



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap



FORSKNING/STUDIE

Utveckling av simulerings- plattform för storskalig utrymning vid skogsbrand



Utveckling av simuleringsplattform för storskalig utrymning vid skogsbrand

2019–2021

Lunds Universitet

Jonathan Wahlqvist

Skogsbränder nära bebyggelse kan ge allvarliga negativa konsekvenser. Med klimatförändringarna kan vi komma att få fler skogsbränder eller bränder i annan vegetation intill bebyggelse. Detta forskningsprojekt haft som mål att utveckla en simuleringsplattform för utrymning vid skogsbrand för att lättare kunna hantera de situationer som kan uppstå, både som ett planeringsverktyg men även operativt.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktperson: Leif Sandahl, 010-240 53 12

Ulrika Postgård, 010-240 5033

Foto omslag: Leif Sandahl, MSB

Tryck: DanagårdLiTHO

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1848 - oktober 2021

ISBN: ISBN 978-91-7927-190-9

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

Förord

Denna rapport utgör en sammanfattning och slutrapportering av projektet ”Utveckling av simuleringsplattform för storskalig utrymning vid skogsbrand”. Projektet har finansierats av Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap i form av ett post-doktoralt stöd. De publikationer och aktiviteter som genomförts inom ramen för projektet finns listade i Bilaga 1. Jag vill rikta ett tack till MSB samt kollegor på LTH som har bistått med kommentarer och stöd under projektets gång.

Lund, augusti 2021

Jonathan Wahlqvist

Innehåll

| | |
|--|-----------|
| Sammanfattning | 6 |
| 1. Introduktion | 8 |
| 1.1 Bakgrund | 8 |
| 1.1.1 Simuleringsplattform för utrymning vid skogsbrand – WUI-NITY | 8 |
| 1.1.2 Målgrupp | 9 |
| 1.1.3 Måluppfyllelse | 10 |
| 2. Översikt av simuleringsplattformen | 12 |
| 2.1 Utrymningsmodell för fotgängare | 13 |
| 2.1.1 Initial placering av människor | 13 |
| 2.1.2 Gruppering | 14 |
| 2.1.3 Beslut om att utrymma | 14 |
| 2.1.4 Förflyttning | 15 |
| 2.1.5 Ankomst vid mål | 15 |
| 2.2 Utrymningsmodell för fordon | 15 |
| 2.2.1 Destinationer | 17 |
| 2.2.2 Initialt val av destination | 17 |
| 2.2.3 Förflyttning | 17 |
| 2.2.4 Blockering av destination | 17 |
| 2.3 Brandspridningsmodell | 18 |
| 2.3.1 Indata | 18 |
| 2.3.2 Cellular automata | 19 |
| 2.3.3 Beräkning av spridningshastighet | 20 |
| 3. Fallstudie | 22 |
| 3.1 Branden i Västmanland (2014) | 22 |
| 3.2 Resultat | 22 |
| 3.2.1 Problem med bränsleklassificering | 23 |
| 4. Diskussion | 26 |
| 4.1 Fortsatt arbete | 26 |
| 4.1.1 Agentbaserad utrymningsmodell för fotgängare | 26 |
| 4.1.2 Placering av människogrupper baserat på metadata | 26 |
| 4.1.3 Agentbaserad utrymningsmodell för fordon | 27 |
| 4.1.4 Koppling till virtuell verklighet | 27 |
| 4.1.5 Vidareutveckling av verifiering och validering | 27 |
| 4.1.6 Utveckling och implementering av förenklad rökspridningsmodell | 28 |
| 4.1.7 Koppling till mer avancerade fältmodeller för brandspridning | 28 |
| 4.1.8 Modeller för räddningsinsatser | 28 |
| 4.1.9 Förbättrat grafiskt användargränssnitt | 28 |
| Bilaga 1: Publikationer och övriga aktiviteter i projektet | 30 |
| Artiklar (peer review) | 30 |
| Rapporter | 30 |
| Examensarbete | 30 |

| Sammanfattning

Sammanfattning

Skogsbränder nära bebyggelse kan ge allvarliga negativa konsekvenser. Med klimatförändringarna kan vi komma att få fler skogsbränder eller bränder i annan vegetation intill bebyggelse. Då krävs proaktiva åtgärder för att i framtiden bättre kunna hantera situationen och begränsa skadorna. En lösning på detta problem är att använda simuleringsverktyg som kan användas för ”what if”-analys eller användas operativt under pågående bränder. Problemet hittills är dock att det ej finns någon plattform som tar hänsyn till alla aspekter som interagerar vid en skogsbrand, främst utrymningsförloppet och brandens spridning. På grund av bristen på ett sådant verktyg har detta forskningsprojekt haft som mål att utveckla en simuleringsplattform för just utrymning vid skogsbrand. Verktöget har getts namnet WUI-NITY, som är en kombination av WUI (Wildland Urban Interface) och namnet på spelmotorn som plattformen byggts ovanpå (Unity). Verktöget är tänkt att komplettera befintlig planering och utbildning och bidra till ett bättre beslutsunderlag och erbjuder en integrerad simuleringsplattform för utrymning vid bränder i skog eller i annan vegetation.

Den utvecklade plattformen är modulär och är tänkt att utvecklas över en längre tid av flera grupper då källkoden kommer att göras tillgänglig efter projektets slut. Den bakomliggande tanken var att initialt utveckla en plattform och integrera behövliga förenklade modeller för att visa på potentialen hos plattformen för att sedan öka varje ingående modells komplexitet. Tre huvudkomponenter har för närvarande integrerats:

- Modell för utrymning till fots.
- Modell för utrymning via fordon.
- Modell för brandspridning.

En fallstudie som har jämfört den implementerade brandspridningsmodellen med observerade data och etablerade motsvarande simuleringsverktyg har uppvisats med lovande kvalitativa resultat, dock har även en del problematik kring kvalitetskrav på indata lyfts fram. Övriga arbeten utförda i anslutning till projektet har även genomfört liknande fallstudier för utrymningsmodellerna med liknande slutsatser.

Projektet har uppfyllt de uppsatta målen och får anses vara framgångsrikt. En del utvecklingsarbete kvarstår dock, både vad gäller utvecklingen av plattformen i sig, men även vad gäller tillgång till kvalitetssäkrade ingångsdata vid simuleringar. Plattformen skall därför ses som en del av en helhet som förhoppningsvis fortsätter göra stora framsteg i framtiden.

| **Introduktion**

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Skogsbränder nära bebyggelse kan ge allvarliga negativa konsekvenser. Med klimatförändringarna kan vi komma att få fler skogsbränder eller bränder i annan vegetation intill bebyggelse. Då krävs proaktiva åtgärder för att i framtiden bättre kunna hantera situationen och begränsa skadorna.

