Hållbara grusvägar

Linnéuniversitetet

Innehåll

En introduktion till projektet Hållbart underhåll av grusväg 4

En introduktion till grusvägsunderhåll 6

Vad är hållbarhet? 14
- Underhåll är ett sätt att uppnå hållbarhet 15
- Hur kan vi spara på miljön? 16
- Hur kan vi minska kostnaderna? 18
- Hur kan vi få en levande landsbygd? 22

Hållbart underhåll av grusväg 28
- Hur kan vi minska uttaget av naturresurser vid underhåll av grusväg? 28
- Hur kan vi ta bra beslut rörande grusvägsunderhåll? 35
- Hur kan olika aktörer samverka på bästa vis kring grusvägsunderhåll? 48
- Det här är hållbart underhåll av grusväg 55

Presentation av projektdeltagarna 60

Lästips 64

En introduktion till projektet Hållbart underhåll av grusväg

> **I detta projekt har akademi och lokala företag samarbetat för att ta fram ett nytt koncept, där nya tekniska lösningar tillsammans med nya sätt att samverka skapar förutsättningar för effektivare och miljövänligare grusvägsunderhåll. Det kallar vi hållbart underhåll av grusväg.**

I Sverige finns över 10 000 mil grusväg. Grusvägarna är en förutsättning för en levande landsbygd – utan dem hade det varit svårt att bedriva verksamhet och bo på landsbygden. För att vägarna ska hålla god standard och vara farbara behövs ett kontinuerligt underhåll: grusvägar måste till exempel skäras och tillföras nytt grus, vilket tär på de ändliga naturresurserna och kräver långa materialtransporter. Det finns en rad områden som kan förbättras, till exempel:

- Att minska andelen nytt grus som behövs tillföras vid underhåll, samtidigt som underhåll av grusvägarna planeras på ett effektivt vis, ger miljömässiga vinster i direkt minskad material- och energianvändning.
- Indirekt kan en effektivare underhållsplanering också minska miljöbelastningen eftersom underhållsåtgärder görs då de verkligen behövs, och inte rutinmässigt oberoende av om det finns ett behov eller inte.

- Vägägarna saknar ofta fullständig information om vägarnas tillstånd. Genom att samla in denna typ av information skulle bättre beslut kunna tas. Om underhållet koordineras mellan olika vägägare så skulle underhållsåtgärderna kunna koordineras och även underhållsutrustningen kunna användas på ett effektivt vis.

Detta var några av de grundförutsättningar vi utgick ifrån då vi startade projektet Hållbart underhåll av grusväg 2018. Under tre år fördjupade vi oss i dessa områden och hittade en del lösningar, men även en rad utmaningar. Vi kommer i denna skrift dela med oss av våra resultat och tankar om hur underhåll av grusväg kan bli mer hållbart i Sverige, och vilka förutsättningar som driver på eller hindrar denna utveckling.

Men först vill vi rikta ett tack till Familjen Kamprads stiftelse som finansierat arbetet. Utan detta stöd hade vi inte haft denna unika möjlighet att samverka mellan små företag i kronobergsregionen och forskare på Linnéuniversitetet, Linköpings universitet och Statens väg- och transportforskningsinstitut (VTI).

Växjö, Diö, Tingsryd och Linköping, 2021-09-30

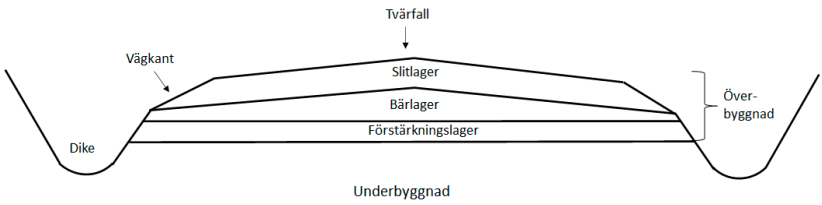
En introduktion till grusvägsunderhåll

> **Underhåll [är en] kombination av samtliga tekniska åtgärder, administrativa åtgärder och ledningsåtgärder under en enhets livstid som är avsedda att vidmakthålla den i, eller återställa den till, ett sådant tillstånd att den kan utföra krävd funktion (SS-EN 13306, 2010).**

Underhåll skapar förutsättningar för ett långt och hållbart liv hos en enhet, oavsett om det gäller ett hus, en maskin eller en väg. Många tänker nog på reparationer när man hör ordet underhåll, men att fixa fel när de redan uppstått är en mindre del av de totala underhållet. Istället försöker man att upptäcka fel innan de uppstår och proaktivt undvika dessa fel. En stor del av arbetet ligger alltså på planering, koordinering och uppföljning - arbete som oftast inte är synligt! Underhåll utförs för att en enhet ska kunna utföra krävd funktion. För en väg betyder detta att den ska vara farbar och säker att använda. Dessutom ska vägen inte ge de kringboende hälso- eller miljöproblem. Vi börjar därför med att beskriva vägens uppbyggnad samt olika tillstånd hos grusvägar, det vill säga vad som kännetecknar en bra respektive dålig väg.

Det synliga lagret på en grusväg kallas slitlager, och det är även det lager som främst underhålls. För slitlagret används bergkross med storleken 0-16 mm och man eftersträvar en bra blandning av kornstorlek så att slitlagret får så få hålrum som möjligt. Materialet ska inte nötas ned för fort, men viss nötning

är positiv eftersom det tillför material med mindre kornstorlek till vägbanan. Krossat material används för att få hög friktion och god bärighet. Bärlagret ska, som namnet antyder, ha god bärighet. Man brukar använda grövre material av lite sämre kvalitet än i slitlagret, men eftersom man vill uppnå kompakthet även i detta lager så är blandningen av kornstorlek viktig. Om bär- och slitlagren är tjocka kan det behövas ytterligare ett lager som förstärker vägen.



Figur 1. Grusvägens uppbyggnad

En bra väg har få gropar eller andra ojämnheter i vägbanan. Att undvika gropighet är förstås viktigt för att säkerställa säkerhet och farbarhet; en jämn väg är komfortabel att köra på och man kan hålla den tänkta hastigheten utan att riskera att fordonet går sönder eller kör av vägen. Dessutom ger gropar i vägen, eller potthål som de även kallas, upphov till vattensamlingar som kan påverka vägens struktur, så att den inte håller så länge den är tänkt att hålla. Därför är en bra grusväg lite konvext byggd (s.k. tvärfall), så att vatten lätt kan rinna av vägbanan. En förutsättning för att avrinning kan ske på ett bra sätt är att vägkanten inte är alltför hög. Är den det kommer inte vattnet att nå diket.

Damm och löst grus är andra vanliga problem på grusvägar. Materialet i vägen består av jord, sand och grus av olika storlek. Om vägbanan är alltför torr så virvlar det lösa materialet upp och kan orsaka problem med sikt, vilket naturligtvis är allvarligt ur säkerhetssynpunkt. För att undvika detta dammbinds materialet med hjälp av salt eller liknande. Även löst grus är en potentiell säkerhetsrisk eftersom det kan leda till att man tappar manöverförmågan på fordonet.

Figur 2. Exempel på dålig grusväg: a) Gropar eller potthål b) Korrugering eller tvättbrädeeffekt c) Damm d) Löst grus

Faktaruta: Tillståndsvärden enligt TDOK 2014:0135

TDOK 2014:0135 är det styrdokument som beskriver tillstånds-bedömning av grusvägar. En fyrgradig skala (1, 2, 3, 4) används för bedömning, där 1 och 2 beskriver en väg med litet behov av underhåll medan 3 och 4 beskriver en väg med stort behov av underhåll. Fyra företeelser bedöms var för sig för att beskriva vägens tillstånd:

- Tvärfall och vägkanter
- Ojämnheter
- Löst grus
- Damm.

För tvärfall och vägkanter finns kvantitativa gränsvärden, medan övriga tillstånd bedöms kvalitativt. Här följer exempel på hur till-ståndsvärdena 1 respektive 4 uttrycks:

Tvärfall och vägkanter

Tillståndsvärde 1
Vägbanan är utformad enligt följande:

- Bombering är 4 %
- Skevning är 5,5 %
- Vattensamlingar förkommer ej

Tillståndsvärde 4
Vägbanan har dåligt tvärfall. I extremfallet är vägbanan plan eller har omvänt tvärfall som gör att vattnet rinner mot vägmitt. Vägen är deformerad i tvärled. Höga vägkanter hindrar alltid vattnet att rinna av från vägen.

- Bombering är mindre än 2 %
- Skevning är mindre än 2,5 %
- Höjden på vägkanten är större än 5 cm

Faktaruta: Tillståndsvärden enligt TDOK 2014:0135 (fortsättning):

Ojämnheter

Tillståndsvärde 1
Vägbanan är jämn och fast. Enstaka potthål kan förekomma. Korrugering får inte förekomma.

Tillståndsvärde 4
Stora delar av vägbanan är ojämn på grund av potthål och korrugeringar. Föraren måste oavbrutet ändra och anpassa sin körhastighet till ytans tillstånd.

Löst grus

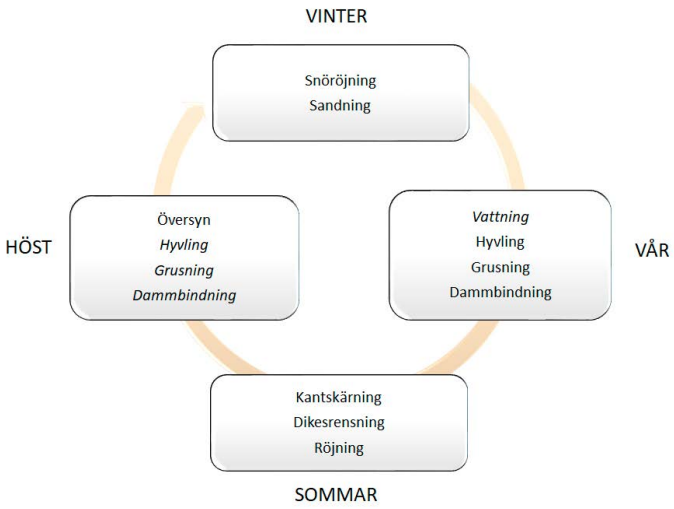
Tillståndsvärde 1
Löst grus på vägbanan förekommer inte alls eller endast i ringa omfattning längs vägen.

Tillståndsvärde 4
Löst grus förekommer i stor omfattning över hela vägbanan och i utpräglade vallar längs vägkanterna vilket inverkar på körkomforten och säkerheten i mycket väsentlig grad.

Damm

Tillståndsvärde 1
Inget damm rörs upp av trafiken längs vägen. Omgivningen utsätts inte alls för damm.

Tillståndsvärde 4
Utpräglade dammoln uppstår längs större delen av vägen. Sikten är kraftigt försämrad. Omgivningen utsätts för damm i mycket väsentlig grad.



