

-en Least Cost Distance analysis

[illegible]

(Figur 1).

Innehåll

Inledning	4
Syfte.....	4
Frågeställning.....	4
Disposition.....	4
Teori.....	4
Metod och data	5
Utgångspunkter	5
Insamling och lagring.....	5
Bearbetning och Analys	6
Grundläggande bearbetning av data	6
Georeferering och digitalisering.....	7
Viktningsstabell & Weighted overlay	7
Modelbuilder.....	10
Cost path analysis (Cost distance & Cost path).....	12
Visualisering	12
Figur 5.....	12
Figur 6.....	12
Figur 7.....	13
Resultat.....	14
Diskussion	17
Källförteckning.....	19
Referenser.....	19
Figurförteckning.....	19

Inledning

På 1960-talet fanns planer på att bygga en stadsbana / snabbspårväg i tunnlar under centrala Göteborg. Planerna redovisas i Snabbspårvägsutredningen från 1967. Utredningen innehåller bland annat geologiska undersökningar och förutsättningar för detta projekt samt kartor med planerade linjesträckningar och stationer (Stadsbyggnadskontoret 1967).

Med inspiration från Snabbspårvägsutredningen och de tunneldragningar som föreslagits i utredningen fanns ett nyfikenhet behov av att se över ett lämpligt analysverktyg som kunde stödja eller hitta alternativa lösningar till dessa sträckningar. Utgångspunkterna är de stationslägen som föreslagits i utredningen. Analysen har gjorts från station till station med hjälp av en "*Cost Path Analys*" utifrån ett antal parametrar som: 'jorddjup', 'jordart', 'vägnät' samt 'bebyggelse'.

Syfte

-Att med kartan från 1967:års snabbspårvägsutredning som grund utreda möjliga / alternativa underjordiska linjedragningar i dagens Göteborg utifrån bland annat jorddjup, markförhållanden och bebyggelse.

-Att undersöka möjligheter och brister med användandet av verktyget cost path analysis vid planläggning av ny kollektivtrafik i tunnel.

Frågeställning

Hur användbar är en *Cost Path Analys* vid analys av olika geologiska datalager för att hitta lämpliga områden / sträckningar för byggnation av kollektivtrafik i tunnel under befintlig stadsbebyggelse?

Disposition

Rapporten kommer i kapitlet *teori* kortfattat beskriva vad en cost path analys mynnar ut i samt vilken data, bearbetning av data och vilka verktyg som krävs för att kunna genomföra analysen. Därefter följer kapitlet *metod och data* i vilket en redovisning görs av den data som använts och de bearbetningar som gjorts. Här redovisas även arbetsprocessen med de olika verktygen och visualiseringen av resultatet. I kapitlet *resultat* följer en redovisning av det visualiserade resultatet från analysen vilket också jämförs med förslaget från 1967 års utredning. I kapitlet *diskussion* behandlas för- och nackdelar med de tillvägagångssätt som lett till resultatet med "*Cost path analysis*" samt egna reflektioner och tankegångar som präglat arbetsprocessen och resultatet av analysen.

Teori

"*Cost path analysis*" analyserar den "billigaste" dragningen av en linje genom ett raster (ArcGIS Help A u.å.). För att kunna genomföra en "*Cost path analysis*" används verktygen "*Cost Distance*" och "*Cost Path*". De behöver matas med information om t.ex källa och destination för att kunna dra en linje från "A" till "B", dessutom behövs ett "kostnadsunderlag" för att veta vilka cellvärden mellan "A" och "B" som är lämpligast att passera. För att skapa kostnadsunderlaget behöver alla dataskikt slås samman till en och samma rasterfil. Detta görs i verktyget "*Weighted overlay*"

(*multikriterieanalys*)” i vilket även en viktning av de olika datalager som används görs. Det är med andra ord värdet varje cell får efter viktningen i Weighted overlay som blir avgörande för hur cost path analysis drar linjen. Celler med låga värden är ur verktygets vinkel lämpliga för linje dragningen (ArcGIS Help A u.å.)

Eftersom weighted overlay enbart hanterar rasterdata behöver data i vektorformat först konverteras till raster med verktyg som t.ex. *“Polygon to raster”* eller *“Feature to raster”*. När all data konverterats till raster behöver de omklassificeras eftersom *“Weighted overlay”* endast accepterar heltal i raster som indata, detta görs med verktyget *“Reclassify”*. Innan detta görs kan datan beroende på utgångsläge behöva bearbetas på olika sätt. Till denna undersökning användes till exempel en analog karta som först behövde *“georefereras”* och *“digitaliseras”* innan den konverterades till raster.

Processen för att kunna producera en Cost path analysis kan ställas upp så här:

Insamling → Bearbetning → Vektor till raster → Reclassify → Weighted overlay → Cost Distance → Cost Path = Cost path analysis

Metod och data

Utgångspunkter

Placeringen av stationerna är densamma i denna undersökning som i utredningen från 1967, dock är det undersökta området begränsat till de områden som i 60-talsuttredningen går i tunnel under centrala delen av Göteborg. I förslaget från 1967 fortsätter linjerna i marknivå utanför stadens mest centrala delar, precis som de gör i Stockholms tunnelbana (Stadsbyggnadskontoret 1967).

Denna undersökning har utgått från samma lösning för att bygga tunnlar i lera som Trafikverket valt för Västlänken liksom Snabbspårvägsutredningen valde på 1960-talet, det vill säga tunnlar byggas i öppna schakt (Trafikverket 2019 A).

Insamling och lagring

Nedanstående tabell (*figur 2*) listar den data som använts till undersökningen och visar filens ursprungliga namn, vart den hämtats och vem som sammanställt (äger) materialet. Kategorin *“bearbetad till analyslager”* anger det namn som fortsättningsvis används på materialet i denna undersökning.

Både Lantmäteriet och Sveriges geologiska undersökning (SGU) är statliga myndigheter. I Lantmäteriets uppdrag ingår att upprätthålla och uppdatera de nationella referenssystemen och rikstäckande geodata (Harrie 2013). I SGU:s uppdrag ingår att tillhandahålla geologisk information för samhällets behov på kort och lång sikt (SGU 2019 B). Den hämtade datan bedöms därmed ha hög validitet.

Samtliga data har lagrats i en personlig geodatabas i ArcCatalog och säkerhetskopierats mot en extern usb-enhet. En nackdel som kom att upptäckas under arbetets gång var att en personlig geodatabas inte har stöd för *“Output distance raster”* som genereras i verktyget *“Cost Distance”*. Detta resulterade i att en mapp utanför det mappstruktursystem som använts fick skapas för att lagra de raster som skapades i samband med *“Cost Distance”*.

