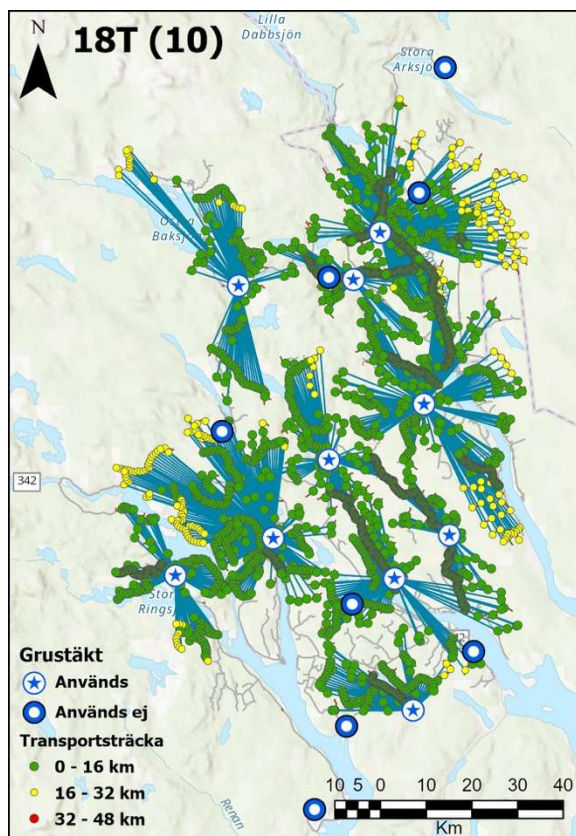
Figur 8: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från “Location allocation” analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av i dagsläget 14 befintliga grustäkter



Figur 9: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 18 grustäkter av i dagsläget 14 befintliga grustäkter plus 4 nya möjliga placeringar av grustäkter.



Figur 10: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 13 grustäkter av i dagsläget 14 befintliga grustäkter plus 4 nya möjliga placeringar av grustäkter.



Figur 11: (Bilaga 1) Kartbild över analysområde utanför Dorotea. Resultat från "Location allocation" analys i ArcGIS Pro med kortast transportavstånd vid användning av 10 grustäkt av i dagsläget 14 befintliga grustäkt plus 4 nya möjliga placeringar av grustäkt.

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU kan publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver i sådana fall godkänna publiceringen. I samband med att du godkänner publicering kommer SLU även att behandla dina personuppgifter (namn) för att göra arbetet sökbart på internet. Du kan närsomhelst återkalla ditt godkännande genom att kontakta biblioteket.

Även om du väljer att inte publicera arbetet eller återkallar ditt godkännande så kommer det arkiveras digitalt enligt arkivlagstiftningen.

Du hittar länkar till SLU:s publiceringsavtal och SLU:s behandling av personuppgifter och dina rättigheter på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>

☒ JA, jag, Fredrik Ström har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

☒ JA, jag, Karl Hansson har läst och godkänner avtalet för publicering samt den personuppgiftsbehandling som sker i samband med detta

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