Under 2018 inträffade flera mycket stora skogsbränder i Sverige. Skogsbränder nära bebyggelse påverkar ofta människor och kan också ge skador och förluster av egendom och infrastruktur och ibland krävs i vissa fall utrymning. Skogsbränder är därför en viktig säkerhetsfråga i många regioner i världen. Eftersom bebyggda områden ofta expanderar över tid, och klimatförändringarna kan ge fler bränder i skog och annan vegetation, kommer detta problem att utgöra en allvarlig utmaning i framtiden där också utrymningsperspektiv måste beaktas. Den sociala strukturen och den fysiska utformningen av samhällen nära skog och övrig vegetation utgör en särskild utmaning. Bebyggelsens täthet, vägarnas utformning och kapacitet samt den omgivande vegetationen och terrängens topografi – allt detta bidrar till samhällets förmåga att upprätthålla befolkningens säkerhet. Att endast ha kunskap om brandens utveckling är därför inte tillräckligt för att bedöma inverkan på befolkade områden. Det krävs en ny metod eller en plattform som kan ta hänsyn till fler faktorer.

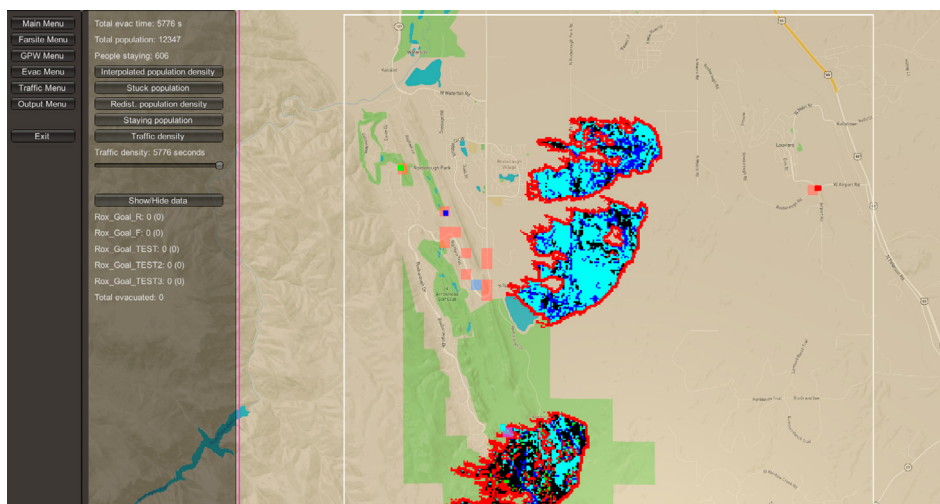
1.1.1 Simuleringsplattform för utrymning vid skogsbrand – WUI-NITY

För att kunna tillgodose de ökande kraven på en integrerad simuleringsplattform har detta forskningsprojekt haft som mål att utveckla en simuleringsplattform för just utrymning vid skogsbrand. Verkyget har getts namnet WUI-NITY, som är en kombination av WUI (Wildland Urban Interface) och namnet på spelmotorn som plattformen byggts ovanpå (Unity). Verkyget är tänkt att komplettera befintlig planering och utbildning och bidra till ett bättre beslutsunderlag och erbjuder en integrerad simuleringsplattform för utrymning vid bränder i skog eller i annan vegetation. Huvudsyftet med plattformen är att generera sårbarhetsindex baserat på samverkan mellan brand och utrymning både till fots och via fordon. Simuleringsplattformen har två huvudsakliga användningsområden; före en brand och under en pågående brand.

Plattformen kan användas för att undersöka olika så kallade ”what-if” scenarier, det vill säga scenarier vid en tänkt brand i ett område. Under pågående brand kan simuleringen utgå från befintliga förhållanden (bebyggelse, vägar, brandförlopp, väderförhållanden etc.) för att kunna förutse händelseförloppet. På så sätt kan ansvariga planera före en händelse och öka förmågan att hantera den akuta insatsen.

Den grundläggande tanken kring den utvecklade simuleringsplattformen har varit att den skall vara dynamisk och expanderbar utifrån vilken komplexitet, och därmed tidsåtgång, användaren önskar. I detta initiala skede så har relativt enkla modeller för utrymning använts för att kunna möjliggöra simulering i realtid eller snabbare än realtid i stor skala. I takt med att plattformen och tillgänglig beräkningskraft utvecklas ska mer avancerade modeller kunna implementeras och användas.

Figur 1. Exempel på pågående simulering i WUI-NITY.



1.1.2 Målgrupp

Alla typer av simuleringar kräver detaljerad kunskap om ingående delar för att få ett resultat som är tillförlitligt, så är även fallet för WUI-NITY, och kanske till och med i än högre grad på grund av interaktionen mellan olika modeller och därmed discipliner. Nuvarande status på simuleringsplattformen kräver en datorvan användare med kunskap inom områdena skogsbrand, mänskligt beteende och trafikflöde vilket gör målgruppen relativt snäv. I takt med att plattformen utvecklas finns det däremot som mål att göra det mer tillgängligt för beslutsfattare och operativ personal genom att erbjuda moduler som till exempel automatiseras inmatning av topografi, väder, vegetation, population osv. Dock kommer en användare alltid behöva ta beslut som kräver fundamental förståelse för de ingående komponenterna.

1.1.3 Måluppfyllelse

Vid planeringsfasen av projektet sattes en rad specifika mål upp:

- Välja/utveckla lämpliga makroskopiska modeller som sedan skall implementeras i Unity.
- Möjliggöra datautbyte mellan de olika modellerna för att kunna få påverkan från brandmodellen till utrymningsmodellerna (fotgängare, trafik).
- Applicera simuleringsplattformen på ett representativt testfall och generera resultat som påvisar kopplingen mellan modellerna.
- Utveckla en funktion för sårbarhetsindex som tar hänsyn till brand och utrymning samt utveckla verktyg för visualisering i Unity.
- Visualisera vägnätverk, byggnader, vegetation i kombination med sårbarhetsindex.

Målen skulle uppfyllas genom att dela in arbetspaket under projektets gång. Efter slutförande av projektet har dock ett par avvikelser noterats.

- Initialt så gjordes en modul för att importera data från utomstående brand-simuleringsprogram, främst FARSITE. Detta tillvägagångssätt fungerade som det var tänkt men möjliggjorde inte tvåvägskommunikation (endast branden kunde påverka övriga modeller, ej tvärt om) och således tilläts ingen framtida interaktion med till exempel modeller för insatser från räddningstjänst. Därför skiftade fokus till att implementera en intern brandspridningsmodell som kommer att vara mer flexibel i framtida applikationer. Tidigare tillvägagångssätt finns dock kvar.
- Appliceringen av simuleringsplattformen har gjorts på ett relevant testfall, men detta testfall fokuserar endast på brandspridningsmodellen. I övriga publikationer relaterade till projektet har studier gjorts som innefattar de övriga modellerna men som utesluter brandspridningsmodellen. Anledningen till detta är att lämpliga scenarier är få, och tillgången på kvalitativa data är än mer sällsynt. Den gjorda fallstudien anses dock relevant då den fokuserar på brandspridningsmodellen som är ett komplement till tidigare publikationers fokus.
- Direkt visualisering av sårbarhetsindex har ej gjorts då grundkonceptet har ändrats till att en kvantitet som representerar hela intresseområdet och saknar spatial upplösning.
- Funktionen för visualisering av vägar finns närvarande i programmet men saknar direkt nytta för användaren och är därmed avstängt som förinställt val. Nuvarande utrymningsmodell använder ej byggnadsdata i OpenStreetMap och en färdig implementering gjordes därmed ej, detsamma gäller för visualisering av vegetation (även om detta indirekt kan visualiseras genom bränsletyp).