Ursprunglig data:	Hämtad från:	Ägare:	Bearbetad till analyslager:
<i>Jorddjupsmodell raster</i>	maps.slu.se	Sveriges Geologiska Undersökning	<i>Jorddjup</i>
<i>Jordarter 1:25 000 – 1:100 000 vektor</i>	maps.slu.se	Sveriges Geologiska Undersökning	<i>Jordart</i>
<i>Fastighetskartan bebyggelse vektor</i>	maps.slu.se	Lantmäteriet	<i>Bebyggelse</i>
<i>Terrängkartan vektor</i>	maps.slu.se	Lantmäteriet	<i>Vägar</i>
<i>Linjekarta, alternativ Stadsbana med två linjer</i>	Snabbspårvägsutredningen 1967.	Stadsbyggnadskontorets generalplaneavdelning, Göteborg	Ett flertal lager med linjenät och stationer.
Ursprunglig data:	Hämtad från:	Ägare:	Använd till:
<i>Terrängkartan vektor</i>	maps.slu.se	Lantmäteriet	Bakgrund vid georeferering och samt till visualisering av resultat.

Figur 2

Bearbetning och Analys

Grundläggande bearbetning av data

All den data som använts till analysen har på olika sätt bearbetats för att skapa lager relevanta för analysen. Nedan listas de första grundläggande bearbetningar som gjordes av de hämtade datalagren och vilka lager som skapades ur dessa.

Samtliga datalager har klippts efter den yta som undersökts, ett rektangulärt område med Krokslätt som yttersta station i söder, Vidkärr i väster, Gamlestaden i nordost, Bjurslätts Torg i nordväst och Mariaplan i väster.

Jorddjup (källa: SGU jorddjupsmodell raster)

Jorddjupet anger hur långt ner berggrunden är i förhållande till markytan. SGU:s jorddjupsmodell levererades dels som punktvektorlager, dels som färdigt raster med cellstorlek 10 x 10 meter (SGU 2019 A). Rasterlagret användes och dess cellstorlek fick bli styrande när övriga lager konverterades. Rastret klassificerades i tio klasser med *manual* som klassifikationsmetod. Genom manuell klassificering kunde jämna djup- och höjdklasser skapas som utgick från värdet noll, det vill säga markytan. Negativt värde i skalan är djup, positivt värde är höjd på berg över markytan. Till en början nyttjades även jorddjupsmodellen till att skapa en sluttningsmodell med "Slope"-verktyget. I ett tidigt stadiet identifierades det som ett behov för att komplettera analysen, sluttningsmodellen uteslöts dock senare i arbetsprocessen då den bedömdes vara irrelevant.

Jordart (källa: SGU jordarter 1:25 000 - 1:100 000 vektor)

Jordartslagret har bearbetats i flera steg. Filen jordart_25_100_jg2 klassificerades efter jordtyp och

rensades sedan på de klasser som inte fanns representerade i det undersökta området. Kvarvarande marktyper grupperades sedan till torv, sand och grus, morän, vatten, berg, lera och fyllning. Denna gruppering följde dock inte med till reclassify-verktyget där de separerats. Sist konverterades lagret till raster med cellstorlek 10 x 10 i verktyget polygon to raster.

Bebyggelse (källa: Lantmäteriet Fastighetskartan bebyggelse vektor)

Ett lager med bebyggelse skapades ur polygonfilen by_get.shp. Filen klassificerades inte utan innehåller alla typer av bebyggelse i ett lager.

Bebyggelselagret överlagrades sedan med jordartslagret för att få ett lager som redovisade vilken typ av grund bebyggelsen stod på. Detta gjordes genom att i jordartslagrets attributtabell använda "select by attributes" för att markera vardera jordtyp och därefter använda klippverktyget under geoprocessing-menyn för att spara de kombinerade lagren som ett nytt. Det kombinerade lagret konverterades sedan till raster med cellstorlek 10 x 10 i verktyget polygon to raster.

Vägar (källa: Lantmäteriet Terrängkartan vektor)

Ett lager med vägar och gator skapades ur linjefilen vl_14.shp. Filen klassificerades aldrig utan innehåller alla vägar och gator i ett lager. Lagret konverterades sedan till raster med cellstorlek 10 x 10 i verktyget feature to raster.

Visualiseringsdata

Till visualiseringen har i några fall ytterligare data än ovanstående lager använts. Denna kommer från samma hämtning av Terrängkartan som nämnts ovan. Samma data användes även som bakgrund vid georeferering och digitalisering av den äldre linjenätskartan.

