# TIDIG DETEKTERING AV SJÄLVANTÄNDNING I BIOMASSA FÖR ATT UNDVIKA BRAND

Magnus Ingelsten
Magnus Bång
Johannes Hägerlind
Anders Lönnermark

BRANDFORSK
2022:3

BRAND FORSK

# Referensgrupp

**Anders Lundberg,** MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
**Bobby Odenhag,** White Arkitektur
**Catja Appelros,** Eon
**Clas Herbring,** SKFAB
**Fredrik Lind,** Eon
**Gustav Stigsohn,** Fogmaker
**Joachim Ahlenbäck,** Räddningstjänsten Östra Götaland
**Johan Persson,** WIN Guard
**Maria Sätherström-Lantz,** WIN Guard
**Mattias Delin,** Brandforsk
**Rickard Hansen,** MSB, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap
**Samuel Andersson,** Räddningstjänsten Östra Götaland

Brandforsk återpublicerar projektrapporten från Win Guard, som även publiceras på deras hemsida www.winway.se för referens.

**”TIDIG DETEKTERING AV SJÄLVANTÄNDNING I BIOMASSA FÖR ATT UNDVIKA BRAND”**

**BRANDFORSK**
2022:3

Brandforsks verksamhet möjliggörs av stöd från olika organisationer i samhället. Läs mer om våra stödorganisationer på www.brandforsk.se

**Innehållsförteckning**

Förord ... 3
Sammanfattning ... 4
**1. Introduktion ... 5**
Problemställning ... 5
Projektmål och fokus ... 6
**2. Bakgrund ... 7**
Biomassa - definition ... 7
Befintlig teknik för detektion av brand ... 7
Självantändning i biomassa ... 8
Gaser och ämnen som indikation på varmgång ... 11
Biomassa med förutsättningar för självantändning ... 12
**3. Ansats och metoder ... 13**
Metod - väderfaktorer ... 14
**4. Resultat ... 15**
Summering ... 15
Påverkansfaktorer och sensordata ... 15
Behov av teknik för detektion av påverkansfaktorer ... 20
Omvärldsanalys av teknik- och detektions-metoder ... 22
Statistiska samband ... 25
Vädervariabler ... 26
Vindriktning ... 27
Sensorsystem för datainsamling ... 28
Maskininlärning – förslag på modell för prediktering ... 28
**5. Diskussion ... 31**
Förslag till fortsatt forskning och utveckling ... 31
Testmiljö för detektion ... 32
Utveckling av ett brandrisk-index och maskininlärningsmodeller ... 33
Applikation för registrering och riskbedömning av biomassa ... 34
Referenser ... 35
Appendix ... 36
A: Data och grafer statistik (LiU) ... 36
B. Lista teknik och företag för framtida test och utvärdering av detektion ... 39
C. Parallella lösningar och projekt ... 40

## Förord

Ett brett intresse föreligger kring behov från både räddningstjänsten, energi/värmeverk och industriella ägare av biomassa att minimera självantändning av biomassa. Bränder innebär också påverkan på miljö i form av emissioner och är därför av betydelse för samhället i stort.

Detta forskningsprojekt; *Tidig detektion av brand i biomassa*, är finansierat av Brandforsk (projektnummer 721-003) samt av EON och Kraftringen. Forskningsutlysningen var benämnd ”Brandsäkerhet i det hållbara samhället)

Behovet formulerades genom ett möte organiserat av WIN och Energikontor i norr med målet att identifiera utmaningar inom energisektorn. Självantändning i biomassa var en av utmaningarna och är ett problem relaterat till de globala klimatmålen, agenda 2030 med t.ex. förstörelse av fossilfri energi och onödigt utnyttjande av räddningstjänsten och dess resurser.

Det saknas teknik att tidigt detektera brand i biobränsle tillräckligt tidigt och befintliga lösningar är enligt energibolagen inte tillförlitligt varför nya sätt behöver adderas. Vi har valt att identifiera om AI och maskininlärning kan vara tillämpbart samt identifiera om annan och ny teknik såsom IoT-sensorer kan användas.