Trots dessa avvikelser anses projektet inte avvikit från det ursprungliga konceptet utan i stället tagit alternativa vägar för att nå samma mål.



Översikt av simulerings- plattformen

2. Översikt av simuleringsplattformen

I detta avsnitt ges en övergripande beskrivning av de implementerade modellerna och deras respektive antaganden och eventuella begränsningar som anses vara av särskilt intresse. Tre huvudkomponenter har integrerats:

- Modell för utrymning till fots.
- Modell för utrymning via fordon.
- Modell för brandspridning.

Urval och implementeringen av dessa komponenter var ett av huvudmålen när projektet utformades och var av yttersta vikt för att projektet skulle anses framgångsrikt. Konceptuellt kan modellen summeras enligt följande:

- Extern data innehållande vägdata importeras för det intressanta området. Nuvarande implementering är baserat på data från Open Street Map (OSM).
- Importerad data filtreras för att endast innehålla relevant vägdata (saker så som byggnader, gångvägar och liknande tas bort) och eventuellt mindre område än grundmaterialet.
- Spatial data om befolkningsmängd importeras och fördelas över valt område efter anpassning till vägnätverket (det måste finnas tillgång till en väg i närheten av placerade hushåll) och parametrar valda av användaren så som cellstorlek och total faktiskt mängd människor (om den önskade totala mängden avviker från databasen).
- Data för att kunna köra brandmodellen importeras innehållande bränsletyp (vegetation), topografi, väderdata och så vidare. Modellen använder filformatet LCP för detta.
- Ett externt open source bibliotek kallat Itinero används för att bygga upp en databas av noder och kopplingar mellan noder (med metadata så som hastighet, antalet filer och liknande) som representerar vägnätverket som sedan kan användas för att beräkna rutter.
- Rutter beräknas sedan med hjälp av Itinero från alla positioner där människor är lokaliserade till alla angivna utrymningsmål (som anges av användaren) och skapar på så sätt en ruttmatris som sedan kan användas av bilar som skapas när fotgängare har nått sitt fordon. Baserat på användarens val så används antingen en närmaste, en snabbaste, en forcerad eller en slumpmässigt vald rutt när en bil börjar sin färd.

- Branden startar vid tidpunkten noll samtidigt som utrymningsmodellen för fotgängare börjar utvärdera en användarangiven kurva för besluts- och reaktionstid för varje hushåll.
- Under tiden som branden sprids så kommer hushåll att ta beslut om förflyttning varpå de till slut anländer till sin bil eller bilar (användaren kan dock ange att en del av befolkningen beslutar att inte utrymma). När detta sker så introduceras ett fordon i trafikmodellen och liksom utrymningsmodellen för fotgängare så förflyttar sig bilar mot sin valda destination.
- Om en destination faller bort av någon anledning (blockerat av branden, utrymningsplats är full) under resans gång så kommer en bil att beräkna en ny rutt till övriga tillgängliga destinationer, den snabbaste ruten är prioriterad.
- När alla bilar och människor som har valt att utrymma har anlänt till sina destinationer så avbryts simuleringen om inte en längre simuleringsstid har angetts av användaren, till exempel om det finns intresse att vidare studera brandens utspridning. Finns inga destinationer kvar avbryts simuleringen och användaren får ett meddelande om vad som har hänt.

Dessa tre modeller har möjlighet att kommunicera med varandra i båda riktningar, men nuvarande tillämpning kräver endast kommunikation i följande riktningar:

- Modellen för utrymning till fots kommunicerar med utrymningsmodellen för trafik genom att introducera fordon när fotgängare nått sitt mål (dvs sitt fordon).
- Brandspridningsmodellen påverkar utrymningsmodellen för trafik genom att blockera destinationer och på så sätt tvinga trafiken att välja en annan destination.

2.1 Utrymningsmodell för fotgängare

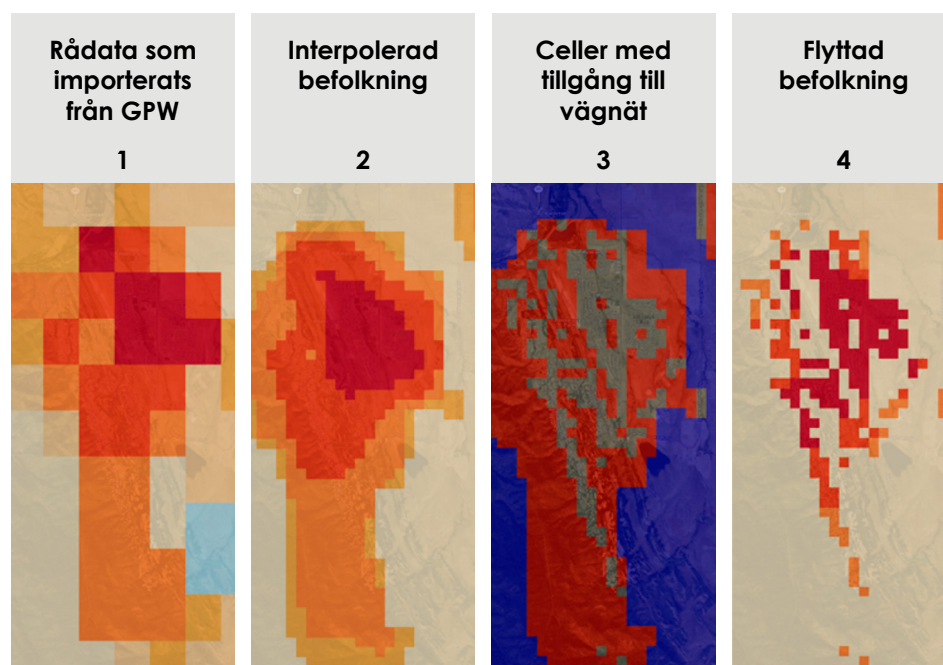
En mer detaljerad beskrivning av utrymningsmodellen för fotgängare ges i denna sektion.

2.1.1 Initial placering av människor

Den initiala placeringen av människor är baserad på the Gridded Population of the World (GPW). Detta är en öppen databas tillgänglig i princip över hela jordens yta och innehåller befolkningsantal med en ungefärlig spatial upplösning om 1x1 km (kring ekvatorn, cellerna blir mindre ju närmare man kommer polerna). Användaren specificerar sitt intresseområde och WUI-NITY plockar automatiskt ut önskade data från den större databasen (del 1 i Figur 2). Användaren måste sedan välja en cellstorlek som används för att dela in hela intresseområdet i mindre celler, vanligtvis 100 eller 200 meter stora. Data från GPW fördelas därefter om till de nya cellerna genom interpolation (del 2 i Figur 2). Efter detta steg så kontrolleras tillgången till vägnätverket ifrån varje cell, detta för att säkerställa att alla celler kan utrymmas (del 3 i Figur 2). Efter filtrering av tillgängliga celler så placeras alla personer som ansågs "sitta fast" proportionerligt över övriga tillgängliga celler (del 4 i Figur 2).