Georeferering och digitalisering

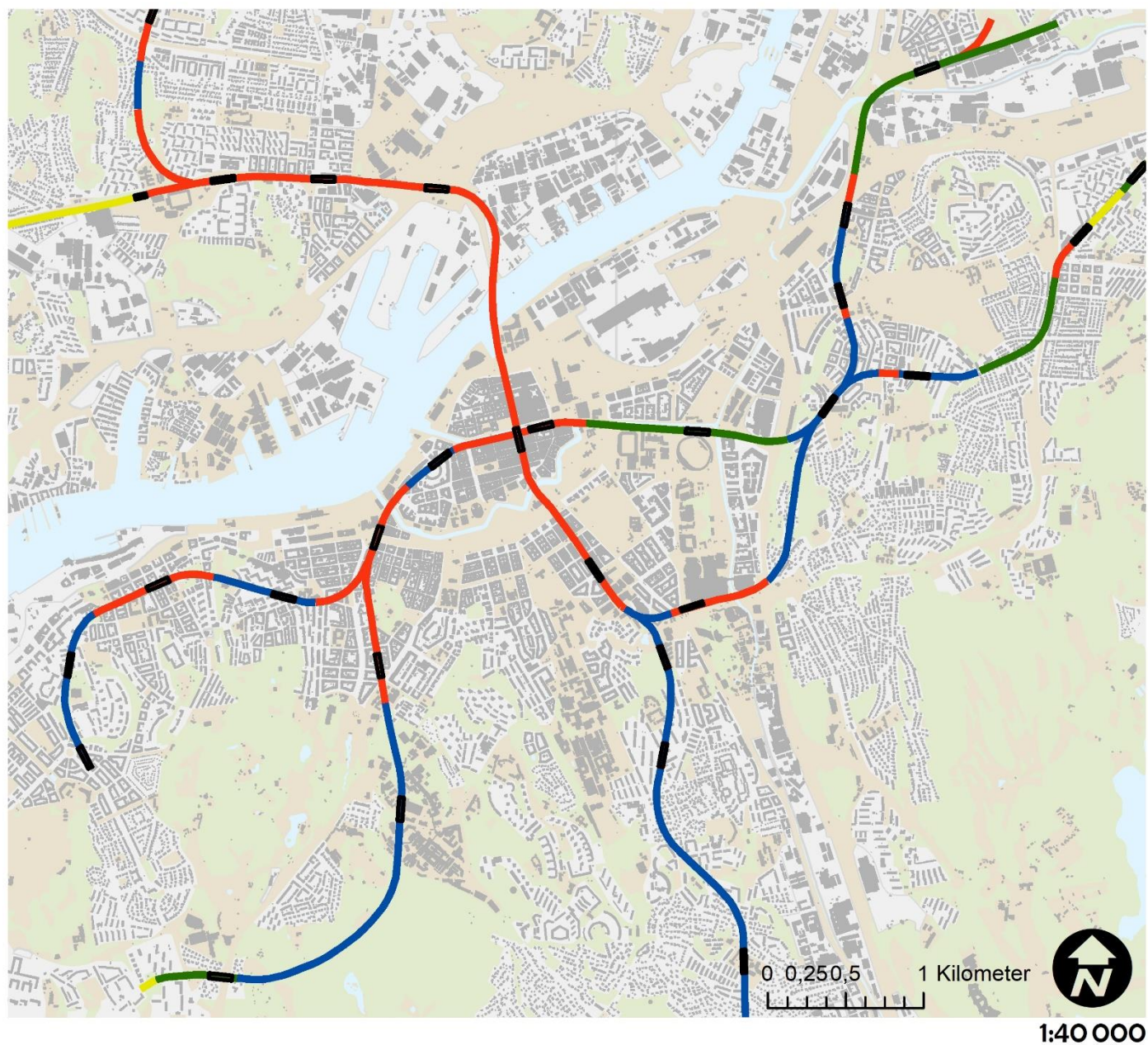
Kartan från 1967 (figur 1) har använts som grundunderlag för hela arbetsprocessen. Georeferering har genomförts genom att placera ut ett antal passpunkter så nära hörnen som möjligt samt fyra passpunkter format som en kvadrat centralt i kartan, detta har matchats gentemot den bebyggelse som står på samma plats idag som den gjorde 1967. Kartan har sedan rektifierats vilket innebär att det skapats ett rasterdataset av den ursprungliga kartan. Detta har möjliggjort en noggrann georeferering som skapat goda förutsättningar för att digitalisera in de element som ligger till grund för analysen. Digitalisering innebär att en källa vars ursprungsdata inte är digital omvandlas till en digital källa (Harrie 2013).

För att kunna digitalisera in ny data har nya shapefiler skapats, dessa filer har lagrats i den mappstruktur i den personliga geodatabasen som skapats och använts under arbetsprocessen. Eftersom det är olika former av data som skall digitaliseras såsom linjer, polygoner och punkter behöver olika typer av shapefiler skapas. "Editor"-verktyget används för att dra linjer, skapa punkter och rita ut polygoner (Law & Collins 2013). Linjerna representerar de föreslagna tunnlarna/banorna. Stationerna har digitaliserats till ett punktlager per station för att passa verktygen "Cost Distance" och "Cost Path" som möjliggör en "Cost path analys". I figur 3 (se nästa sida) har även de rektanglar som symboliserar stationslägen i linjenätskartan från 1967 digitaliserats till rektangulära polygoner.

Nästa sida. Figur 3. Visualisering av georefererad och digitaliserad data. Jämför med figur 1 på framsidan.

Figur 3

RESULTAT GEOREFERERING & DIGITALISERING



Teckenförklaring

Befintlig bana

Öppen bana

Jordtunnel

Bergtunnel

Station

Öppen mark

Bebyggelse

Industriområde

Skog

Vatten

Viktningstabell & Weighted overlay

För att skapa en överblick över de kriterier som används i multikriterieanalysen har en viktningstabell enligt bifogad *figur 4* (se nedan) skapats i Excel. Syftet med tabellen är att väga, analysera och fastställa varje kriteriers inflytande för att skapa ett lämpligt underlag inför vidare analys med "Cost path analysis". Underlaget har därmed för avsikt att matas i verktyget "Weighted overlay", ett verktyg som används för att foga samman flera dataskikt till en multikriterieanalys.

Kriterie	Kategori	Värde från reclassify	Vikt	Influence %
Jorddjup (m)				19
	-119 - -100	1	10	
	-100 - -70	2	10	
	-70 - -30	3	3	
	-30 - 0	4	1	
	0 - 30	5	1	
	30 - 70	6	2	
	70 - 100	7	3	
	100 - 130	8	4	
	130 - 170	9	10	
	170 - 211	10	10	
	NoData	NoData	5	
Bebyggelse				
	Torv	0	6	5
	Torv	1	6	
	No Data	No Data	1	
	Sand-Grus	0	3	9
	Sand-Grus	1	3	
	No Data	No Data	1	
	Lera	0	7	20
	Lera	1	7	
	No Data	No Data	1	
	Fyllning	0	6	7
	Fyllning	1	5	
	No data	No Data	1	
	Morän	0	5	7
	Morän	1	5	

	No Data	No Data	1	
Jordart				14
	Torv 1	0	6	
	Torv 2	1	6	
	Sand & Grus 9	2	4	
	Sand & Grus10	3	4	
	Morän 16	4	5	
	Vatten 26	5	5	
	Sand & Grus35	6	4	
	Morän 38	7	5	
	Berg 121	8	2	
	Lera 134	9	9	
	Lera 212	10	9	
	Lera 221	11	9	
	Lera 227	12	9	
	Lera 916	13	9	
	Fyllning 921	14	4	
	NoData	NoData	1	
Vägar				19
	Vägar	0	1	
	Vägar	1	1	
	No Data	No data	3	