Figur 3. Årscykeln för grusvägsunderhåll

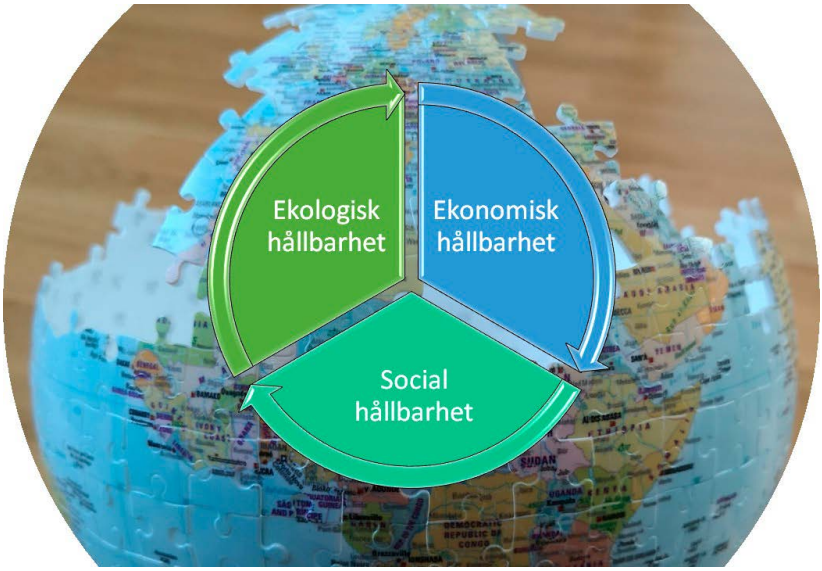
Underhåll sker främst under barmarksperioden, alltså under våren, sommaren och hösten. Vägen hyvlas och dammbinds årligen, medan grusning, kantskärning, dikesrensning och röjning sker med några års mellanrum. Vid hyvling görs vägbanan jämn och man ser även till att vägen har rätt lutning och tvärfall. Hyvling utförs en eller ett par gånger per år, och för att få ett bra resultat bör det göras när vägbanan är naturligt fuktig, alltså främst under vår och höst. Är vägbanan mycket torr kan man behöva vattna den innan hyvling. Förutom att göra vägbanan jämn så blandas även materialet i slitlagret vid hyvling. Ju torrare vägen blir, desto större risk att fint material virvlar upp från vägen och orsakar dammproblem. Därför tillsätts dammbindningsmedel till slitlagret. Vanligast är att använda salt såsom kalciumklorid eller magnesiumklorid, men även andra

dammbindningsmedel som sulfitlut kan användas. När slitlagret är för tunt måste kompletteringsgrusning göras. Det är viktigt att få rätt grussammansättning. Som hjälp har man därför en så kallad siktkurva som beskriver hur sammansättningen och kornstorleken bör vara, och som kan jämföras med den befintliga vägens sammansättning innan nytt grus tillförs. Vanligast är att man tillför nytt grus från bergtäkt, men man kan även återvinna grus som hamnat i vägkanten när man kantskär. Kantskärning görs för att underlätta vattenavrinning genom att lyfta in material från kanterna in på vägbanan. Dikena är viktiga för att få bra vattenavrinning, så dessa bör rensas med jämna mellanrum. Även vägtrummorna måste ses över så att de inte är igensatta och hindrar avrinning. Vegetation som växer in på och över vägen kan orsaka dålig sikt och framkomlighetsproblem. Under sommaren röjer man därför växtlighet ett par meter från vägen. På hösten ses vägarna över och ytterligare åtgärder såsom till exempel hyvling eller ifyllande av potthål görs om behov finns. Inför vintern märks vägen ut med snökäppar. Det huvudsakliga underhållet under vintertid utgörs av snöröjning och, om behov finns, sandning.

Vad är hållbarhet?

> **Begreppet hållbar utveckling myntades redan 1981 av den amerikanske miljövetaren Lester R. Brown, men fick sin spridning genom den så kallade Bruntlandkommissionen (FN:s världskommission för miljö och utveckling) år 1987 genom följande definition: ”Hållbar utveckling är en utveckling som tillfredsställer dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillfredsställa sina behov.”**

Hållbarhet brukar beskrivas i tre dimensioner: ekologisk, social och ekonomisk hållbarhet. Ekologisk hållbarhet handlar om att vårda jordens naturresurser och inte överutnyttja eller skada dem. Med naturresurser menar vi alla resurser, såsom mark, vatten, energikällor eller andra ändliga resurser såsom mineraler, men även växt- och djurliv. Social hållbarhet innebär strävan efter ett jämställt och jämlikt samhälle, där alla människor har samma förutsättningar och rättigheter till ett gott liv. Den ekonomiska hållbarheten beskriver ekonomisk tillväxt och innovation utan negativ påverkan på den ekologiska och sociala hållbarheten. Vid FN:s toppmöte den 25 september 2015 antogs 17 globala mål och den så kallade Agenda 2030 för hållbar utveckling upprättades. Detta innebär att världens länder ska leda arbetet mot en hållbar och rättvis framtid.



Figur 4. Hållbarhetskonceptet

Underhåll är ett sätt att uppnå hållbarhet

Målet med underhåll är att bibehålla en viss funktion hos en enhet, till exempel en väg. En väg ska först och främst vara framkomlig, men den ska även vara säker och komfortabel att färdas på. Utan underhåll påverkas framkomligheten, vilket har negativa effekter främst på de sociala och ekonomiska hållbarhetsdimensionerna. Dåliga vägar leder till svårighet att bo och verka på landsbygd, mer underhåll på fordon och högre bränsleförbrukning, och kan även leda till arbetsrelaterade skador, t.ex. vibrationer som leder till förslitningsskador.

Ingenting håller i evighet, så det är viktigt att tänka robusthet redan då man designar och konstruerar en väg. En bra designad väg håller längre än en dåligt designad väg, vilket påverkar vägens livslängd och även vägens livscykelkostnad: en dåligt designad väg kräver mer underhåll och den kanske måste byggas om tidigare än beräknat. Vägens underhållsbehov är även kopplat till ekologiska hållbarhetsaspekter, eftersom mer underhåll innebär större koldioxidutsläpp och högre utnyttjande av naturresurser. Vad kan man då göra rent praktiskt för att uppnå hållbarhet i grusvägsunderhåll? Låt oss titta de tre hållbarhetsdimensionerna var för sig och ge tips på vad man rent praktiskt kan göra.

Hur kan vi spara på miljön?

All mänsklig aktivitet har påverkan på miljön, så det är viktigt att förstå denna påverkan och hur man kan minimera dess negativa konsekvenser. För grusvägsunderhåll består den negativa påverkan främst av avgasutsläpp och utnyttjande av naturresurser. I Sverige har man som mål att minimera användandet av naturgrus och öka återvinningen av material. Vid grusvägsunderhåll måste nytt grus påföras regelbundet, så dessa mål är i högsta grad giltiga i detta sammanhang. Merparten av gruset som används är bergkross från bergtäkter, men återhållsamhet att ge tillstånd för nya täkter har resulterat i färre stora depåer, vilket i sin tur innebär att medeltransportvägen (sträckan mellan bergtäkt/grusdepå och användare) blir längre. I framtiden kommer det att krävas mer avancerade krossnings-

och förädlingstekniker för att framställa specialanpassade kross-produkter för olika applikationer, däribland byggnation och underhåll av grusväg, vilket ytterligare ökar transportsträckorna. En återvinning av det grus som idag skrapas bort från våra grusvägar skapar därför stor miljöbesparing i form av återvunnet material, men även minskade transporter och därmed minskade avgasutsläpp.

Det finns en direkt korrelation mellan hur ofta och hur länge underhåll utförs och utsläpp, eftersom underhåll utförs med hjälp av olika fordon som bidrar till avgasutsläppen. Dynamisk planering och koordinering av underhållet kan därför vara sätt att minska den negativa miljöpåverkan. Vad är då dynamisk planering? Vi beskriver detta lite mer utförligt längre fram, men kortfattat handlar det om att basera underhållsaktiviteterna på vilket behov som finns. Är en väg av god kvalitet kanske man kan skjuta upp underhållet till senare tillfälle, eller inte göra lika omfattande åtgärder. På så vis kan fordonstrafiken vid utförande av underhåll och vid transport av material minska. Detta förutsätter att man kan skatta det verkliga behovet av underhåll, t.ex. genom kontinuerlig tillståndsövervakning. Koordinering av underhåll är ett annat sätt att minska transporterna. Genom att till exempel koordinera underhåll på närliggande vägsträckor kan man minska antalet körningar till och från punkten där underhåll utförs, och därmed minska den totala körda distansen.

Detta förutsätter att man har en helhetsbild över vilka vägar som ska underhållas, och till och med att man samverkar mellan olika underhållsutförare så att separata underhållsplaner kan koordineras.

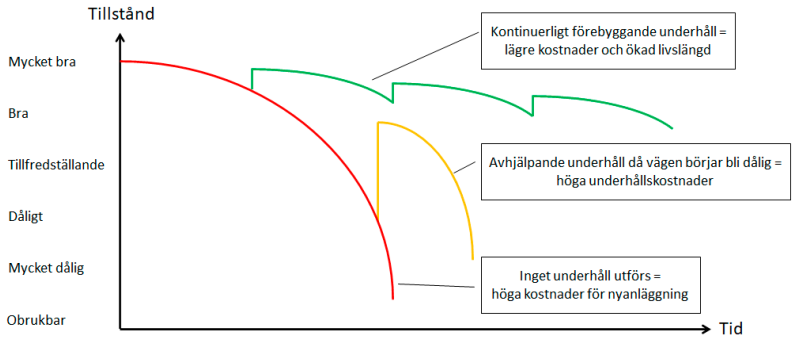
Att effektivisera underhållsarbetet är alltså ett sätt att minska miljöpåverkan samtidigt som kostnaderna kan minskas. Vi tittar därför närmare på de ekonomiska hållbarhetsaspekterna härnäst.

Hur kan vi minska kostnaderna?

Underhållsbehovet beror på många faktorer såsom vägens struktur och uppbyggnad, geografiska förhållanden, väderpåverkan och trafikintensitet. Vissa av dessa faktorer är svåra att påverka, t.ex. väder och trafikintensitet, medan andra kan påverkas, i alla fall till viss mån. Vid nyanläggning av en väg är det till exempel lämpligt att bygga robusta bärlager eftersom det bidrar till att vägen kommer att hålla den förväntade tekniska livslängden på 40 år, eller längre. Man bör även tänka på var man bygger vägen, och ta hänsyn till terräng och hydrologiska förhållanden, d.v.s. hur vatten rör sig. Det är förstås lämpligare att bygga vägen på ett ställe där vatten inte ansamlas utan där vatten sprids. Ibland kan det vara mer kostnadseffektivt att belägga en grusväg, t.ex. om trafikintensiteten ökar rejält och därmed även underhållsbehovet. Det finns både för- och

nackdelar rent kostnadsmässigt med en belagd väg: de belagda vägarna har i regel mindre underhållsbehov så underhålls-kostnaderna minskar, men beläggningsarbetet i sig är kostsamt och vägens totala livslängd minskar oftast.

Det är dock sällan en väg anläggs eller byggs om, medan underhåll utförs kontinuerligt under vägens hela livslängd. Att planera och utföra underhåll på ett effektivt vis påverkar därför kostnaderna både på lång och kort sikt. En generell regel är att man sällan tjänar på att skjuta på underhåll. Det blir kanske billigare för tillfället, men risken är stor att vägens tillstånd försämras så pass mycket att underhållsbehovet ökar mer än normalt. Nästa gång måste man alltså utföra det uppskjutna underhållet och oftast mer än så. Man brukar kalla detta för en underhållsskuld.

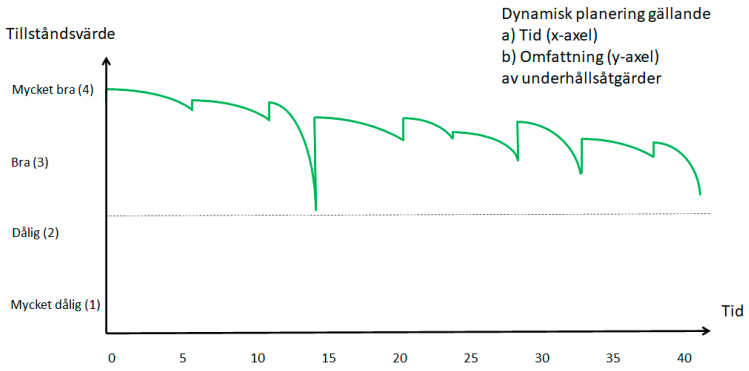


Figur 5. Hur underhåll påverkar livslängd och livstidskostnad hos en grusväg

Kontinuerlig översyn och underhåll av grusvägen är alltså en grundförutsättning för att vara kostnadseffektiv. Ju bättre du känner din väg desto bättre kan du planera rätt sorts underhåll, så översyn och tillståndsövervakning är nyckelaktiviteter. Det kan dock vara svårt att få en bra överblick över alla vägar och dess tillstånd, om du äger eller underhåller många vägkilometer och utför översynen manuellt. Olika tekniska och digitala lösningar kan vara ett sätt att lösa detta problem – kan du få in tillförlitlig information om vägens tillstånd på ett automatiskt och kontinuerligt vis slipper du kostnaderna och tiden för manuell besiktning.