Det sista steget efter detta är sedan att fördela människor i en cell till olika ”hushåll”, det vill säga grupper av människor som alltid rör sig tillsammans. Storleken på ett hushåll är ett slumpmässigt antal som kan ändras av användaren, vanligtvis mellan 1 till 5 personer. Hushållen får även en slumpmässig position i cellen och har sedan som mål att nå den närmaste noden på vägnätverket som finns i cellen. Detta avstånd representerar gångavståndet mellan människors bostad och deras bil eller bilar (användaren kan bestämma sannolikheten att ett hushåll har mer än ett fordon). I detta steg ges även hushållet en besluts- och reaktionstidbaserad på indata från användaren, se senare sektion om gruppering.

Figur 2. Befolkningsfördelning som finns tillgänglig i GPW-databasen (1), populationen interpolerad baserat på den valda evakueringscellstorleken (2), celler med tillgång till vägnät (3) och omfördelad population baserat på vägnätets konfiguration (4). Ju mörkare röd färg desto högre är befolkningstätheten i (1), (2) och (4). I (3) anger blått inga personer, rött indikerar ingen tillgång till vägnätet och inget färgöverlägg indikerar att människor har tillgång till vägnätet.

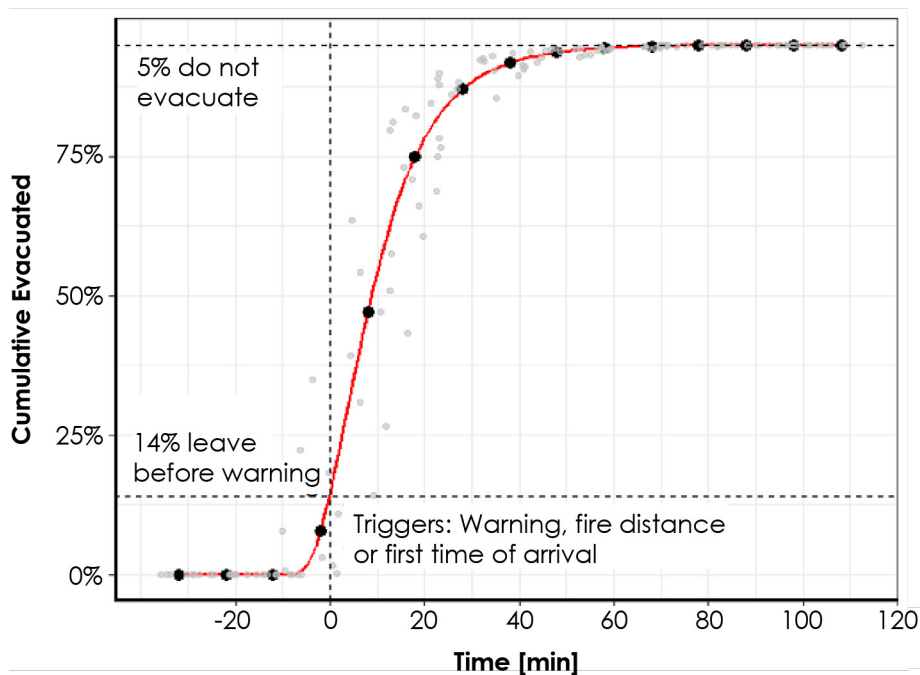


2.1.2 Gruppering

Hushåll antas förflytta sig tillsammans som en grupp, det vill säga inga enskilda individer förflyttas (så vida hushållet ej består av en person). Gruppen håller samman helt och hållet under hela förflyttningstiden och antas ha samma besluts- och reaktionstid samt förflyttningshastighet.

2.1.3 Beslut om att utrymma

Tiden till beslut om att utrymma tilldelas ett hushåll slumpmässigt utifrån en kurva som ges av användaren i indatafilen. Notera att användaren kan specificera att vissa personer bestämmer sig för att stanna kvar och således ej påbörja utrymningen. Ett exempel på kurva ges i Figur 3.

Figur 3. Exempel på besluts- och reaktionstidskurva som används som indata.

2.1.4 Förflyttning

Förflyttning sker i diskreta steg genom att multiplicera valt tidssteg (vanligtvis 1 sekund) med den slumpmässigt tilldelade gånghastigheten för hushållet. Efter varje tidssteg kontrolleras sedan om hushållet nått sitt mål eller ej.

2.1.5 Ankomst vid mål

När ett hushåll har nått sitt mål, vilket i nuvarande implementering innebär sitt fordon, så sker ett par saker. Om hushållet består av fler än en person och användaren har specificerat möjlighet till flera fordon så slumpas antalet fordon som skall föras över till trafikmodellen. Då antalet bilar bestämts överförs personerna till sina bilar och flyttas över till trafikmodellen. Endast utrymning till fots är för närvarande inte implementerad då initial fokus har legat på utrymning via fordon.

2.2 Utrymningsmodell för fordon

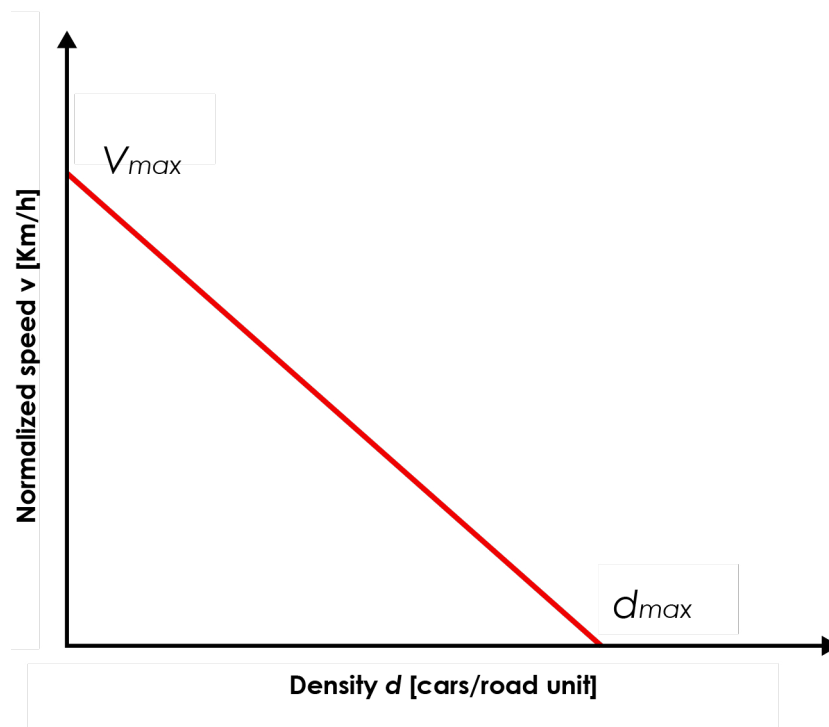
En relativt enkel utrymningsmodell för fordon har implementerats i WUI-NITY, denna modell har baserats på en uppsättning vanliga antaganden inom trafikmodellering. Trafikmodellen får input från utrymningsmodellen för fotgängare som generar ett nytt fordon när en grupp människor antas ha nått sitt initiala mål.

Trafikflödet simuleras genom ett förhållande mellan hastighet och flödestäthet (ofta kallat fundamentalt diagram). Modellen som antagits kallas för Lighthill-Whitham-Richards-modellen (LHR-modellen) som valdes på grund av dess enkelhet, både implementeringsmässigt och beräkningsmässigt.