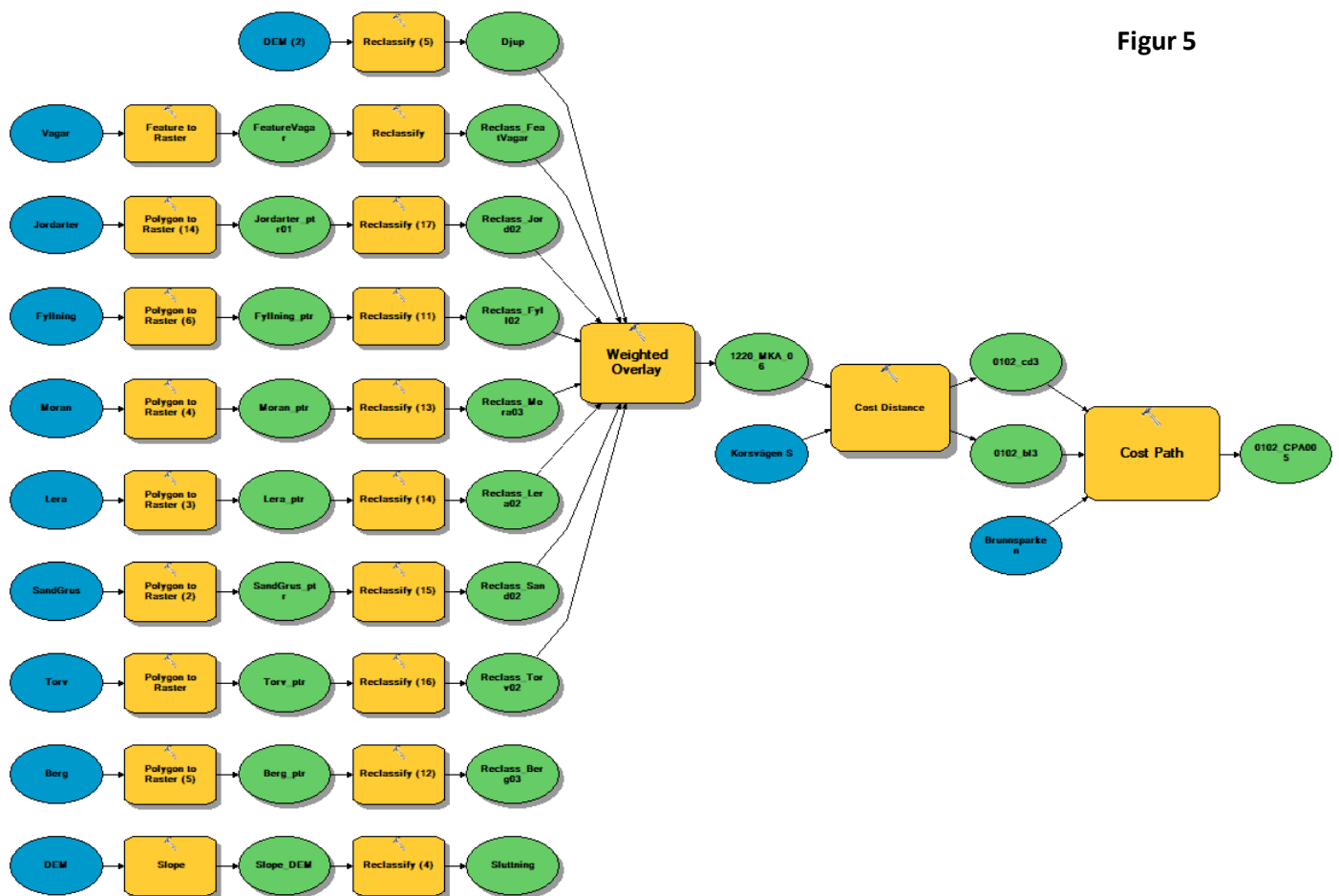
Alla kriteriers unika kategori har tilldelats ett värde som viktats i en skala mellan 1 till 10 där 1 symboliserar det billigaste värdet och 10 det dyraste. I en lämplighetsanalys hade 10 representerat det mest lämpliga resultatet men för en "Cost path analysis" är det tvärtom eftersom resulterande linje från "A" till "B" bör dras genom celler som innehåller lägst värde (ArcGIS Help A u.å.). Eftersom "Weighted overlay" endast accepterar heltal som indata har varje kriteries kategori senare reklassificerats med verktyget "Reclassify" vars värde senare noterats i viktningstabellen (ArcGIS Help C u.å.).

Högst procentuell influens har det mergade lagret med bebyggelse som står på lera. Anledningen till detta beror på att det till största möjliga mån skall undvikas att dra tunnlar under bebyggelse ståendes på lera eftersom tunnlar i leran med största sannolikhet behöver byggas i schakt. För att öka möjligheterna att dra tunnlar i områden med tät lera har därför vägdatagret fått en hög procentuell influens. Att bygga schakt längs med befintlig väginfrastruktur får anses vara mer lämpligt än att riva befintlig bebyggelse. Trafikverket kallar tekniken "cut-and-cover-teknik", det vill

såga att tunneln byggs genom att gräva sig ner uppifrån, gjuta tunneln i det öppna schaktet och därefter fylla igen hålet (Trafikverket 2019 A). Denna metod kräver alltså att tunnelpartier i lera dras där det inte finns bebyggelse rakt ovanför tunneln då denna annars måste rivas för att kunna gräva schakten. Att bygga i berg är många gånger smidigare då det kan göras utan att ytan påverkas (Trafikverket 2019 B). Det är alltså väsentligt för en undersökning som denna att ta hänsyn till jorddjup och markförhållanden så att verktyget föreslår en sträckning som inte går under bebyggelse där grunden är lera, men samtidigt inte undviker att dra sträckningen under bebyggelse som vilar på berggrund och i övrigt föreslår en väg genom berg framför lera där det är möjligt sett till stationernas placering. Jorddjupslagret har därmed tilldelats en hög influens eftersom det är en fundamental parameter att ta hänsyn till i ett tunnelbygge. Övriga kriterier såsom bebyggelse på specifik jordart som "Torv", "Sand-Grus" och "Fyllning" har lägre influens eftersom de inte är representerade i lika hög utsträckning som "Berg" och "Lera".

Modelbuilder

För att kunna effektivisera och möjliggöra ett smidigare arbetsflöde har funktionen "Modelbuilder" använts (se figur 5, nedan). Alla lager som skall sammanfogas till en "Weighted overlay"-output läggs till i modellen. Därefter adderas de verktyg från ArcToolbox som skall behandla lagren som t.ex *feature to raster*, *polygon to raster* och *reclassify*. Varje resultat som genereras i modellen läggs på rad i bubblor kopplade till respektive verktyg som nyttjats. Det slutgiltiga resultatet läggs sedermera



Figur 5

till i table of contents för vidare visualisering och analys. Fördelen med Modelbuilder är att det är enkelt att gå tillbaka för att justera eller ändra inställningar utan att behöva göra om hela processen (ArcGis Help C u.å).