Ett annat sätt att påverka underhållskostnaderna är att vara mer dynamisk i planeringen. I Figur 5 är det tydligt att kontinuerligt förebyggande underhåll är mest kostnadseffektivt, men det finns många sätt att planera detta. Det vanligaste är att man utgår från fasta underhållsplaner och utför samma underhåll år efter år. Har du bra överblick över vägarna och dess tillstånd kan du istället använda så kallad tillståndsbaserat underhåll. Enkelt uttryckt betyder det att du gör underhåll när det verkligen behövs. Tillståndsbaserat underhåll är dynamisk både i tid och i omfattning. Tidsmässig dynamik betyder att man kan tidigarelägga eller senarelägga underhåll beroende på hur vägen mår - tidigare än planen om vägen börjar bli dålig eller senare om vägen är så pass bra att underhåll inte behövs just då. Omfattningsmässig dynamik betyder att man bestämmer vad för slags och hur mycket underhåll som görs. Om det till exempel visar sig att vägen när den ska hyvlas även behöver

kantskäras då planerar man för detta, eller så justerar man hur mycket grus av vilken typ av sammansättning som läggs på vid grusning. Det kan även röra sig om en kombination av de två dynamikdimensionerna. Låt oss exemplifiera detta med en väg som dels går genom ett skogsområde, dels över ett öppet fält. I underhållsplanen anges att hela vägsträckan ska hyvlas en viss tidpunkt på våren, men vägbanan tinar långsammare i skogspartiet än på den öppna ytan. När ska då hyvlingen ske? Ska man ta hänsyn till den delen som ligger öppet, eller den delen som ligger i bevuxen omgivning? Ett alternativ kan vara att undersöka möjligheten att dela upp hyvlingen på två tillfällen. Kanske en närliggande väg har liknande förhållanden som den som ligger i skogen, och man kan kombinera dessa två vägsträckor istället? Som du nog förstår behöver man god kännedom om markförhållanden, men även möjlighet att justera underhållsplanen så att man hittar optimala kombinationer av vägsträckor - kanske att man även behöver koordinera med en annan underhållsutförare eller entreprenör! Ett tredje sätt att minska underhållskostnaderna är att vara resurseffektiv. Samordning av underhållsresurser mellan olika intressenter och koordinerad underhållsplanering är exempel på detta. Ett annat är att med hjälp av ny teknik minska det totala behovet av personal och fordon när man utför underhåll.



Figur 6. Dynamisk underhållsplanering

Hur kan vi få en levande landsbygd?

Nationella såväl som regionala utvecklingsstrategier betonar möjligheten att leva, verka och vistas i hela Sverige; en levande landsbygd är lika viktig som en hållbar urban miljö. Grusvägar utgör den yttersta grenen i det enorma vägnätet och bidrar därför till en levande landsbygd. Privatpersoner, företag såväl som samhällstjänster är beroende av ett välfungerande grusvägnät:

- Den enskilda medborgaren ska kunna leva och verka var den vill i hela landet och kunna ta del av samhällstjänster på lika villkor. Detta betyder att vägnätet ska vara driftsäkert och komfortabelt att använda både för den enskilde medborgaren och för de som måste nå ut med service, såsom hemtjänsten.
- Skogs- och livsmedelsindustrin behöver driftsäkra och framkomliga transportmöjligheter. Vägarna måste ha hög bärighetsförmåga och vara breda nog för transporter.

- Räddningstjänst måste kunna ta sig fram på ett effektivt, säkert och komfortabelt vis vid utryckning.
- Postutdelning, sophantering och övriga samhällstjänster behöver vägar som är säkra och tillförlitliga för att kunna utföra sin service, men även elbolag och liknande infrastrukturleverantörer måste kunna nå ut till sina anläggningar för att utföra tillsyn och underhåll.
- Personer som inte bor på landsbygd ska kunna ta sig till naturen för rekreation och fritidsaktiviteter.

Det är alltså viktigt att vi bibehåller de vägar som utgör det svenska vägnätet och håller dem i gott skick. Vi kan inte strunta i underhållet av grusvägar, eftersom de då ofrånkomligen kommer att degradera tills de är helt obrukbara. Det hade varit enkelt om vi kunde lägga allt ansvar på vägägaren, men så enkelt är det inte. För det första finns det en rad olika vägägarförhållanden, allt från statligt ägda vägar till privata vägar som är stängda för allmänheten. För att underlätta resonemanget kan vi därför avgränsa oss till att diskutera endast de vägar som är öppna för allmänhetens nyttjande. Dessa kan vara statligt, kommunalt eller privat ägda, men även företag, organisationer och stiftelser kan äga vägar som andra kan nyttja. För statliga och kommunala vägar är det ganska enkelt att tänka sig att dessa intressenter tar hand om drift och underhåll av sina vägar. För privata vägar som är öppna för allmänheten, så kallade enskilda vägar, blir det mer komplicerat. Staten ger ekonomiskt bidrag för de enskilda vägarna, och vägägaren i sin tur låter vägen vara

öppen för allmänheten. Bidraget brukar dock vara mindre än de faktiska underhållskostnaderna, så redan där hittar vi ett problem som kan leda till att underhållsskulden ökar. Ett annat problem är kopplat till kunskap om grusvägsunderhåll. Många privata vägägare har begränsad kunskap om väguppbyggnad och underhållsbehov, och då blir det svårt att definiera vad och hur mycket underhåll som behövs. Även intressenter med god förståelse för underhållsbehov generellt kan ha svårigheter att agera beställare, speciellt om man vill arbeta mer hållbart; befintliga kontraktsformer är inte anpassade att hantera hållbarhetsfaktorer eller ett livscykeltänkande och kunskapen kring detta saknas hos beställare och/eller entreprenör. Ett tredje problem är att underhållsbehoven med största sannolikhet kommer att ändras på grund av de klimatförändringar som sker. Extrema väderförhållanden gör att det blir svårare att förutsäga underhållsbehovet, och det kan bli nödvändigt att arbeta mer tillståndsbaserat och dynamiskt på grund av detta.

Det finns alltså en rad problem som vi måste hantera kring grusvägsunderhåll för att uppnå hållbarhet, men även ett antal möjligheter. Teknikutveckling och digitalisering ger stora möjligheter att lösa alla de problem som nämnts ovan: med digitala hjälpmedel kan vi planera och koordinera underhållet på ett effektivt vis och digitaliseringen kan även användas som stöd då kunskap och kompetens saknas. Tekniska innovationer underlättar också arbetet mot ett mer hållbart underhåll: de hjälper oss att minska utnyttjandet av ändliga naturtillgångar, minskar resursbehovet vid utförande av översyn och underhåll

och möjliggör automatisk och objektiv bedömning av vägarnas tillstånd. Istället för att lägga ansvaret på en eller ett par intressenter bör vi ta gemensamt ansvar för vägarna och dess underhåll. Digitala lösningar möjliggör effektiv informationsdelning och bidrar till nya samverkansformer.

Faktaruta: Regionala utvecklingsstrategier och dess koppling till hållbara grusvägar

Detta är ett exempel på hur man beskriver arbetet kring hållbarhet på regional nivå, och hur hållbarhetsmål kopplade till grusvägar kan se ut. Exemplet är taget från Kronobergs läns utvecklingsstrategi 2019-2025, där målbilden kallas Gröna Kronoberg 2025. Denna målbild handlar om att *Kronoberg växer i öppna och hållbara livsmiljöer med förnyelseförmåga* och är nedbruten i fyra underrubriker:

- Det är flickor och pojkar, kvinnor och män i olika åldrar som skapar utveckling och förnyelse inom alla sektorer - offentlig, privat och ideell.
- Gröna Kronoberg är en växande landsbygdsregion mitt i södra Sverige mellan storstadsregionerna.
- Gröna Kronoberg har en stark förnyelseförmåga och växer av en cirkulär ekonomi.
- Gröna Kronoberg satsar på att bli en ledande hållbar region.

Det finns en indirekt koppling mellan alla mål och hållbara grusvägar, men det andra målet är mer direkt kopplat till infrastruktur och vägnätet. Målet är formulerat på följande vis:

”Gröna Kronoberg är en växande landsbygdsregion mitt i södra Sverige mellan storstadsregionerna. Regionen är både liten och stor – en liten befolkning på en relativt stor yta. Många små orter växer i och kring en stark stråkstruktur där vägarna möts i en stark regional kärna. Orterna och landsbygderna drar nytta av strukturen och kompletterar varandra så att livsmiljöerna känns öppna och hållbara. Landskapets skogar, jord och sjöar är nära och närvarande i människors vardag genom att producera ekologiska, sociala och ekonomiska värden. Gröna Kronoberg utvecklar det ömsesidiga beroendet mellan stad och land genom att stärka funktionella samband och genom att förvalta och utveckla landskapets natur- och kulturvärden som en grund för utvecklingen.”

Faktaruta: Regionala utvecklingsstrategier och dess koppling till hållbara grusvägar (fortsättning):

I länstransportplanen för Kronobergs län 2018-2029 framkommer det hur man planerar infrastrukturen i regionen mer detaljerat. Där kan man bland annat läsa följande:

”De ”smala” vägarna viktiga för Kronoberg. Även om de större orterna i länet fyller en viktig funktion sett till service och arbeten utgör landsbygden en stor del av Kronobergs län – drygt var femte invånare bor utanför en tätort. För att ta tillvara på landsbygdens potential är det viktigt att det i närliggande orter finns ett visst serviceutbud i form av dagligvarubutiker, drivmedelsstationer och offentliga verksamheter. Att upprätthålla god offentlig och kommersiell service samt ändamålsenlig infrastruktur i ett stort och glest län likt Kronoberg ställer höga krav på planeringen och insatser.

En god väghållning behövs både för framkomlighet och tillgänglighet men också ur trafiksäkerhetssynpunkt. Även ur ett ekonomiskt perspektiv är det viktigt att sköta det lågtrafikerade vägnätet genom en effektiv drift- och underhållsplanering. Eftersläpande underhåll medför högre kostnader i framtiden och olägenheter för trafikanterna. Ett eftersatt vägnät ger försämrad tillgänglighet vilket hämmar vägnätets funktion för boende och förvärvsarbetande. Det mindre vägnätet är också av stor vikt för näringslivets transporter och då särskilt skogs- och lantbrukstransporter. En avgörande fråga för dessa transporter är att vägen har tillräcklig bärighet för tunga transporter. För att upprätthålla bärigheten finns ett särskilt bärighetsanslag finansierad inom nationell plan som används till att upprätthålla god bärighet på delar av det mindre vägnätet - ett särskilt utpekat näringslivsvägnät.”

Hållbart underhåll av grusväg

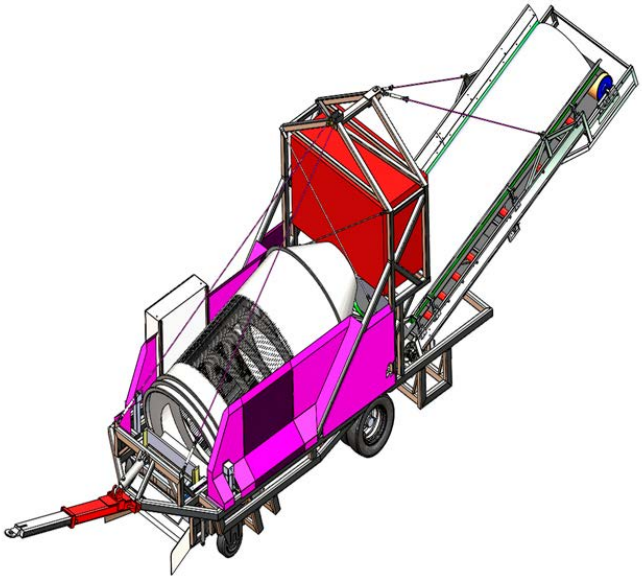
Här presenterar vi huvudresultaten i projektet Hållbart underhåll av grusväg. Vi utgick från tre huvudsakliga frågeställningar, vilka utgör rubriker för resultatredovisningen: Hur kan vi minska uttaget av naturresurser vid underhåll av grusväg, Hur kan vi ta bra beslut rörande grusvägsunderhåll, samt Hur kan olika aktörer samverka på bästa vis kring grusvägsunderhåll. Därefter sammanfattar vi våra erfarenheter om vad som krävs för att uppnå hållbart grusvägsunderhåll.