En rad förenklingar och begränsningar finns dock i den implementerade modellen, till exempel:

- Omkörningar är inte uttryckligen modellerade.
- Korsningar antas inte vara signalerade.
- Bilar saktar ej in vid korsningar.
- Bilar accelererar och bromsar infinit snabbt.

Figur 4. Fundamentalt diagram över förhållandet mellan trafikflödes hastighet och densitet som implementeras i WUI-NITY.



Dock antas effekten av flera av dessa förenklingar vara relativt små då problematiska situationer mest troligt uppstår när densiteten i trafiken blir hög och därmed stannar upp trafiken till stor del. Flyter trafiken på utan problem så är det mindre sannolikhet att det blir en begränsande faktor i simuleringen. Dessa begränsningar är dock något en användare bör ha i åtanke.

Data från OSM används för att samla in hastighetsbegränsning, vägtyp, antalet filer, gatunamn och annan metadata som kan tänkas komma till användning. Vägens maximala kapacitet, som används för att beräkna aktuell hastighet baserad på lokal densitet, specificeras av användaren (standardvärden finns dock att tillgå) för varje vägtyp.

Bakgrundstrafik i form utav en konstant extra densitet kan anges som en parameter av användaren, detta för att simulera specifika trafikförhållanden. Användaren kan också ange specifika punkter där bilar injiceras utifrån en given kurva för att på så sätt simulera inkommande trafik från andra områden.

2.2.1 Destinationer

Det finns för närvarande två olika typer av destinationer:

- Utgång – fordon som anländer anses försvinna ut ur simuleringen. Detta skall representera vägnätverk som fortsätter till närliggande stad eller liknande. Användaren kan ange ett maximalt flöde genom denna destination.
- Skydd – fordon som anländer ackumuleras och användaren kan ange en maximal kapacitet. Detta skall representera en säker plats dit trafik leds. Uppnås maximal kapacitet så blockeras destinationen. Användaren kan ange ett maximalt flöde till denna destination.

2.2.2 Initialt val av destination

Initialt val av destination är beroende av startposition och användarens indata. Användaren kan välja mellan följande alternativ:

- Kortaste avstånd.
- Kortaste förflyttningstid
- Forcerad destination baserad på position, användaren ritat områden i WUI-NITY.
- Slumpmässig destination baserad på ”destinationsgrupp”. Användaren specificerar olika grupper och ritat ut vilka grupper som skall användas i specifika områden.

Initial rutt till respektive destination har redan beräknats för respektive cell och behöver således ej beräknas för varje enskild bil.

2.2.3 Förflyttning

Förflyttning sker likt utrymningsmodellen till fots i diskreta steg genom att multiplicera valt tidssteg (vanligtvis 1 sekund) med aktuella hastigheten för varje fordon. Hastigheten är en funktion av densiteten och hastighetsbegränsning på aktuell vägsektion (styrts av data från OSM). Vid högre densitet av fordon så minskar hastigheten (kan även komma att stå i princip still vid väldigt hög densitet). Efter varje tidssteg kontrolleras sedan om fordonet nått sitt mål eller ej.

2.2.4 Blockering av destination

Om en destination av någon anledning blockeras under pågående utrymning så kommer alla påverkade fordon att räkna om sin rutt och köra till den närmaste tillgängliga destinationen. Vanligaste orsaker är att branden har otillgängliggjort en destination eller att en destination har nått sin maxkapacitet.

2.3 Brandspridningsmodell

Två generella angreppssätt finns att tillgå i WUI-NITY:

- Importera data från valfritt externt program som producerar data som är kompatibelt med WUI-NITY. Möjlighet finns också att skriva en egen modul som översätter data från ett godtyckligt program till data som WUI-NITY klarar av att läsa. För nuvarande så finns en färdig modul som kan läsa in standard ASCII-filer som används av till exempel FARSITE. Detta alternativ tillåter inget dynamiskt samspel mellan de övriga modellerna.
- Använda den integrerade brandspridningsmodellen som möjliggör tvåvägskommunikation mellan alla modeller som finns inbyggda i plattformen.

Av de två angreppssätten så anses det andra alternativet vara det generellt önskvärda och är därmed det alternativ som kommer att beskrivas närmare.

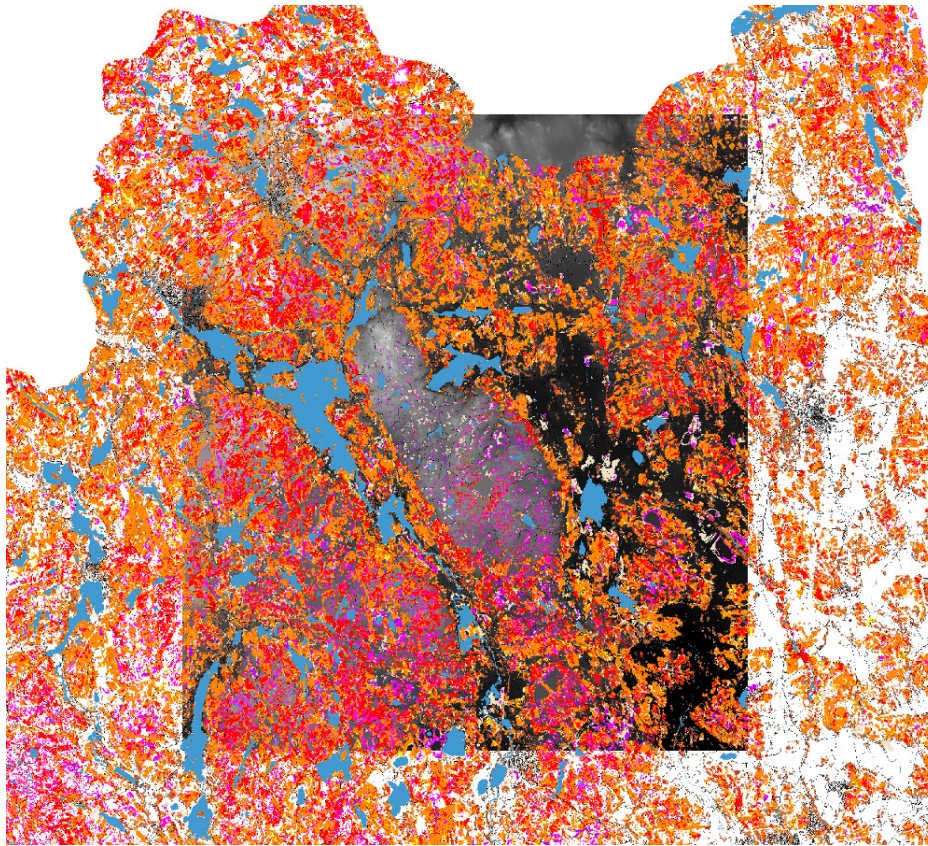
2.3.1 Indata

Indataformatet i WUI-NITY följer en liknande modell som används av FARSITE, ett av de vanligaste programmen som används för beräkning av brandspridning i vegetation. Följande parametrar krävs för en simulering:

- Höjd över havet
- Lutning
- Riktning på lutning
- Krontäthet
- Brandbränsleklassificering
- Initial fuktighet i bränsle
- Väderdata innehållande temperatur och luftfuktighet
- Vinddata

Enklast är att använda sig av standardiserade Landscape-filer (LCP) som kan finnas att tillgå för till exempel Nordamerika. Saknas denna data så går det att skapa i till exempel ArcMap.