Cost path analysis (Cost distance & Cost path)

Med resultatet från "*Weighted overlay*" som grund har möjligheten att genomföra en "*Cost path analysis*" skapats. De stationslägen som tidigare digitaliserats är separata lager som tjänar som underlag för analysverktygen "*Cost Distance*" och "*Cost Path*". I en kombination genererar verktygen ett resultat i form av rasterlinjer från punkt "A" till punkt "B". "*Cost Distance*"-verktyget matas med en källa som i detta fall består av en digitaliserad stationspunkt, samt den rasterdata som skapats i "*Weighted overlay*" som agerar som ett kostnadsunderlag (input cost raster) med celler om 10 x 10m. Utifrån den datan räknas det minst ackumulerade värdet av varje cell ut för att nå närmsta källa. Resultatet genereras i form av ett "*Cost distance raster*" (ArcGis Help D u.å). I detta fall är närmsta källa "*Cost Path*". "*Cost Path*"-verktyget räknar ut minsta möjliga kostnad från en källa till en destination. Det är dessutom beroende av det rasterunderlag som skapats med "*Cost Distance*" för att kunna generera en linje mellan källa ("Punkt A") och destination ("Punkt B") (ArcGis Help B u.å).

Linjen som produceras är en pixelerad rasterlinje. För att möjliggöra en vidare visualisering av linjen behöver den konverteras från raster till en "polyline", detta har gjorts med hjälp av verktyget "Raster to polyline".

Visualisering

Varje karta är ett resultat av de bearbetningar och verktyg som använts. Här nedan följer närmare beskrivningar av de visualiseringar som gjorts i samtliga kartor.

Figur 3

"Figur 3" (se sida 8) är resultatet av den georefererade och digitaliserade kartan i skala 1:40 000. Med en transparent markanvändning som bakgrund ämnar den visuella hierarkin att framhäva det digitaliserade linjenätet med tillhörande stationer. Typ av tunnel/bana är visualiserat med varsin enskild färg, bergtunnel i blått, jordtunnel i rött, befintlig snabbspårväg grönt och öppen bana i gult. Syftet med färgläggningen är att tydligare särskilja de olika tunnel och bansträckningar som den ursprungliga kartan från 1967 delats upp i. Övriga färgval för markanvändning återges i en teckenförklaring. Nordpil och skala är placerat i nedre högra hörnet.

Figur 6

"Figur 6" (se sida 14) är en kombination av två resultat i en karta i skala 1:40 000, samt en lite mindre separerad övergripande karta över de linjer som producerats med "*Cost Path Analysis*". Multikriterieanalysen tar störst plats och ligger som ett visuellt kostnadsunderlag för var och hur det är billigast alternativt dyrast att bygga tunnlar enligt alla samlade kriterier. Vad gäller val av färger bör vanligtvis en stark röd färg symbolisera det sämsta alternativet och grönt det bästa (Harrie 2013), i denna kartas fall blir det dock enklare att läsa av med ett motsatt färgschema än det traditionella.

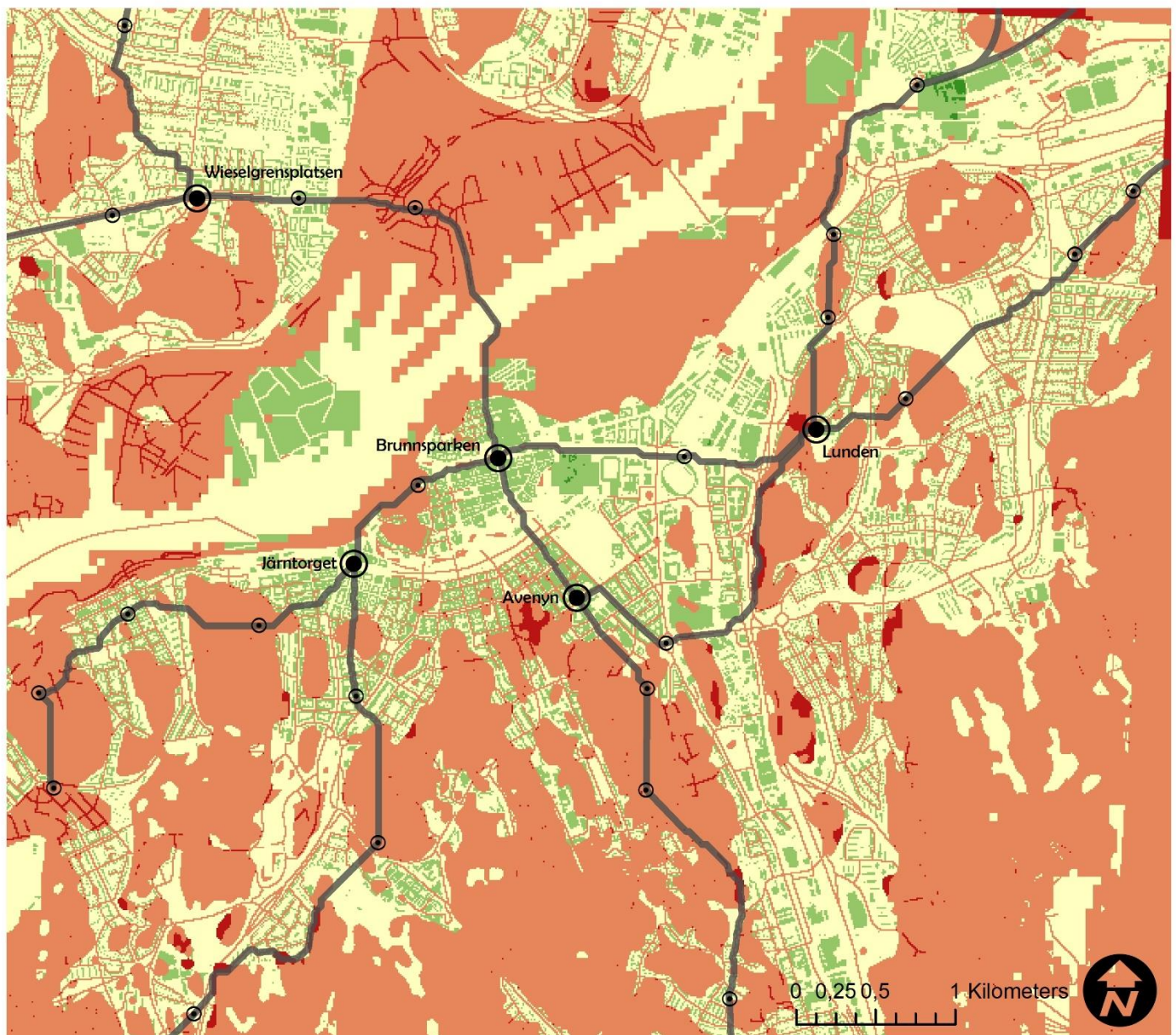
Teckenförklaringen förtydligar dessutom vad de olika färgerna står för. Linjerna och stationerna är färglagda i svart och transparensen i linjerna har sänkts för att tydligare analysera i vilka sträckningar de dragits. Nordpil och skala är placerat i nedre högra hörnet.