Hur kan vi minska uttaget av naturresurser vid underhåll av grusväg?

Med 3 till 5 års mellanrum kantskärs vägbanan för att vidhålla vägens form så att vatten kan rinna av på sidorna och i diket. Utan kantskärning kommer också växtlighet krypa allt närmare körbanan. Vid kantskärning samlas materialet i en sträng ca 1 meter in i vägbanan. Materialsträngen består av en del torv, en del större stenar men framför allt består den största delen av fullgott material som kan återanvändas. Den här materialsträngen behöver tas om hand och då finns det två huvudsakliga metoder, antingen att (1) strängen plockas upp av en grävmaskin som lägger materialet i skogen, eller att (2) materialet återvinns med grusåtervinnare. I studien har effekten av grusåtervinning med maskinerna SAGA och ROLF jämförts med fallet där man inte återvinner materialet från kantskärning.

SAGA är en så kallad stenplockare ursprungligen utvecklad för att plocka sten på åkermark, men som även kan användas för återvinning av grus, då grundprincipen är densamma. SAGA dras av en traktor eller hjullastare och med hjälp av en mekanism bestående av en rotor samt fjädrar plockas material upp från grussträngen på vägbanan och sorteras. Grövre material (ca 40 mm och större) samlas upp i en tippbar behållare som töms på lämpliga ställen. SAGA marknadsförs under benämningen SAGA-DAN och är tillverkad i Danmark av Havemose Maskinfabrik.

Under projektet har vi även undersökt en grusåtervinningsmetod där materialsträngen plockas upp och sorteras (material mindre än 20 mm i diameter återförs på vägen och material som är större sorteras ut i skogen) i ett flöde. ROLF är en vidareutveckling av den så kallade Mählermetoden, och består av en grusuppsamlar-mekanism, en sorteringstrumma där materialet matas fram med hjälp av en skruvmekanism samt en utmatningsmekanism bestående av ett vridbart transportband, som hängs efter en väghyvel. Sorteringen görs samtidigt med kantskärningen där kantskärningsmassorna läggs upp i en sträng i mitten som sedan matas in i sorteringstrumman där det sorteras och läggs tillbaka på vägen. Övrigt material matas ut till transportbandet, som sedan kastar ut det i skogen eller samlas upp, se principskiss nedan. Under körning matas material ut kontinuerligt via transportbandet (som då är vridet 90 grader) utanför körbanan. Transportbandet kan stoppas vid behov och åter sättas igång för att tömma materialet där det passar.



Figur 7. Principskiss över ROLF

Med denna metod återanvänds ca 97 %[1] av materialsträngen. Av dessa 97 % består ca 2,5 % av organiskt material såsom gräs och andra växtlighet. För att få en körduglig väg med så bra förutsättningar som möjligt gäller det att det finns en bra sammansättning av kornstorlekar på vägen. De mindre partiklarna hjälper till att binda ihop material medan de större partiklarna behövs för att göra vägen stark. Tester av grus-fraktionens sammanställning visar att den efter återvinning består till en något större andel av finare kornstorlekar. Detta medför att man måste kompletteringsgrusa vägen med något större fraktioner för att få rätt sammansättning på slitlagret.

1 Avser viktandelar

Figur 8. Återvinnarna SAGA och ROLF

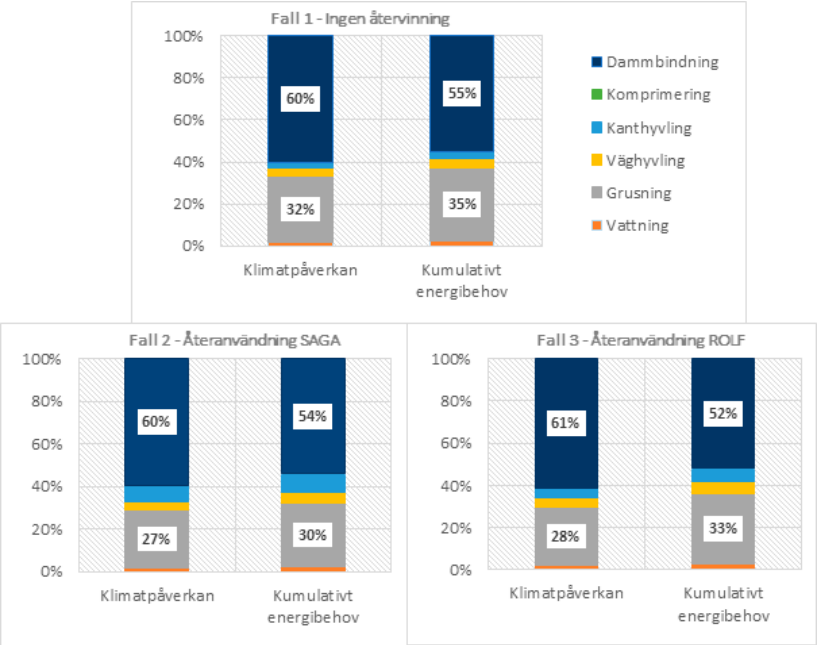
Under projektets gång har en livscykelstudie gjorts för att utröna vilken effekt återanvändning av grus vid kantskärning kan ha på en del av de miljöeffekter som uppstår vid underhåll av grusvägar. I studien har 3 fall jämförts, där fall 1 är utan grus-återvinning, fall 2 är grusåtervinning med maskinen SAGA och fall 3 gäller grusåtervinning med maskinen ROLF. SAGA och ROLF är två grusåtervinnare med liknande utformning där den största skillnaden är att SAGA drogs av en traktor och ROLF drogs av en väghyvel. I studien kan man se att det finns miljömässiga fördelar att återvinna och återanvända utkastat grus. Sett till en 4-årsperiod av barmarksunderhåll blir klimatpåverkan ca 12% respektive 14% lägre för SAGA respektive ROLF. De faktorer som påverkar klimatet mest är grusning samt dammbindning, som tillsammans utgör mellan ca 85% till 90%, se figur 9 och figur 10. Miljöpåverkan redovisas i figurerna

utifrån två olika metoder, dels IPCC GWP 100a[2] som beskriver miljöpåverkan mätt i kilogram CO_2-ekvivalenter, dels kumulativ miljöpåverkan som beskriver mängden energi som används, mätt i megajoule. Anledningen till att ROLF har en något bättre miljöprofil än SAGA beror på en lägre bränsleförbrukning vid uppsamling, sortering och utläggning.

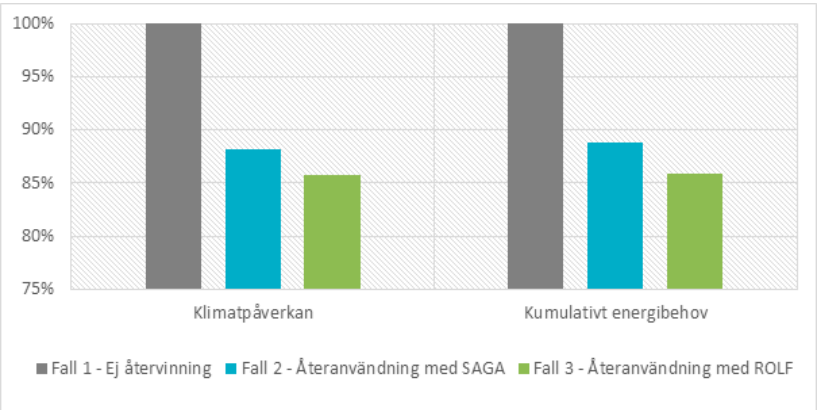
Resultatet av livscykelanalysen visar att det finns miljömässiga fördelar med att återvinna och återanvända utkastat grus. De underhållsåtgärder som ger de största bidraget till miljöpåverkan är grusning samt dammbindning, som tillsammans utgör mellan ca 85% till 90% beroende på vilket fall och miljöpåverkans-kategori som studeras. Vad som framkommer i studien är att återvinning av grus har drygt 10 % lägre miljöpåverkan än i det fall där inget grus återvinns. De 10 procenten är en bit på vägen, men det finns fortfarande delar i processen som kan utvecklas så att miljöeffekten minskar ytterligare. Fortfarande läggs mycket naturmaterial ut på vägen trots återvinning av grus. Då det är svårt att veta hur kornstorleksfördelningen ser ut i vägen lägger man i vissa fall på mer grus än vad som kanske behövs. Om underhållspersonal i realtid hade kunnat få fram en siktkurva över vägen de just har underhållit hade de kunnat skräddarsy påläggning av nytt grus ytterligare och kunnat få ner brytningen av naturmaterial.

---

2 IPCC GWP 100a är en metod framtagen av FN:s klimatpanel (IPCC), där GWP utläses Global Warming potential, och 100a att beräkningen görs i utifrån en 100-årshorisont. GWP är ett mått på förmågan hos en växthusgas att bidra till den globala uppvärmningen.



Figur 9. De olika delprocessernas relativa bidrag till miljöpåverkan i de tre undersökta fallen



Figur 10. Miljöbedömning enligt IPCC GWP 100a (klimatpåverkan) och CED (kumulativ energi). Relativ jämförelse mellan de tre fallen

Tankar om framtiden

Nämnda livscykelstudie visar att just grusningen av vägen är en stark bidragande orsak till miljöpåverkan. Därför kan det därför vara värt att undersöka möjligheten av att kunna minska kompletteringsgrusningen vid detta tillfälle utan att det behövs ett nytt grusningstillfälle efterföljande år. Troligen behövs en analys av kornstorleksfördelning, en proportionering, göras av materialet i slitytan och i vägkanten för att kunna avgöra hur mycket eller lite kompletteringsgrus som behövs.

Eftersom dammbindningen ger upphov till relativt stor påverkan i förhållande till den mängd medel som används, kan det i en senare studie vara av värde att undersöka miljöeffekten av att använda alternativa dammbindningsmedel. I denna studie används kalciumklorid.

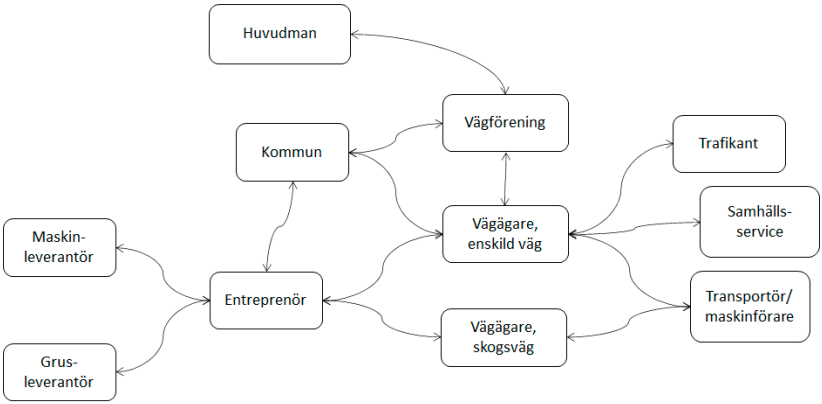
I posten grusning ingår även att transporterna av materialet från grustäkt till den underhållna vägen. Det innebär att ju längre transportsträckan är från grustäkten till den underhållna vägen, desto mer energi kan man spara på att återvinna grus. I studien antas 10 km enkel väg, vilket innebär att de besparingar som görs per m3 mindre mängd nytt grus påverkas ifall transportsträckan är längre (besparingen blir större) eller kortare (besparingen blir lägre). Med det blir återvinning och återanvändning mer attraktivt ju längre transportsträckan är av nytt grus.