Figur 5. Exempel på bearbetning av data i ArcMap.



2.3.2 Cellular automata

Brandspridningsmodeller så som Farsite och Prometheus använder sig av en vektorbaserad metod för att representera flamfronten vid spridning av pågående skogsbrand. Denna metod fungerar utmärkt men är relativt komplicerad att implementera och kräver mer datorkraft än andra alternativ. Ett sådant alternativ är så kallad cellular automata som använder sig av det befintliga rastret (även kallat celler) som används vid import av data. Detta tillvägagångs löser enkelt komplicerade problem så som sammanslagning av flamfronter och är väldigt effektivt beräkningsmässigt. Detta tillvägagångssätt har tidigare tillämpats av andra med gott resultat, dock ej utan begränsningar, särskilt i avseendet att representera det underliggande antagandet kallat Huygens princip som antar en elliptisk flamspridning. Detta påverkar dock mest vid stark vind och homogent landskap, vilket oftast inte är fallet.

Modellen som har implementerats i WUI-NITY har tre olika lägen som kan styras av användaren:

- Spridning till de 4 närmaste granncellerna.
- Spridning till de 8 närmaste granncellerna.
- Spridning till de 24 närmaste granncellerna.

Ju fler grannceller som tas hänsyn till desto bättre kan en ellips representeras på rastret, samtidigt som det blir mer beräkningsintensivt, dock fortfarande mindre krävande än en vektorbaserad metod.

När spridning beräknats nå från mitten av en cell till en av grannarna antas nästa cell starta samma mönster, och på så sätt sprids branden. När en cell inte längre har några grannar kvar att spridas till antas celler vara ”död”, dvs den ingår inte längre i beräkningen.

2.3.3 Beräkning av spridningshastighet

Beräkningar av spridningshastigheten beror på en rad parametrar, främst:

- Bränsletyp (typ av vegetation)
- Fuktighet i bränslet
- Vindhastighet
- Lutning av terräng

Dessa parametrar och fler därtill tas hänsyn till i det öppna biblioteket BEHAVE. En variant av BEHAVE har därför implanterats i WUI-NITY i sin helhet och erbjuder därmed väldigt liknande funktioner och tillförlitlighet som till exempel FARSITE och Prometheus.

| Fallstudie

3. Fallstudie

Ett av de uppsatta målen inom projektet för att utvärdera det utvecklade verktyget var att utföra en så kallad fallstudie där jämförelser görs gentemot faktiskt observerade data samt andra simuleringsverktyg.

En god kandidat för en sådan fallstudie kräver relativt detaljerade data kring den faktiska händelsen, och i bästa fall har redan andra simuleringsverktyg utvärderats mot händelsen.

3.1 Branden i Västmanland (2014)

Under sommaren 2014 förstördes nästan 10 000 ha skog av en skogsbrand i Västmanlands län. En gnista orsakad av mänsklig påverkan initierade branden och en pågående värmebölja i kombination med relativt låg luftfuktighet och stark vind resulterade i en snabbt spridande brand med en uppskattad maximal hastighet om cirka 5 km/timme. Trots insatser från räddningstjänster spreds branden i ungefär en vecka, och den blev den största skogsbranden i Sverige på åtminstone de senaste 100 åren enligt MSB.

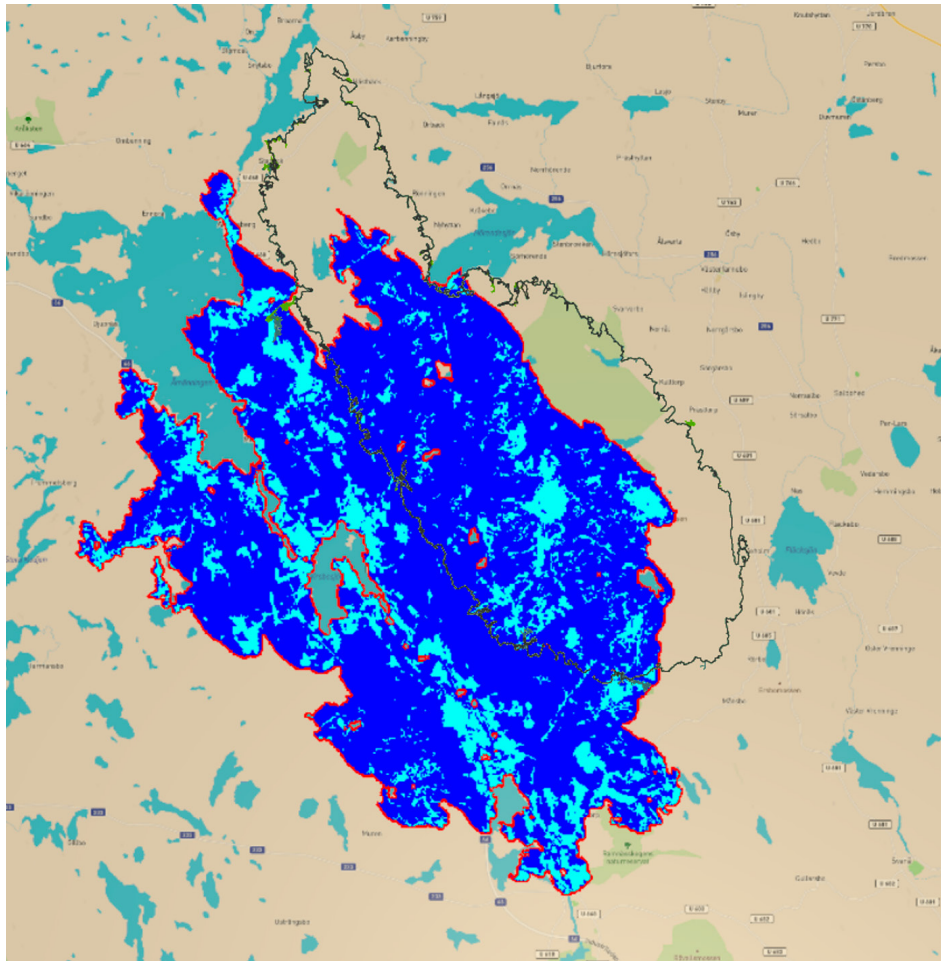
Branden i Västmanland ansågs vara en mycket god kandidat för en fallstudie då alla tidigare nämnda kriterier uppfylldes vilket innebar att arbetet kunde koncentreras på den utvecklade plattformen. En tidigare rapport jämförde observerade data med två av de mest använda modellerna för brandspridning, FARSITE och Prometheus. Resultatet var initialt inte särskilt lovande då endast 15 % av brandspridningen observerades i simuleringarna, men senare simuleringar med modifierade vinddata gav bättre överensstämmelse med cirka 80 % överlapp av det brända området. Svårigheter kring klassificering av bränsletyper nämns dock då svensk vegetation skiljer sig från vegetation i Nordamerika.