Figur 7

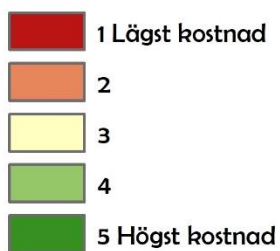
“Figur 7” (se sida 15) är en slutgiltig visualisering av samtliga ingrepp och analyser som gjorts. Den består av en översiktlig visualisering av linjenätet i skala 1:40 000 samt fem mindre inzoomade kartor i skala 1:10 000 med fokus på förgreningsstationer i linjenätet. Markanvändningslagret ligger lätt transparent även i denna karta för att framhäva linjesträckningen. Linjesträckningen består av 6 fiktiva tunnelbanelinjer som utgår från ett par huvudstationer i linjenätet. Bebyggelse, öppen mark, industriområde samt vägar är färglagda i olika gråa toner för att tydligt separera större partier markanvändning som innehar andra starka färger. Skog och vatten är färglagt i typiskt grönt respektive blått. Övriga färgval återges i teckenförklaring, nordpil och skala är placerat i nedre högra hörnet

Figur 6

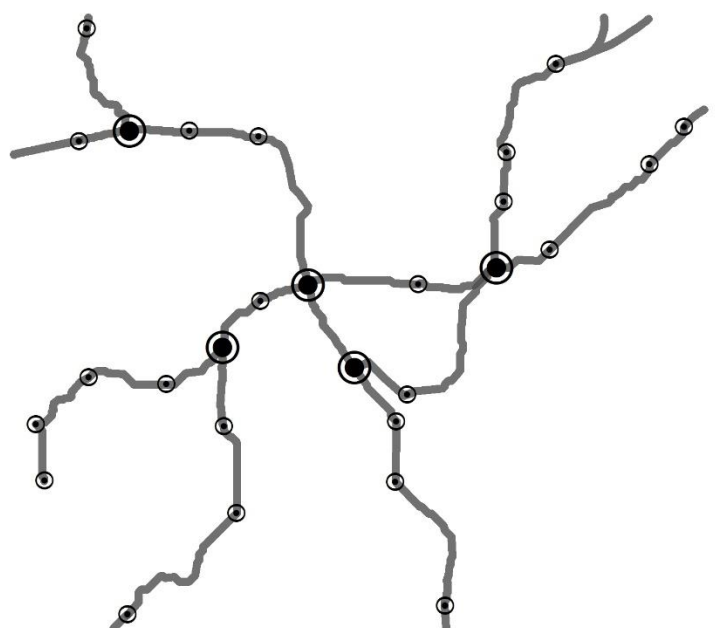
RESULTAT MULTIKRITERIEANALYS & LEAST COST PATH



Multikriterieanalys



LEAST COST PATH ANALYSIS

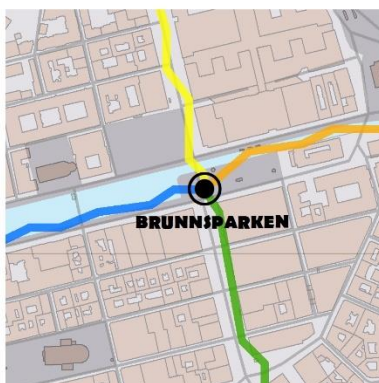
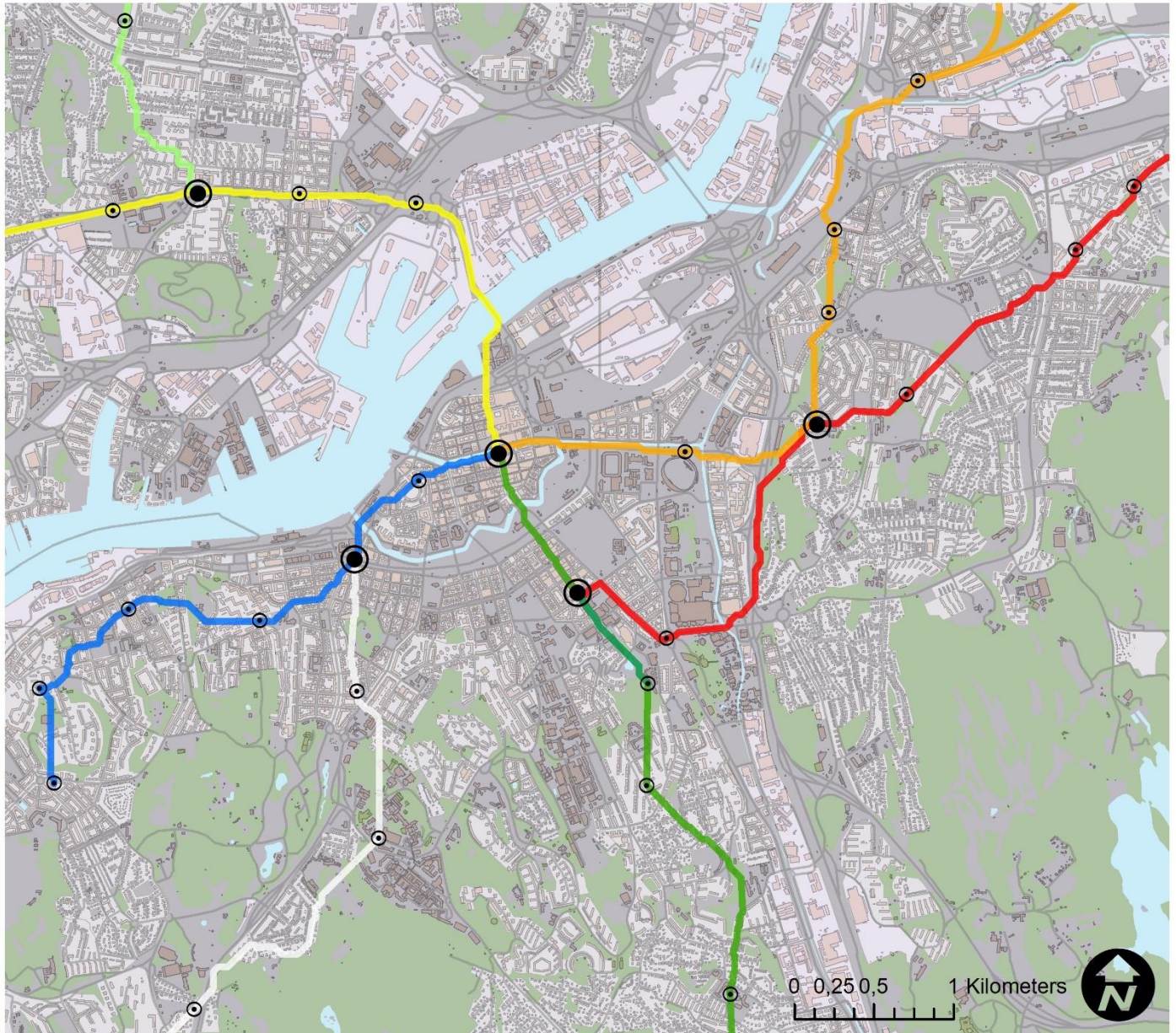