Hur kan vi ta bra beslut rörande grusvägsunderhåll?

För att kunna ta bra beslut måste vi först definiera vad ett bra beslut innebär. Tre viktiga aspekter är:

- Vem som tar beslutet
- Vad beslutet handlar om
- I vilken tidshorisont beslutet gäller

Den viktigaste aspekten är dock varför man måste ta beslut, alltså målet med beslutfattandet. Detta kan kopplas till det mål som beslutsfattaren, organisationen eller företaget har. I detta projekt har vi arbetat med ett så kallat ekosystemperspektiv på beslutsfattande och informationshantering. Ett affärs-ekosystem beskriver de viktigaste intressenterna i ett värde-genererande sammanhang. Det kan till exempel vara leverantörer, producenter, kontrollinstanser eller finansiärer. Man brukar även inkludera de slutintressenter eller kunder som tar del av det värde som genereras. Figur 11 beskriver viktiga intressenter i affärs-ekosystemet "Underhåll av grusväg". I figuren har vi inte tagit med alla möjliga intressenter, utan de som vi identifierat som viktigast för att besvara frågan om hur bra beslut kan tas. Dessa intressenter interagerar med varandra och behöver därför kunna utbyta information för att ta bra beslut.



Figur 11. En principskiss över affärsekosystemet

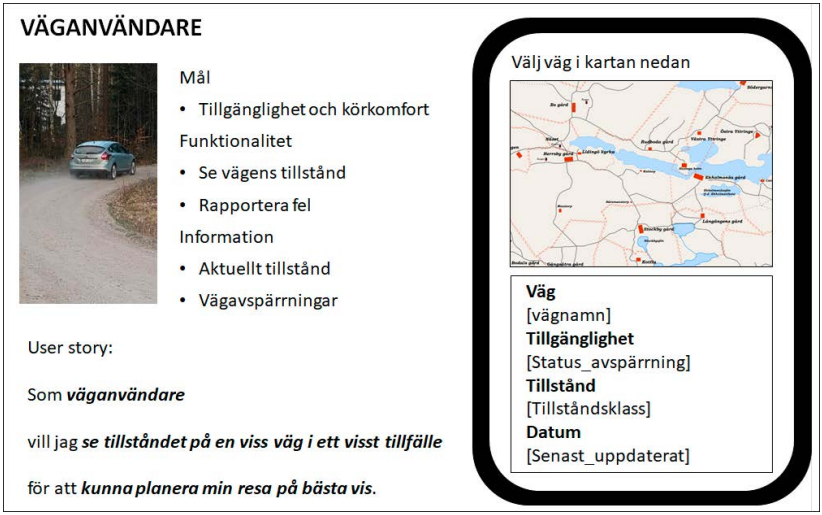
Utifrån denna ekosystembeskrivning skapade vi fyra generella intressentgrupper:

- Myndigheter
- Underhållare
- Vägägare
- Väganvändare

På ett övergripande plan svarar detta på frågan om vem som tar beslut. I figur 12 visas ett exempel på besluts- och informationsbehov för intressentgruppen väganvändare. Beslutshorisonen är kort i detta fall; vi antar att en väganvändare vill kunna ta ett beslut om vilken väg som är lämpligast för att uppnå hög tillgänglighet och körkomfort baserat på hur läget ser ut i realtid eller närtid. Detta avspeglas i den så kallade *user storyn* som är en kort beskrivning på vardagligt språk av vad en

användare vill uppnå: *"Som väganvändare vill jag se tillståndet på en viss väg för att kunna planera min resa på bästa vis"*. För att kunna göra det behövs funktionalitet för att *se en viss vägsträckas tillstånd*. Här måste vi definiera vad som menas med tillstånd, och i detta fall har vi tolkat det som att det både handlar om vägbanans tillstånd och om vägen är tillgänglig för körning. Detta är grundinformation för beslutet. Till höger i figuren finns ett exempel på hur detta skulle kunna implementeras i en mobilapp.

En annan användbar funktion är att kunna rapportera in eventuella fel som väganvändaren stöter på. Detta reflekteras i funktionen *rapportera fel* (den syns inte i bilden till höger dock!).



Figur 12. Exempel på besluts- och informationsbehov för väganvändare

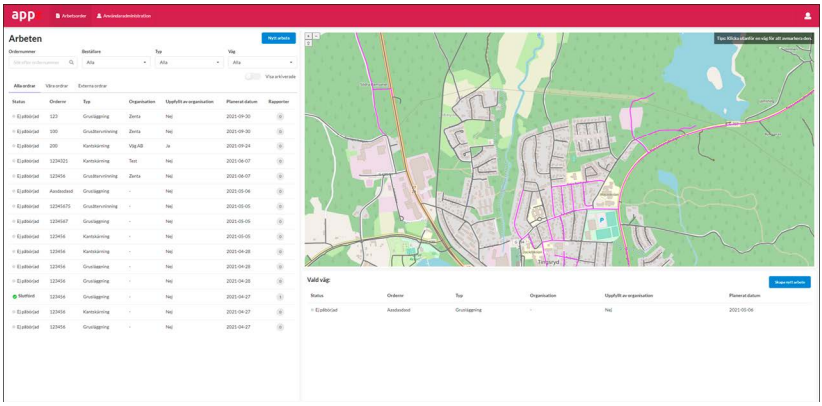
På så vis identifierades besluts- och informationsbehovet hos de fyra generella intressentgrupperna. Beslutsbehovet är förstås olika hos intressenterna, medan informationsbehovet är både unikt och överlappande dem mellan. Figur 13 ger en översikt över informationsbehovet för intressenterna huvudman, kommun, underhållsentreprenör, vägförening och trafikant. De representerar grupperna myndighet (huvudman, kommun), underhållare (kommun, entreprenör), vägägare (vägförening) och väganvändare (trafikant).Vi kan se att huvudman, alltså Trafikverket, samt entreprenörer har stort informationsbehov medan trafikanter har relativt litet behov av information. Information som alla intressenter behöver är kring t.ex. potthål, damm, löst grus och dränering; med andra ord tillstånds-information. Alla intressenter utom väganvändare behöver även information om väderförhållanden och trafikintensitet.

Informationsbehov	Huvudman	Kommun	Entreprenör	Vägförening	Trafikant
Vägstandard	●		●		
Vägnamn, nummer och dimensioner	●		●		
Vägägare och ansvarig underhållare					●
Bärighet	●		●		
Väderförhållanden	●	●	●	●	
Tvärfall, bombering	●	●	●	●	●
Materialkomposition	●		●	●	
Potthål	●	●	●	●	●
Korrugering	●	●	●		
Damm	●	●	●	●	●
Löst grus	●	●	●	●	●
Dränering	●	●	●	●	●
Kantskärning			●		
Kulvertar				●	
Tjällossning	●	●	●		
Vegetation					●
Trafikintensitet	●	●	●	●	
Underhållsplan			●	●	
Pågående underhållsarbete					●
Sensorer					
Materialtjockhet	●		●		
Fuktkvot	●				
Ytjämnhet	●		●		
Djur i rörelse					●

Figur 13. Sammanställning av resultaten från intervjustudie kring informationsbehov

Vi lade fokus på att specificera roller, informationsbehov och beslutsbehov för intressentgruppen *underhållare* i utvecklandet av ett informationsstöd för underhållsstyrning, medan beslut- och informationsbehov för intressentgrupperna myndigheter, vägägare och väganvändare undersöktes på ett övergripande plan. Detta skedde rent praktiskt genom intervjuer, dokumentstudier samt workshops. I ett senare skede använde vi även pappers-prototyper och systemprototyper.

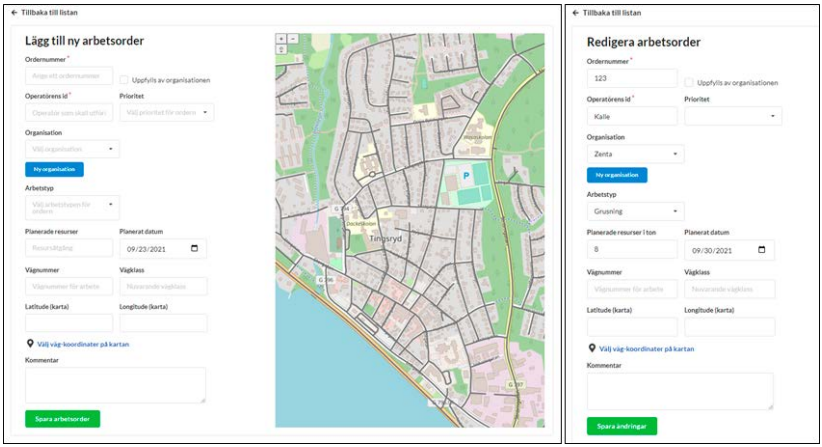
Arbetet resulterade i ett administrativt stöd för grusvägsunderhåll som vi kallar GRusvägsUnderhållSystemet GRUS, som är ett molnbaserat administrativt system för underhållsplanering med en mobil lösning för arbetsorderhantering och rapportering. I figur 14-17 hittar ni exempel på hur detta system ser ut. I översiktsvyn (figur 14) återfinns en lista på aktuella arbeten samt en interaktiv karta. För varje arbete, som har sitt eget ordernummer, ser man status, typ av åtgärd, vilken organisation som utför arbetet, planerat datum samt vilka rapporter som är kopplade till en specifik order. En order kan antingen vara ej påbörjad, startad eller avslutad, alltså aktiv eller inte. När ordern slutförts kan den även arkiveras, d.v.s. den läggs till historiken och syns inte i flödet i översiktsvyn. En smart funktion i GRUS är att fler än en organisation kan lägga in arbetsorder i systemet. Detta medger samverkan i planering av olika arbeten som har inbördes koppling, t.ex. kantskärning och grusning. I listan ser man därför vems arbete det är, och om denna organisation ska utföra arbetet eller ej. En annan smart funktion är den interaktiva kartan där man kan markera de vägsträckor som ingår i en viss arbetsorder. Genom att klicka på en vägsträcka får man snabbt upp information om planerade arbeten och kan skapa en ny arbetsorder genom ett enkelt knapptryck. I översiktsvyn finns även möjlighet att filtrera arbetsorderlistan på ordernummer, beställare (organisation), typ av arbete och vägnummer. Filtrering och information som visas i översiktsvyn kan anpassas efter behov, t.ex. om man vill kunna se prioritet.



Figur 14. GRUS - översiktsvy

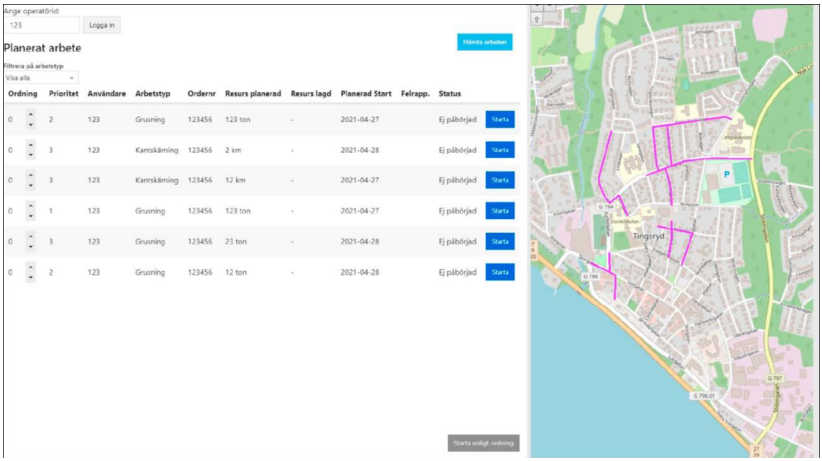
Genom de blå funktionsknapparna i översiktsvyn kan man smidigt skapa en ny arbetsorder. Den information som kan läggas för en order ses i figur 15. Fältet planerade resurser är dynamisk - om det gäller t.ex. grusning efterfrågas antal ton material, medan t.ex. hyvling anges i antal kilometer. Om nuvarande vägklass är känd kan även denna information anges. Tanken är att vägklass, både före och efter utfört arbete, ska kunna anges antingen manuellt eller automatiskt via ett tillståndsövervakningssystem i framtiden.