3.2 Resultat

Ett flertal simuleringar utfördes och parametrar anpassades för att få en representativ simulering. Följande data anpassades:

- Vinddata. Liksom i den tidigare studien där FARSITE och Prometheus jämfördes med observerade data så användes inte data från SMHI då den ej ansågs vara representativ för de faktiska vindförhållandena. I stället användes uppskattad vinddata från MSB observatörsrapport 798 som var högre och därmed gav upphov till snabbare brandspridning.
- Bränslemodell. Mycket myrmark fanns närvarande i intresseområdet, i somliga fall kan detta klassificeras som obrännbart på grund av dess höga vattenhalt. Detta visade sig dock ge väldigt avvikande resultat samtidigt som det ansågs vara orimligt att myrmarken skulle kunna anses vara obrännbar efter en period av torka. Bränslemodellen modifierades därmed till att representeras av gräsmark.

Figur 6. Utdata från simulering efter fyra dygn med anpassade parametrar. Det faktiska observerade brända området är markerat med en svart linje.

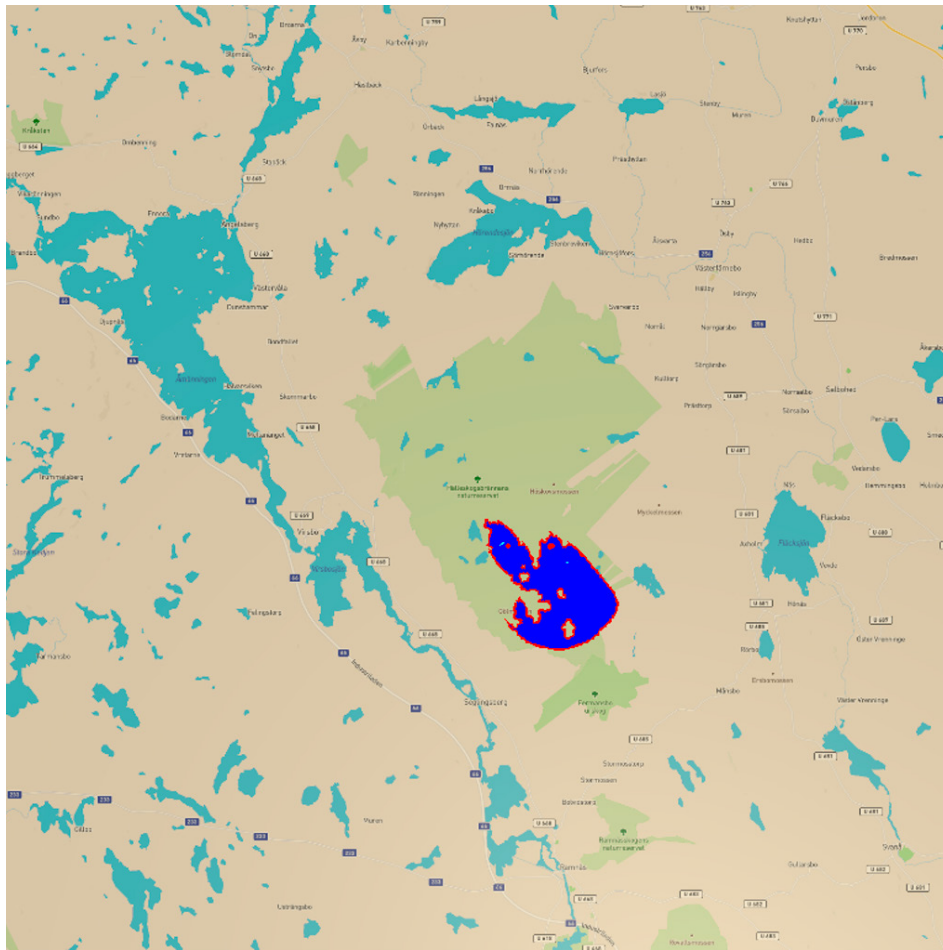


Resultatet i Figur 6 får anses vara av kvalitativ natur då en detaljerad analys inte gjorts i avsaknad på data, men samtidigt lovande i jämförelse med faktiskt observerade data vad gäller magnitud av utbredningsområde och i linje med resultat från Prometheus i föregående studier. Dock bör implementerad brandspredningsmodell gå igenom mer detaljerad verifierings- och valideringsstudier.

3.2.1 Problem med bränsleklassificering

En av de större utmaningarna med alla brandspredningssimuleringar är klassificering av vegetationen och därmed beteende vid brand. Detta visade sig tydligt om till exempel närvarande myrmark betraktades som helt obrännbar, se resultat i Figur 7. Detta är ett problem som tyvärr kommer att vara närvarande även i fortsättningen trots att Sverige numera har detaljerade data vad gäller bränsleklassificering, höjddata, krontäthet, kronhöjd och en rad andra nödvändiga parametrar. Detta på grund av bland annat svårigheten att uppskatta fuktigheten i vegetationen, men även det faktum att specifika bränsleparametrar inte finns för vegetation typisk för svenska förhållanden utan är anpassade efter Nordamerika. Dock kommer förhoppningsvis fortsatt arbete från MSB och andra aktörer minska detta problem på sikt.

Figur 7. Utdata från simulering efter 4 dygn utan anpassat bränsle.



| Diskussion

4. Diskussion

Projektet har uppfyllt de uppsatta målen och får anses vara framgångsrikt trots att en del ändringar har gjorts i takt med att utvecklingen fortlöpte. Ändringar som gjorts i de ursprungligen uppsatta målen har dock varit just det, ändringar för att bättre lösa de problem som har uppstått. En del problem kvarstår dock, dels vad gäller utvecklingen av plattformen i sig, somliga av dessa tas upp i sektionen för ”Fortsatt arbete”. Det finns dock även ”externa” problem som kvarstår, till exempel bestämmande av bränslemodellparametrar för svenska förhållanden och kvalitetssäkrande av väderdata för användning som ingångsdata vid simuleringar. Plattformen skall därför ses som en del av en helhet som förhoppningsvis utvecklas ytterligare i framtiden.

4.1 Fortsatt arbete

Även om projektet anses vara framgångsrikt så återstår det en rad möjliga förbättringar för att simuleringsplattformen skall anses fullt användbar för skarpt fältarbete samt forskning. Plattformen är dock modular vilket gör det möjligt för forskare eller andra användare att ersätta enskilda delar med mer avancerade modeller eller modeller mer lämpliga för lokala förhållanden. Nedan ges en rad förslag till utvecklingsområden som har identifierats under projektets gång.

4.1.1 Agentbaserad utrymningsmodell för fotgängare

Nuvarande modell gör väldigt enkla antaganden vad gäller placering och gångavstånd för fotgängare. Ett område för framtida forskning och utveckling skulle vara att implementera en mer avancerad utrymningsmodell för fotgängare som tar vara på detaljerad information angående närmiljön, det vill säga utrymning förbi specifika hinder så som andra människor, staket, stenar, bäckar och dylikt och ändrar sin rutt utifrån dessa hinder. Även mer avancerade modeller för grupp-beteende inom ett hushåll och social påverkan från till exempel grannar bör forskas vidare på.