Figur 7

FÖRSLAG TILL LINJESTRÄCKNING FÖR STADSBA NA I TUNNEL ENLIGT COST PATH ANALYSIS

Föreslagna linjenamn & linjefärg

U1 U2 U3 U4 U5 U6 U7



Väg

Markanvändning

- Öppen mark
- Bebyggelse
- Industriområde
- Skog
- Vatten

Bebyggelse

- Bebyggelse

Datakälla: Lantmäteriet

Projektion: Sweref99_TM

Kartografer: Ola Sandberg & Oli Viglundsson

Stora kartan, Skala 1:40 000

Små kartor, Skala 1:10 000

Resultat

Undersökningens fysiska resultat består av ett antal kartor med de linjesträckningar som fått fram genom *cost path analysis*. Det faktum att verktyget presenterat linjer mellan stationspunkterna med en sträckning som tar hänsyn till olika geografiska förutsättningar och förhållanden mellan stationerna visar att förutsättningar finns för att använda verktyget vid undersökning av lämpliga områden för tunneldragning. Hur användbart verktyget är beror dock på flera faktorer som tillgång på bra och relevant data och förmågan att kombinera dessa. Lyckade och mindre lyckade resultat redovisas nedan liksom upptäckta begränsningar i verktyget baserade på resultatet.

I *figur 7 (se föregående sida)* har resultatet från analysen visualiserats. Dels hela det undersökta området, dels förstoringar på de förgreningsstationer som finns inom området. Dessa förstoringar är intressanta att titta närmare på.

Brunnsparken vilar på lera. Här har verktyget helt enligt våra intentioner valt att föreslå en linjedragning som följer vägnätet då byggnation under befintlig bebyggelse är mycket mer komplicerat. Här fungerade den viktning som gjordes i *weighted overlay*-verktyget bra. Förstoringen av *Lunden* visar att verktyget här har valt att mestadels gå under bebyggelsen och inte följa vägnätet vilket även detta är helt enligt intentionen med viktningen eftersom grundförhållanden här består av berg.

Ett mindre lyckat resultat kan studeras vid *Wieselgrensplatsen*. Den gröna linjen följer här vägnätet och sicksackar sig fram mellan husen trots att en lämplig "tunnelkorridor" finns något längre västerut. Anledningen till detta resultat syns tydligt i *figur 6 (se sida 14)* som illustrerar resultatet av multikriterieanalysen och alltså är det raster som ligger till grund för *cost path analysis*. Vägnätet norr om *Wieselgrensplatsen* är orange vilket motsvarar näst billigaste värdeklassen. Anledningen till detta och möjliga lösningar diskuteras i nästa kapitel.

På det stora hela är det linjenät som analysen resulterat i (*figur 6 och 7*) mycket likt det som föreslogs i 1960-talets snabbspårvägsutredning (*figur 1 och 3*). Vid en jämförelse mellan dessa linjenät framkommer dock en påtaglig skillnad. Linjenätet från 1960-talet har inga 90-gradiga hörn eller skarpa svängar så som denna undersöknings linjenät har vid t.ex. Avenyns station i *figur 7*. Något av kantigheten kan skyllas på att den använda rasterstorleken 10x 10 meter varit för grov. 1 x 1 meter hade säkerligen resulterat i mindre kantiga linjer. En större anledning till de 90-gradiga svängarna är dock att det inte finns någon möjlighet att ställa in minsta tillåtna kurvradie i analysverktyget. En sådan funktion hade ökat användbarheten vid den här typen av analys.

Sammanfattningsvis visar undersökningens resultat att en *cost path analysis* ändå är användbart när det kommer till att utreda möjliga linjedragningar i tunnel under stadsbebyggelse. Verktyget bör dock ses som steg i processen att ta fram ett färdigt förslag på linjedragning då dess resultat behöver kompletteras av andra undersökningar och analyser.

Diskussion

Till en början var ambitionen med detta arbete att utgå från dagens geografiska och geologiska förutsättningar och utreda om det idag, med den bebyggelse och infrastruktur som tillkommit sedan 1960-talet hade varit möjligt att bygga hela eller delar av det stadsbanenät i tunnel som föreslogs i snabbspårvägsutredningen 1967. Allt eftersom vår förståelse och kunskap om verktyget ökade förändrades dock inriktningen på arbetet till det redovisade resultatet ovan. Inriktningen blev mer att lära sig och förstå verktyget och för detta var en jämförande undersökning med en äldre utredning mer passande.

Under arbetets gång har ett antal idéer testats och förkastats till förmån för andra som kommit istället. Från början hade vi till exempel med ett sluttningslager, som vi tog fram genom att konvertera jorddjupsmodellen med verktyget "*Slope*". När vi studerade slope-rastret blev det dock tydligt att de kraftiga höjdskillnader (sluttningar) som lagret visade inte var relevanta eftersom en tunnel kan byggas rakt genom sluttningen. Ett sådant lager är mer relevant när man bygger ovan mark och uteslöts därmed under arbetsprocessen.

Sent i projektet kom insikten att väglagret, som det nu använts, försämrar resultatet genom att på flera ställen i det undersökta området "dra till sig" den föreslagna linjen. Genom att studera *figur 6*, det vill säga rastret som ligger till grund för själva analysen, kan man tydligt se vägnätet avspeglar sig i rastret som röda linjer med värdet 2. Detta gör alltså att analysverktyget lockas att följa vägnätet istället för att gå in i närbeläget berg eller välja helt obebyggda områden med högre värden. Ett exempel på detta fenomen syns tydligt i *figur 6* mellan hållplatserna Slottsskogsvallen och Sahlgrenska. Från Slottsskogsvallen går linjen längs gatunätet in i ett villaområde istället för att gå kortaste vägen in i berget och fortsätta i en båge i berget mot Sahlgrenska. Det vill säga den väg linjen går i snabbspårvägsutredningens förslag (*figur 3*).