Om man behöver redigera en arbetsorder får man upp vyn som syns till höger i figur 15. Det är alltså smidigt att både skapa och ändra en arbetsorder.



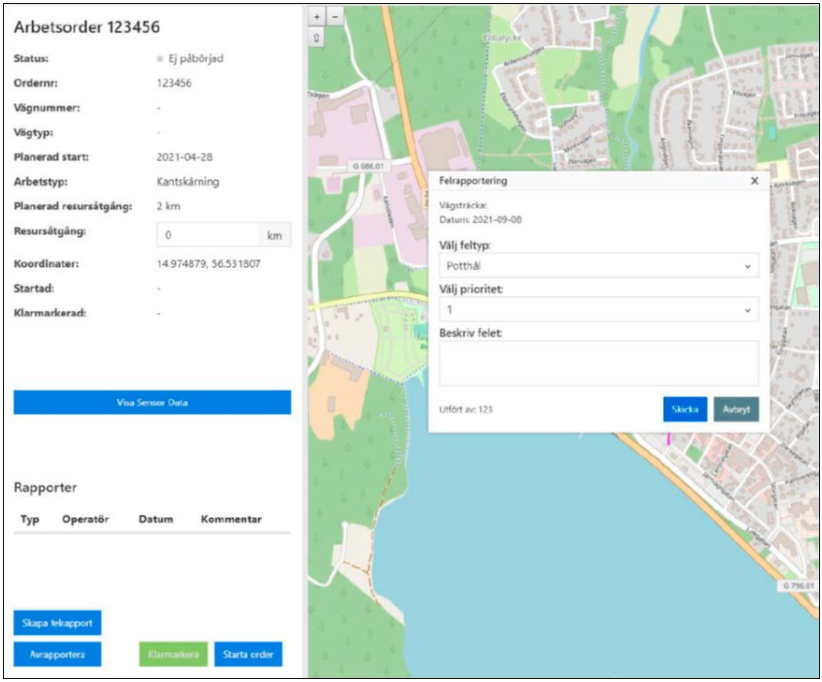
Figur 15. GRUS - hantera arbetsorder

Genom en mobil klient, alltså programvara som finns installerad på en bärbar enhet, kan den som utför underhåll enkelt få fram vilka arbeten som är planerade, se figur 16. Operatören loggar in med sitt id och får då fram en lista på aktuella arbeten. Listan kan sorteras till exempel utifrån prioritet, och ett eller fler arbeten kan påbörjas från denna vy.



Figur 16. GRUS - aktuella arbeten

Den grundläggande arbetsordervyn syns i figur 17. Här finns olika funktioner för att starta eller klarmarkera ett arbete, samt möjlighet att se tillståndsdata, felrapportera och avrapportera. Om felrapport eller avrapportering väljs kommer ett fönster att öppnas där information kan matas in. I figur 17 har en felrapport startats, och där kan information om feltyp, prioritet och en beskrivning av felet läggas in. Denna information sparas tillsammans med information om vägsträcka, datum och vem som rapporterade in felet. I prototypen har vi velat exemplifiera hur det skulle kunna se ut om ett tillståndsövervakningssystem tillhandahåller information om vägens tillstånd medan man utför underhåll. Denna information kan man visa genom att trycka på “Visa sensordata”. I avrapporteringen finns även möjlighet att lägga in information om tillståndsklass efter utfört arbete.



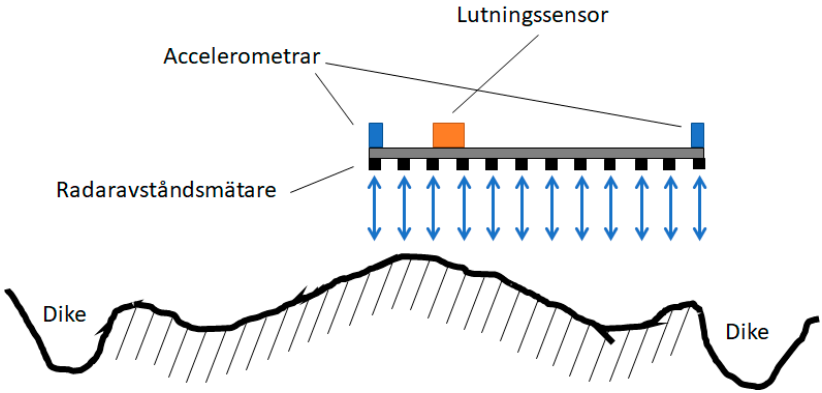
Figur 17. GRUS - arbetsordervy samt felrapportering

Grusvägars tillstånd kan mätas objektivt med hjälp av ett antal metoder. Det finns stationära såväl som mobila metoder och manuella såväl som automatiska metoder, men det finns ingen enhetlig mätmetod. För mätning av ojämnheter och tvärfall kan man bland annat använda sig av laserteknik eller LIDAR, som är ett optiskt mätinstrument. Med hjälp av markradar kan man undersöka vägens struktur. Dessa metoder kräver i regel dedikerade fordon och är tämligen kostsamma. Man kan även skatta ojämnheter med accelerometrar som finns inbyggda i smarta telefoner. Den tekniken är billigare och kan användas i

vilket fordon som helst, men ger inte lika tillförlitliga resultat. Genom att mäta partikelstorhet kan dammhalt mätas mobilt eller stationärt, och ljud, bild och video kan användas för att mäta löst grus.

Det finns en rad fördelar med nuvarande metoder, men även problem. För det första sker mätning huvudsakligen med hjälp av speciella mätfordon. Detta är tidskrävande och resulterar i en mätfrekvens på veckor, månader eller år. Dessutom är sådana mätningar dyra och risken att skada mätutrustningen. Dessutom kan de svåra mätförhållandena med damm och fukt orsaka felaktiga avläsningar. För att hantera sådana problem föreslår vi en ny metod för automatisk och objektiv metod för mätning av topologi (ojämnheter) och geometri (tvärfall och lutning). Metoden är baserad på radarsensorteknik, i och med att radarsensorer är robusta och kan utföra exakta avståndsmätningar. Mätsystemet består av en lutningssensor, två accelerometrar samt ett antal radarsensorer monterade på en balk som fästs på det fordon som används för att utföra mätning, se figur 18. Radarsensorerna mäter avståndet till vägytan tvärs vägens riktning och med hjälp av informationen från de två accelerometrarna som mäter vibrationer i vertikal led erhålls information om vägytans jämnhet. Baserat på information från lutningssensorn kan även tvärfall, lutning och vägkantsdjup uppskattas. Denna design leder till ett robust system som kan fästas på främst tunga fordon, till exempel en väghyvel eller en sopbil, och medger frekventa mätningar eftersom dessa fordon trafikerar vägarna regelbundet. Förutom själva

mätsystemet består lösningen av en datainsamlingsmodul och digital signalprocessor samt en robust dator vilka sammantaget har till uppgift att processera och lagra indata och representera dessa i tillståndsklasser som beskriver vägens tillstånd. Denna information kommer även finnas tillgänglig för nedladdning på en separat server. På så vis kan tillståndsinformation användas för planering, t.ex. via GRUS-systemet.



Figur 18. Principskiss över system för mätning av tvärfall och ojämnheter

Tankar om framtiden

Bra beslut är beroende av information som är relevant och tillgänglig. För att kunna arbeta med kontinuerligt förebyggande underhåll krävs system som samlar in, bearbetar och presenterar data på ett begripligt vis som stöd för beslutsfattande. Inom underhållsområdet brukar vi använda begreppen underhåll 4.0, e-underhåll eller smart underhåll för uppkopplade system som genom sensorer samlar in information, vilka sedan bearbetas med statistiska, matematiska och maskininlärningsmetoder och

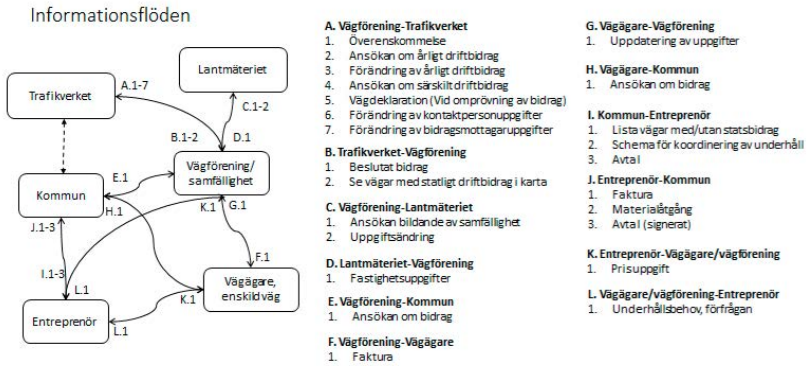
presenteras på ett begripligt vis för användare via visualiserings-tekniker eller liknande. Även om det finns en del system på marknaden inom grusvägsunderhåll så är utvecklingspotentialen stor inom området.

Mer forskning och utveckling behövs inom områdena data-insamling, bearbetning och presentation, men även för att koppla samman olika tekniker och metoder till en helhet. Varför inte börja med grunden, alltså att säkerställa tillgången till relevant information genom att utveckla och testa nya sensorer och vidareutveckla befintliga system. I projektet identifierades möjligheten att använda radarsensorer för att mäta tvärfall samt ojämnheter. Detta är något vi kommer att arbeta vidare med genom att ta fram ett tillståndsövervakningssystem som kan monteras på fordon som frekvent trafikerar grusvägar. Ett annat spännande område är modeller för diagnos och prediktion. Vilka modeller passar bäst för grusväg? Är det regelstyrda modeller som utgår från fysikaliska egenskaper, eller statistiska och matematiska modeller som hittar mönster som kan beskriva fel? Eller kanske en kombination? Detta kommer vi att undersöka vidare. Ett tredje område rör utveckling av beslutstöd. Vi har bara skrapat på ytan här, då vi utvecklade underhållssystemet GRUS. En rad olika funktionaliteter skulle kunna läggas till för att utveckla GRUS, såsom offert- och kontraktstöd, automatisk dokumenthantering, ekonomiska beräkningsmodeller och kostnadsuppföljning, underhållsprioritering, eller stöd för koordinering av underhållsaktiviteter. Vill vi utöka med

fler moduler så skulle ett verktyg för livscykelkostnadsanalys till exempel vara intressant. Vi har även identifierat behov av systemstöd för andra intressenter, såsom att utveckla appidén som beskrivs i figur 12.

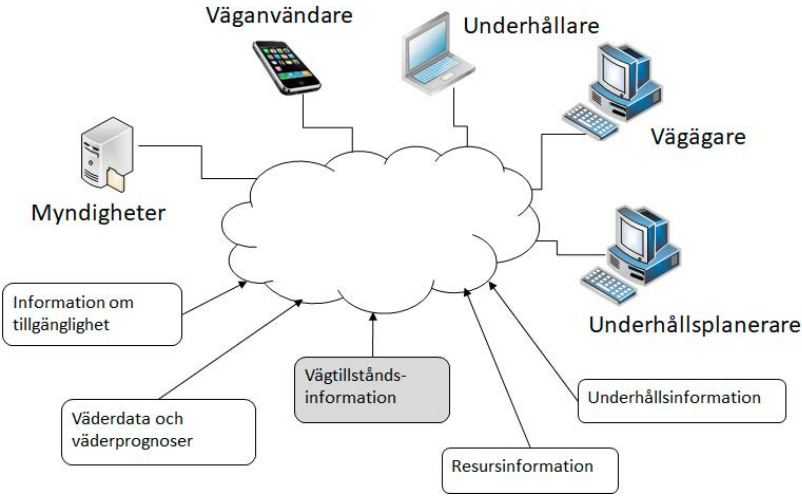
Hur kan olika aktörer samverka på bästa vis kring grusvägsunderhåll?