4.1.2 Placering av människogrupper baserat på metadata

Nuvarande placering av människor är endast baserad på lokal persondensitet och tillgång till vägnätverket. En framtida modell som tar hänsyn till tillgängliga data så som byggnadstyp eller tid på dygnet hade varit av stor nytta för att öka detaljnivån i simuleringen, och därmed förhoppningsvis tillförlitligheten. Detta hade möjliggjort användandet av specifika modeller för utsatta grupper som till exempel sjukhus, skolor, ålderdomshem och liknande (vilket dock får ses som

ett mindre problem i Sverige relativt vissa övriga delar av världen). Samtidigt hade det möjliggjort en persondensitetsändring över dygnet där människor antas mer befinna sig i kommersiella områden under dagtid, och i större utsträckning i bostadsområden under nattid.

4.1.3 Agentbaserad utrymningsmodell för fordon

Liksom utrymningsmodellen för fotgängare så har en relativt enkel, om än mer avancerad, utrymningsmodell för fordon implementerats. Då det finns open source projekt som SUMO eller CityFlow som har mogna, mer avancerade modeller än nuvarande så bör integrering av någon av dessa vara nästa steg i utvecklingen vad gäller utrymningsmodell för fordon. Dessa modeller möjliggör saker så som acceleration och inbromsning vid korsningar, omkörning av andra bilar och olika typer av fordon.

4.1.4 Koppling till virtuell verklighet

Tillgången av detaljerade data kring beteende vid utrymning under pågående skogsbrand är väldigt knapphändig och gör det svårt att utveckla robusta modeller. Ett verktyg som skulle kunna vara användbart för att samla data i en säker miljö är så kallad virtuell verklighet, eller VR. Genom att använda VR skulle man kunna placera försökspersoner i scenarier som simuleras av den utvecklade plattformen och observera hur de agerar, till exempel när de tar beslut att börja utrymma, vilken typ av information som anses vara viktigast för att påbörja utrymning, hur deras körning och vägval påverkas av pågående skogsbrand och given information och liknande data. Ett examensarbete som specifikt undersökte förhållandet mellan körhastighet och rökdensitet har blivit utfört i samband med projektet, men det skulle kunna expanderas till att samla mer välbehövliga data.

4.1.5 Vidareutveckling av verifiering och validering

Verifiering och validering är alltid ett viktigt arbete när det kommer till att utveckla vetenskapliga beräkningsprogram. Detta har gjorts informellt löpande genom projektet, men en mer detaljerad och formell procedur vore önskvärd. Examensarbeten på ämnet har utförts och är under utförande i nuläget, men dessa har hittills koncentrerat sig på de båda ingående utrymningsmodellerna, inte brandmodellen eller kopplingen mellan alla ingående modeller. En utveckling av proceduren hade varit att skapa en uppsättning av fall som körs automatiskt varje gång en ny version skapas och utvärderar resultaten. Verifieringstester är relativt enkla att skapa, den stora utmaningen är dock att hitta lämpliga fall som kan användas för validering som testar alla ingående modeller tillsammans.

4.1.6 Utveckling och implementering av förenklad rökspridningsmodell

Nuvarande implementerad brandmodell tar endast hänsyn till spridning av flammor, inte röken som sprids i atmosfären. Detta gäller dock de flesta befintliga skogbrandsmodeller utom de mest avancerade fältmodellerna så som Fire Dynamics Simulator. Det hade således varit av stor nytta att utveckla en förenklad rökspridningsmodell som kan kombineras med befintlig brandspridningsmodell och på så sätt påverka utredningsmodellerna, bland annat genom ändrad körhastighet eller tid till beslut att lämna sin bostad.

4.1.7 Koppling till mer avancerade fältmodeller för brandspridning

Brandspridningsmodeller som är uppbyggda på liknande sätt som den implementerade modellen tar inte hänsyn till rökspridning och kan ha stora svårigheter med komplicerade vindflöden eller komplicerad terräng. För att kunna lösa dessa problem krävs en mer avancerad modell, så kallat fältmodeller. En sådan modell som innehåller specifika submodeller för skogsbrand är Fire Dynamics Simulator. Denna modell är 3-dimensionell och mycket mer detaljerad, men mycket mer beräkningsintensivt som en konsekvens. Men i takt med att datorkraft blir mer tillgängligt så kommer det bli mer och mer möjligt att använda sig av denna typ av mer avancerade modeller, och WUI-NITY bör ligga i framkant för denna utveckling.

4.1.8 Modeller för räddningsinsatser

Den utvecklade plattformen tillåter för närvarande tvåvägskoppling mellan alla ingående delar i simuleringen men tar inte till vara på denna möjlighet till fullo i alla lägen. Ett exempel är ingripande från räddningstjänst som är helt frånvarande. Modeller för insatser som släckning via helikopter eller flygplan alternativt grävandet av brandgator i realtid hade varit av ytterst intresse då användaren aktivt kan ta beslut under pågående simulering och snabbt se dess påverkan på branden samt trafik. En sådan modell kan konceptuellt vara relativt enkel, men data behövs för att kunna prediktera hur effektiv respektive insats skulle vara vilket i nuläget är relativt okänt.

4.1.9 Förbättrat grafiskt användargränssnitt

Det grafiska användargränssnittet är det första som möter en ny användare, så för att säkerställa bred spridning av plattformen så bör extern input på användarvänlighet tas emot och användas för att förbättra upplevelsen. Nuvarande implementering är funktionell men kräver redigering av textdokument för att komma åt mer avancerade funktioner och inställningar. Arkitekturen av plattformen tillåter dock vem som helst att förbättra eller byta ut det befintliga användargränssnittet relativt enkelt, något som förhoppningsvis sker över tid organiskt. En ny modul för användargränssnittet har påbörjats på en frivillig basis av en extern aktör men är ännu ej moget för bruk.

| Bilaga 1

Bilaga 1: Publikationer och övriga aktiviteter i projektet

Artiklar (peer review)

Wahlqvist, J.; Ronchi, E.; Gwynne, S.; Kinatader, M.; Rein, G.; Mitchell, H.; Bénichou, N.; Kimball, A.; Kuligowski, E. (2020) The simulation of wildland-urban interface fire evacuation: the WUI-NITY platform, Safety Science, DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105145

Wetterberg, Niklas.; Ronchi, Enrico; Wahlqvist, Jonathan (2020) Individual Driving Behaviour in Wildfire Smoke, Fire Technology, DOI: 10.1007/s10694-020-01026-5

Rapporter

Ronchi, Enrico; Wahlqvist, Jonathan; Gwynne, Steve; Kinatader, Max; Benichou, Noureddine; Ma, Chunyun; Rein, Guillermo, Mitchell, Harry; Kimball, Amanda (2020) Fire Protection Research Foundation report: “WUI-NITY: a platform for the simulation of wildland-urban interface fire evacuation”

Examensarbete

Malick, Afroza (2021) Testing the wildland urban interface fire evacuation tool WUI-NITY: A case study of a rural community, Lund University, LUTVDG/TVBB—5640—SE

Wetterberg, Niklas (2020) A virtual reality experiment on driving speed in smoke during a wildfire evacuation, Lund University, LUTVDG/TVBB—5602—SE

Pågående: Ardinge, Adam (2021) Verification testing of traffic evacuation modelling for wildland-urban interface fire, Lund University

Ett samarbete mellan:



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap



LUNDS
UNIVERSITET