Hade väglagret istället kombinerats med valda delar av jordartslagret på samma sätt som bebyggelselagret hade det kommit mer till sin rätt. Det hade möjliggjort att variera viktningen så att förhållanden där en sträckning längs vägnätet är önskvärt kunnat viktats på ett sätt, och förhållanden där vägnätet inte spelar roll eller bör undvikas kunnat viktas på ett annat sätt.

Som nämndes i resultatkapitlet ovan är den sicksackiga linjen bland bebyggelsen norr om Wieselgrensplatsen också ett exempel på ett mindre lyckat resultat. Det beror dels på vägnätet som i exemplet ovan, men också på att vi valde att sätta alla förgreningspunkter vid stationspunkter. Hade vi skapat en förgreningspunkt mellan stationerna Wieselgrensplatsen och Mötesplatsen hade linjen med största sannolikhet dragits genom det tomma området med värdet 3 in i berget med värde 2 och vidare norrut. (Se *figur 6*).

Det går även att diskutera att vi använt få grunddatalager i analysen då det finns många exempel på övrig data som kunde varit relevant att ha med. Exempelvis data över geologiskt utsatta eller förorenade områden, data för bebyggelse under mark eller i berg som t.ex underjordiska parkeringsgarage, källarvåningar eller liknande. Även befintlig samt framtida planerad tunnelinfrastruktur hade kunnat tas med. I och med den magnitud av data och kriterier som hade behövts i ett sådant scenario blev den nödvändiga avgränsningen tidigt väldigt tydlig. Både att få tag på och sedan bearbeta all denna data hade snabbt blivit ett betydligt större projekt än vad som hade rymts inom denna kurs. Resultatet speglar även de lärdomar som kommit längs vägen som till exempel behovet av att slå ihop lager för ett mer detaljerat resultat.

Apropå detaljer så har vi i resultatet även tagit upp nackdelen med den cellstorlek som vi arbetat utefter. Jorddjupsmodellen som kan ha varit ett av de viktigaste grunddatalagren i analysen har som nämnts en cellstorlek på 10 x 10m. Övriga grunddatalager som konverterats från vektor till raster har därmed fått anpassa cellstorleken efter jorddjupsmodellen. Hade en mindre cellstorlek (t.ex 1 x 1m) för jorddjupsmodellen funnits att tillgå hade det kunnat bidra till en än mer fördelaktig detaljrikedom i de linjer som producerats och möjligen även ett annorlunda resultat.

För att återkoppla till det inledande stycket om våra första ambitioner med detta arbete hade det varit intressant att följa upp arbetet med en undersökning av hur det linjenät som presenteras ovan hade kunnat komplettera dagens spårvägslinjer och övrig infrastruktur.

En del av snabbspårvägsutredningens linjer kom att byggas mer eller mindre enligt det ursprungliga förslaget, t.ex. Angeredsbanan och linjen mot Kortedala och Bergsjön. Dessa linjer är idag de mest effektiva sett till hastighet, men även andra yttergrenar som Mölndalslinjen, Tynneredslinjen och linjen på Hisingen är effektiva med höga hastigheter mellan hållplatserna.

Dagens stora flaskhals i spårvägssystemet är centrala staden i området runt Domkyrkan / Stenpiren, Brunnsparken och Centralstationen där medelhastigheten är låg. Hade de föreslagna tunnlarna i "krysset" genom centrala staden byggts (Järntorget - Centralstationen Ullevi och Hisingen - Brunnsparken -Avenyn) hade hela systemet troligtvis snabbats upp och stadens delar kommit närmare varann genom lägre restider.

Källförteckning

Referenser

Esri ArcGIS 10.6 Help **A** (u.å.) *How cost distance tools work*

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-the-cost-distance-tools-work.htm> [Hämtad 2019-12-18]

Esri ArcGIS 10.6 Help **B** (u.å.) *Cost Path (Spatial Analyst)*

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/cost-path.htm> [Hämtad 2019-12-18]

Esri ArcGIS 10.6 Help **C** (u.å.) *What is ModelBuilder?*

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm> [Hämtad 2020-01-07]

Esri ArcGIS 10.6 Help **D** (u.å.) *Cost Distance*

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/analyze/modelbuilder/what-is-modelbuilder.htm> [Hämtad 2020-01-13]

Harrie, L. (red.) (2013). *Geografisk informationsbehandling: teori, metoder och tillämpningar*. 6., [rev.] uppl. Lund: Studentlitteratur

Law, Michael and Collins, Amy (2013). *Getting to Know ArcGIS for Desktop*. ESRI Press

SGU (2019 A). *Produktbeskrivning jorddjupsmodell*.

<http://resource.sgu.se/dokument/produkter/jorddjupsmodell-beskrivning.pdf> [2019-12-18]

SGU (2019 B). Om SGU. <https://www.sgu.se/om-sgu/> [2020-01-13]

Stadsbyggnadskontoret (1967). *Snabbspårvägsutredningen: alternativa förslag till inre kollektivt trafiksystem för Göteborgsregionen med anpassade planer för biltrafiken. Huvudrapport*. Göteborg: Göteborgs stad

Trafikverket (2019 A) *Att bygga i lera*. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbattrar/Vastlanken---smidigare-pendling-och-effektivare-trafik/Om-Vastlanken/sa-bygger-vi-vastlanken/att-bygga-i-lera/> [2019-12-13]

Trafikverket (2019 B) *Att bygga i berg*. <https://www.trafikverket.se/nara-dig/Vastra-gotaland/vi-bygger-och-forbattrar/Vastlanken---smidigare-pendling-och-effektivare-trafik/Om-Vastlanken/sa-bygger-vi-vastlanken/att-bygga-i-berg/> [2019-12-13]

Figurförteckning

Figur 1 – Snabbspårvägsutredningens förslag på stadsbana. (Stadsbyggnadskontoret 1967). Sida 1.

Figur 2 – Datatabell. Sida 6.

Figur 3. Visualisering av resultatet från georeferering och digitalisering. Sida 8.

Figur 4. Viktningstabell. Sida 8 – 9.

Figur 5. Utklipp från ArcMap på ModelBuilder. Sida 11.

Figur 6. Visualiserat resultat från weighted overlay med linjer från least cost path. Sida 14.

Figur 7. Visualisering av analysens resultat. Sida 15.