I detta projekt har vi undersökt tre aspekter som påverkar möjligheterna till samverkan: informationsdelning, systemstöd samt affärsmodeller. I bilden nedan exemplifieras nuvarande informationsflöden i ekosystemet. Informationsdelningen mellan vägföreningar och Trafikverket är ett exempel på etablerade kanaler, och där webbaserat systemstöd finns. Informationsflödet mellan kommun och entreprenör, däremot, var i detta fall tämligen litet och till viss del beroende av mail eller andra icke anpassade system. Att ha ett gemensamt systemstöd för dessa informationsflöden skulle underlätta för båda parterna.



Figur 19. Ett exempel på nuvarande informationsflöden

Grundtanken med GRUS som beskrevs tidigare var att utveckla ett systemstöd anpassat för den mindre underhållsentreprenören. Vissa av de funktionsbehov som identifierades handlade om informationsdelning och samverkan, till exempel delning av underhållsplaner genom att flera användarorganisationer kan lägga upp arbetsorder i systemet. På så vis kan koordinering av aktiviteter göras, till exempel koordinering av underhålls-aktiviteter eller resurser mellan olika aktörer. Ett annat exempel är smidig dokumenthantering vid fakturering, där man enkelt kan samla elektroniskt fakturaunderlag såsom vågslipar som visar på materialåtgång och utdrag ur underhållshistoriken för en viss kund. Eftersom varje aktör har olika administrativa processer och behov av information är det inte relevant att skapa ett system som täcker allas behov. Istället bör man fokusera på att underlätta informationsdelning mellan intressenter och skapa gemensamma, öppna, molnbaserade informationsbanker för sådan information som flertalet intressenter behöver, till exempel vägtillståndsinformation.



Figur 20. Molnbaserade tjänster möjliggör en samlad informationsdelning

En affärsmodell beskriver hur ett företag är tänkt att fungera utifrån ett antal komponenter som sammanlagt utgör affärslogiken. Ett populärt verktyg för affärsmodellering är den så kallade affärsmodellkanvasen skapad av Osterwalder och Pigneur. Kanvasen är uppbyggd av nio olika komponenter, se Tabell 1. Värdeerbjudandet beskriver produkter/tjänster som skapar värde för kund. Nyckelaktiviteter, -resurser och -partners utgör förutsättningar för att erbjuda detta. Kundsegment beskriver kunder som är tänkta att ta del av erbjudandet, medan kanaler och relationer förklarar hur erbjudandet marknadsförs, regleras och distribueras. Kostnadsstrukturer och intäktsströmmar, slutligen, beskriver de ekonomiska strukturerna för erbjudandet.

Vi har arbetat utifrån fyra olika scenarier för hur underhåll av grusväg kan säljas. De två första är varianter av utförande-entreprenad, det vill säga utförande av underhåll enligt en tydlig kravspecifikation, antingen som enskild affär eller vid offentlig upphandling. Underhållsleverantören planerar, utför och följer upp underhållsaktiviteter enligt överenskommen plan. Kvalitet i utförandet mäts med utgångspunkt i krav-specifikationen och dess uppfyllande, alltså att underhåll utförts enligt plan. I scenario 2 finns inslag av koordinering av aktiviteter som leverantören utför och som kunden utför. Detta möjliggörs enklast via ett gemensamt planeringsverktyg, varför IT-stöd och IT-leverantörer blir viktiga komponenter i affärsmodellen. scenario 3 utgår från funktionsentreprenad, det vill säga kontrakt med fokus på funktion eller mål för tjänsten, uttryckt som *tillhandahålla god kvalitet på grusväg*. Funktionsbaserade affärsmodeller förutsätter att man kan mäta att funktionen uppfylls, i detta fall kvaliteten eller tillståndet på vägen. Tillgång till tillståndsinformation är därför viktigt, och nyckelaktiviteter är planering och analys av när, var och hur underhållet ska utföras. Rent praktiskt kan scenario 3 innebära att underhållsleverantören specialiserar sig på planering och analys och anlitar annan part för själva utförandet, eller att man själv utför underhållsaktiviteterna. Oavsett vilken modell så är leverantören ansvarig för att uppnå de satta kvalitets-kraven. Scenario 4 liknar inte de andra tre scenarierna, men den baserar sig på en grundkompetens i grusvägsunderhåll i det att underhållstjänster förmedlas mellan kund och tredje part. Scenario 4 är en plattformsbaserad affärsmodell, där

leverantören tillhandahåller en plattform och ett nätverk för underhållstjänster. sådana tjänster förmedlas i dagsläget främst av större aktörer som agerar nationellt, men även mindre aktörer skulle kunna agera förmedlare på regional nivå, och på så vis nyttja sina nätverk och sin kännedom om lokala/regionala förhållanden.

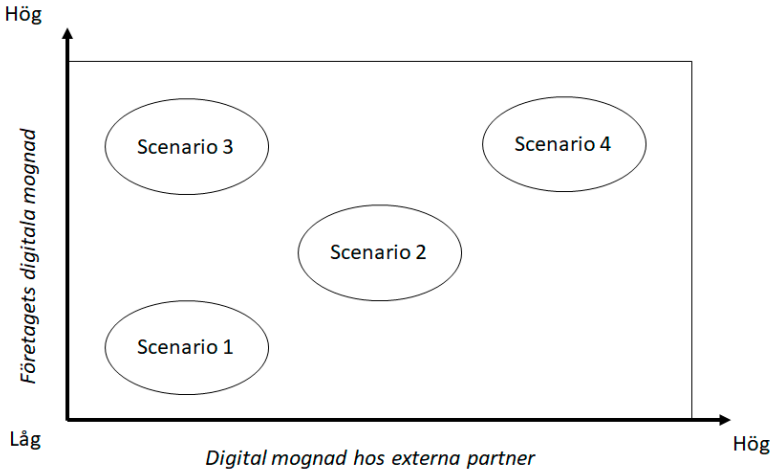
Tabell 1. Olika affärsmodellscenarier

Komponent	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Värde-erbjudande	Underhåll av grusvägar	Möjliggöra effektivt underhåll av grusvägar	Tillhandahålla god kvalitet på grusväg	Förmedla resurser för att stödja underhåll av grusvägar
Nyckel-aktiviteter	Planering, utförande och uppföljning av underhåll	Koordinering, planering, utförande och uppföljning av underhåll	Främst planering och analys	Förmedla underhålls-resurser och aktiviteter
Nyckel-resurser	Personal, maskiner, kunskap och kompetens	Personal, maskiner, kunskap och kompetens, IT-stöd	Tillståndsdata, kunskap och kompetens	IT-arkitektur
Nyckel-partners	Grus-leverantörer, förmedlings-företag	IT-leveran-törer, grus-leverantörer, förmedlings-företag	IT-leverantörer, experter inom tillstånds-övervakning och analys	Entreprenörer, IT-leverantörer
Kund-segment	Kommuner, skogsägare, övriga	Kommuner	Kommuner, skogsägare	Kommuner, skogsägare, övriga
Kund-relationer	Avtalsbaserat, personligt (telefon/mail), lång och kort sikt	Avtalsbaserat, långsiktigt	Avtalsbaserat, långsiktigt	Icke-person-ligt, främst kortsiktigt

Komponent	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
Kanaler	Upphandlings-system för offentlig budgivning, Kundnätverk, Annons i lokaltidning, Facebook, m.m.	Upphandlings-system, Kund-nätverk	Upphandlings-system, Kund-nätverk	Främst digitala kanaler på regional och/ eller nationell nivå
Kostnads-strukturer	Direkta underhålls-kostnader, indirekta kostnader beräknade enligt schablon	Direkta underhålls-kostnader, indirekta kostnader beräknade enligt schablon	Direkta underhålls-kostnader, indirekta kostnader, eventuell risk-överförings-schablon	Tjänste-baserade kostnader, eventuell risk-överförings-schablon
Intäkts-strömmar	Utförande-entreprenad, Fastpris / timpris / takpris	Utförande-entreprenad, Fastpris / timpris / takpris	Funktions-entreprenad, Fastpris / timpris / takpris	Fastpris / timpris / takpris på tjänsten som förmedlas

De olika scenarierna kan tolkas som nivåer vad gäller strategisk tänkande, grad av digitalisering, typ av kompetensbehov och samverkansmöjligheter. Värdeerbjudandet i scenario 1 och 2 är varianter av traditionell underhållsentreprenad baserat på detaljerade specifikationer, medan scenario 3 fokuserar på objektet som ska underhållas och dess funktion, och scenario 4 på tjänsteförmedling för att uppnå nytta för kund. Alla scenarier är tydligt förankrade i den specialistkunskap och de underhållsresurser som finns tillgängliga, men fokus blir alltmer på intellektuella resurser ju längre åt höger vi kommer i tabellen; i scenario 1 och 2 är maskiner och personal för utförande av

underhåll nyckelresurser, medan IT-stöd och kompetens är nyckelresurser för scenario 3 och 4. Kompetensbehovet blir därmed alltmer fokuserat på analytisk förmåga och digital kompetens. Den digitala kompetensen behövs dels hos företaget som utför och/eller förmedlar underhåll, dels hos kunden som köper tjänsten, se Figur 20. För scenario 1 och 3 krävs relativt låg digital kompetens hos externa parter, medan scenario 2 och 4 innebär högre digital mognad och kompetens att hantera IT-stöd. För företaget som utför eller förmedlar underhåll krävs hög digital kompetens för scenarierna 2 och 4.



Figur 21. Digital mognad som en förutsättning för samverkan

Tankar om framtiden

Teknikutvecklingen är en möjliggörare i form av gemensam informationsdelning och systemstöd som effektiviserar olika underhållsprocesser och beslutsfattandet, men även de smartaste tekniklösningarna kräver rätt organisatoriska och mänskliga förutsättningar. Ibland går utvecklingen framåt eftersom "rätt" tekniklösning råkar finnas på plats, och i andra fall måste "rätt" förhållanden först infinna sig för att en viss tekniklösning ska slå igenom. Vi borde alltså arbeta parallellt med att utveckla nya lösningar och skapa rätt förutsättningar för dessa lösningar. Detta når vi genom samverkan inom forskning och utveckling. Om forskare, teknikutvecklare och behovsägare samverkar i innovationsarbetet kommer förhoppningsvis lösningarna vara bättre anpassade efter behovet som finns. Beslutsfattare och andra intressenter som har förmågan att påverka måste också samverka med behovsägare, så att hinder och problem kan byggas bort eller minskas. Det är då affärsekosystemtanken kommer till sin rätt - att som enskild aktör försöka driva igenom förändring kan vara tungrott, men ju fler som ser nytta med förändringen, ju enklare kan förändringsarbetet ske.

Det här är hållbart underhåll av grusväg

Hållbarhetsbegreppet berör aspekterna miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet, och samverkan dem emellan. Hållbart underhåll av grusväg kan uppnås utifrån dessa aspekter. I projektet Hållbart underhåll av grusväg har vi kommit fram till följande slutsatser.

För att uppnå miljömässig hållbarhet krävs:

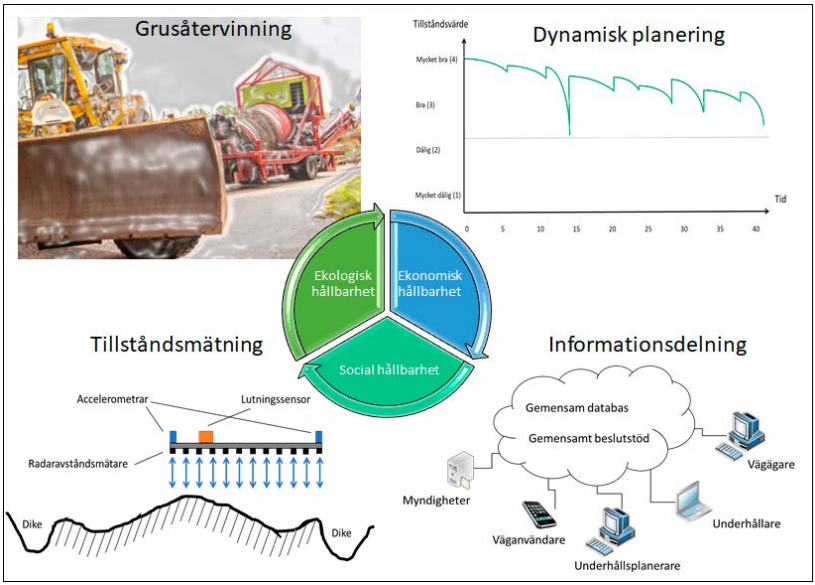
- Minskat uttag av naturresurser, t.ex. genom återvinning av grus
- Minskade transportkostnader, t.ex. genom minskad materialtransport, dynamisk underhållsplanering och koordinering av underhåll

För att uppnå ekonomisk hållbarhet krävs:

- Kontinuerlig översyn och underhåll av vägar, t.ex. genom tillförlitlig övervakningsteknologi och effektiv underhållsplanering
- Dynamisk planering av underhåll, vilket kan uppnås genom tillståndsbaserat underhåll
- Resurseffektivitet, t.ex. genom koordinering av underhållsresurser och underhållsplanering

För att uppnå social hållbarhet krävs:

- Informationsdelning och samverkan mellan olika intressenter



Figur 22. Hållbart underhåll av grusväg - en sammanfattande bild av projektets erfarenheter

Hållbart underhåll av grusväg innebär underhåll som är ekonomiskt och miljömässigt effektivt och samtidigt bidrar till en levande landsbygd. För att uppnå detta krävs ett systemtänkande, där både de enskilda delarna och systemet i stort får fördelar med ett förändrat arbetssätt. Det ska alltså finnas goda incitament för de parter som är inblandade, och win-winsituationer mellan parter. Detta kan uppnås med nya tekniska och digitala lösningar samt nya sätt att samverka, men man måste även beakta de hinder och risker som finns. En viktig nyckelaspekt är gemensam informationsdelning, men denna delning måste ske så att känsliga data inte sprids och orsakar integritetsproblem. Molnbaserade systemlösningar är ett sätt att uppnå detta, där varje part äger sin

egen verksamhetskritiska information medan gemensam, öppen information finns tillgänglig på nätet, och samma systemlösning stödjer även säker delning av information mellan parter för att underlätta samordning och samverkan.

Vi har i detta projekt visat att tillståndsövervakningsinformation kan samlas in på tillförlitligt och kontinuerligt vis, och denna information bör finnas tillgänglig i öppna databaser för alla att ta del av. Vi har även gett exempel på hur molnbaserade administrativa system kan effektivisera och koordinera underhållet hos enskild part men även mellan parter. Enkla men samtidigt kraftfulla verktyg behövs för att underlätta det dagliga och mer långsiktiga beslutsfattandet. Genom tillgång till reella vägförhållanden kan planeringen bli mer dynamisk. Nya affärsmodeller som baseras på teknikutveckling och digitalisering möjliggör funktionsentreprenad där fokus skjuts från underhåll till vägkvalitet och dess bevarande. Digitaliseringen öppnar även upp för helt nya roller för en underhållsentreprenör, där fokus ligger på samordning och förmedling av resurser snarare än utförande av underhåll. Vi har även visat på att man kan uppnå miljömässiga såväl som ekonomiska fördelar genom återvinning av grus. Återvinning av grus minskar inte endast utnyttjandet av naturresurser, utan leder även till minskat energibehov och, beroende på sättet man utför återvinningen, minskad fordons- och personalbehov. Dessa slutsatser är baserade på projektets utformning och frågeställningar, och ska alltså ses utifrån detta perspektiv. Det finns naturligtvis ett otal andra sätt att definiera vad hållbarhet är, och hur man kan uppnå hållbarhet.

VAHINKO

Presentation av projektdeltagarna

Birgitta Johansson

Rolf Johanssons schakt och Transport AB

Jag har varit delägare i företaget sedan 1989 och arbetar mest på kontoret med bland annat fakturering. I projektet har jag bl.a. informerat om hur man idag hanterar beställningar, avtal, fakturering av grusvägsunderhåll och varit bollplank för att ta fram ett användarvänligt administrativt GRUS-system

Rolf Johansson

Rolf Johanssons schakt och Transport AB

Jag startade upp vårt företag 1977 och har sedan dess arbetat med markentreprenader. Eftersom vårt företag finns på landsbygden i Tingsryds kommun så har grusvägsunderhåll varit en stor del av vår verksamhet. För ca 13 år sedan så började jag använda grusåtervinning vid grusvägsunderhåll och för 6 år sedan så påbörjades vårt arbete med att bygga en grusåtervinningsprototyp. Denna grusåtervinnare, som är döpt till ROLF, blev en del av projektet samtidigt som min långa erfarenhet av grusvägsunderhåll har kommit projektet till nytta.

Alexander Lyrbo

Bryne AB

Ett av mina första projekt som nyexaminerad maskiningenjör på Bryne AB var just designframtagning av grusåtervinnaren ROLF, i samarbete med Linnéuniversitetet, RJ Schakt och Möckeln. I projektet HUG agerade jag fortsatt maskinkonstruktör samt projektledare i frågor gällande grusåtervinnaren ROLF, såsom utveckling och funktionstester men även livscykelanalys av grusåtervinningsmetoder.

Lars Håkansson

Institutionen för maskinteknik, Linnéuniversitetet

Jag har verkat vid Linnéuniversitetet sedan år 2016 som professor. Mina nuvarande forskningsintressen är inom signalanalys, tillståndsövervakning, signalbehandling, analytisk och experimentell modellering av mekaniska och akustiska system, fjärrstyrda laboratorier. Jag har ett stort intresse för att utveckla ny teknik och forskningen i samarbete med industrin. I detta projekt har jag arbetat med att ta fram mätsystem och algoritmutveckling.

Jaime Campos

Institutionen för informatik, Linnéuniversitetet

Jag är docent vid Institutionen för informatik på Linnéuniversitetet. Jag har varit involverad i flera projekt relaterade till Informationssystem och teknologi inom industriområdet och har dessutom varit författare och medförfattare till flera

forskningsartiklar inom både industri- och e-hälsoområdet. Min forsknings- och undervisningserfarenhet omfattar ämnen såsom strategisk planering för informationssystem, digital kapacitet och transformation, beslutsstödsystem samt data och analys.

Mirka Kans

Institutionen för maskinteknik, Linnéuniversitetet

Jag har verkat vid Linnéuniversitetet sedan år 2000 som undervisande lärare och som programansvarig kombinerat med forskarutbildning och forskning. Förutom undervisning och forskning är jag intresserad av pedagogiska utvecklingsfrågor. Min forskning är främst inriktad på data- och IT-behov för underhållsstyrning, samt hur man kan stödja underhåll med hjälp av IT för att uppnå kostnadseffektivitet. I detta projekt har jag i första hand arbetat med informations- och systemmodellering samt samverkans- och affärsmodeller. Jag har även varit forskningsledare, och alltså den som hållit samman de forskningsrelaterade delarna.

Simon Thulin, Teknisk projektledare

Zenta AB

Jag har sedan början av 2020 axlat rollen som teknisk projektledare hos Zenta AB. Även om jag inte varit en del av detta projekt sedan dess uppstart, så har min roll likt i många andra projekt varit att analysera det tekniska behovet och de förutsättningar som finns. För att tillsammans med mina medarbetare skapa en lösning som med hänsyn dessa förutsättningar skapar värde.

Jesper Tullberg
Zenta AB, Teknisk chef

Håkan Arvidsson
VTI (Statens väg- och transportforskningsinstitut)
Jag har arbetat med vägmaterial (främst obundna), med provtagning och provning sen 1980-talet. Mycket av arbetet har gjorts inom olika forskningsprojekt. Mina roller inom dessa projekt är både som projektledare och/eller -deltagare. Sen 2014 är jag Laboratorieansvarig för VTIs vägmateriallaboratorium. Jag har en akademisk examen som Bergmaterialingenjör (2007). I detta projekt har jag främst bidragit i krav- och provningsfrågor inklusive råd om provtagning. Den provning som utförts på (återvunnet) grusvägsmaterial har utförts på VTI.

Annelie Carlsson
Linköpings universitet
Jag har lång erfarenhet av att forska inom energi- och resurseffektivitet. I dagsläget är jag verksam på Linköping universitet, där jag ansvarar för att göra ekonomiska och miljömässiga utvärderingar. Innan dess var jag på VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, där jag forskade inom energi och miljö avseende transporter och infrastruktur. I detta projekt har jag fokuserat på miljöaspekten av att återanvända grus vid grusvägsunderhåll och har ansvarat för att göra en livscykelanalys om detta.

Lästips

Grusvägar och dess underhåll generellt

Denna handbok är en bra översikt över svenska grusvägar och dess underhåll:

- Sveriges kommuner och landsting, Mer grus under maskineriet - Handbok för tillståndsbedömning och underhåll, 2015.

Detta är en gedigen sammanfattning av praktik och forskning inom området grusvägsunderhåll:

- Hossein Alzubaidi, Drift och underhåll av grusvägar - litteraturstudie, VTI meddelande 852, 1999.

Skogskunskap är en guide och rådgivare för skogsägare. Här kan man även hitta lättläst och pedagogisk information om grusvägar och dess underhåll:

- www.skogskunskap.se

ROADEX -nätverket är ett samarbete mellan nordeuropeiska organisationer vars mål är att dela information och forskning. Du kan ta del av detta på följande hemsida:

- www.roadex.org

Tillståndsövervakning och bedömning

Nationellt kravdokument för bedömning av grusväglag:

- Trafikverket, Bedömning av grusväglag, TDOK 2014:0135, 2014.

En studie kring tillståndsbedömning och utvärdering av befintliga metoder för svenska förhållanden:

- Karin Edvardsson, Thomas Lundberg och Leif Sjögren, Objektiv mätmetod för tillståndsbedömning av grusväglag, VTI rapport 863, 2015.

En sammanfattning av resultaten från projektet ROADEX II med fokus på övervakning av lågtrafikerade vägar:

- Timo Saarenketo, Övervakning av lågtrafikerade vägar, Praktiskt sammandrag, 2006.

Hållbarhet och hållbar utveckling

De globala hållbarhetsmålen enligt Agenda 2030 beskrivs här:

- www.globalamalen.se

Publikationer inom projektet

- Nada Abbas, Information needs of gravel roads stakeholders: A case study to elicit the requirements of future users of a cloud-based information system (Magisteruppsats), Växjö: Institutionen för informatik, Linnéuniversitetet, 2020.

- Nea Svensson, Beräkningsmodell för ekonomiska och miljömässiga effekter vid grusvägsunderhåll (Uppsats högskoleingenjör), Växjö: Institutionen för maskinteknik, Linnéuniversitetet, 2020.
- Annelie Carlsson, Miljöbedömning av att återanvända grus vid underhåll av grusvägar, Linköping: Linköping University Electronic Press, 2021.
- Mirka Kans, Jaime Campos och Lars Håkansson, Current practices and new approaches within condition monitoring of gravel roads. International Journal of COMADEM. 23. 3-8, 2020.
- Mirka Kans, Jaime Campos och Lars Håkansson, Condition Monitoring of Gravel Roads: Current Methods and Future Directions. Advances in Asset Management and Condition Monitoring. Smart Innovation, Systems and Technologies: COMADEM 2019. Springer. 451-461, 2020.
- Jaime Campos, Mirka Kans och Lars Håkansson, Information System Requirements Elicitation for Gravel Road Maintenance: A Stakeholder Mapping Approach. Advances in Asset Management and Condition Monitoring. Smart Innovation, Systems and Technologies: COMADEM 2019. Springer. 377-387, 2020.
- Mirka Kans, Jaime Campos och Lars Håkansson, An ICT system for gravel road maintenance – Information and functionality requirements, International Congress and Workshop on Industrial AI 2021, Luleå October 6-7, 2021.

Kontakt

Mirka Kans, Docent

Linnéuniversitetet
Fakulteten för teknik,
Institutionen för maskinteknik
351 95 Växjö

Växel: 0772-28 80 00
Tel: 0470-708488
E-post: mirka.kans@lnu.se

Linnéuniversitetet