Vi har haft en referensgrupp som rådgivit projektet under fyra mötestillfällen. Ett tack till följande personer med vilka projektet haft givande dialoger och kunskapsutbyte:

Mattias Delin, mattias.delin@brandforsk.se
Maria Sätherström-Lantz, maria.satherstrom-lantz@winway.se
Johan Persson, johan.persson@winway.se
Fredrik Lind, Fredrik.Lind@eon.se
Bobby Odenhagm Bobby.Odenhag@kraftringen.se
Clas Herbing, clas.herbring@skfab.se
Gustav Stigsohn, Gustav@fogmaker.com
Anders Lundberg, Anders.Lundberg@msb.se
Joachim Ahlenbäck, joachim.ahlenback@rtog.se
Samuel Andersson, samuel.andersson@rtog.se

Andra personer som har bidragit med kompetens, information och synpunkter:

Alexander Lagerström, Jönköping Energi
Anders Wester, Klas Jonsson, Söderenergi
Dag Hanstorp, Göteborgs Universitet
Dan Madsen, Lunds Universitet
Florian Schmidt, Umeå Universitet
Göran Jonsson , P&B Brandkonsult AB
Jacob Wikner, Linköpings Universitet
Johan Haglöf, Stora Enso
Johan Mellqvist , Chalmers
Jonas Grahn, SCA
Lars Andersson, Stora Enso
Marcus Runefors, Lunds Universitet
Malin Johannesson, Växjö Energi
Margret McNamee, Lunds Universitet
Niklas Aurö, Gällivare Energi
Patrik Lundgren, Domsjö
Stefan Sjökvist, Termisk systemteknik AB
Viktoria Frisk, Mältan_Rödeby

## Sammanfattning

Definitionen av biomassa inbegriper förnybart fast organiskt material med syfte att användas för energiproduktion. Biomassan kan vara avverkningsrester från skogsbruket såsom flis och bark, men även sågspån, RT-flis (dvs. flisat returträ) samt trärester/spån från tillverkningsindustrin. Materialet förbränns för att producera energi, och är alltså en fossilfri energikälla. Biomassa lagras ofta i större avlånga högar som brukar benämnas stack eller limpa.

Industrin har identifierat problem med självantändning av biomassan och söker därmed bättre lösningar och nya metoder att tidigt detektera men också prediktera självantändning i biomassan. Grundorsaken är komplexa microbiella, kemiska och fysikaliska processer som utlöser varmgång i materialet som tillsammans med externa faktorer bidrar till självantändning. Den teknik som idag används för detektion av varmgång och brand i biomassa är främst temperaturspett och IR-värmekameror – som anses otillräckliga för ändamålet. Det som efterlyses är teknik eller metodik som kan ”se in i” stacken eller alternativa metoder, för att identifiera i vilket stadie nedbrytningsprocesserna fortgår. Syftet med denna förstudie har varit att identifiera nya metoder och teknik för att prediktera och detektera brand i biomassa.

Ett antal alternativa och komplementära tekniker har identifierats i projektet – utöver de frekvent förekommande temperaturspetten:

- Laserspektroskopi för mätning av CO, $CO_2$, $CH_4$ och VOC (volatile organic compounds = flyktiga organiska ämnen).
- Rökgas-sniffers för detektion av rök från pyrolys och brand.
- Gaskameror med detektion av både kondenserbara och icke kondenserbara gaser och dess anomalier. Av speciellt intresse är aerosolen Levoglucosan, som bildas när cellulosa bryts ner mellan 100-200 °C, alltså innan brand bryter ut, men vid kritisk varmgång.
- Multi-sensorer i stackarna som mäter temperatur, fukthalt och urval av gaser.

Det kan även finnas förutsättningar för att använda elektriska pulser för att detektera fuktiga resp. torra områden i stacken.

Rapporten beskriver även en statistisk undersökning gällande väderpåverkan och risk för brand baserat på 100 st händelser från MSB:s händelserapport och data från SMHI under 2018-2021. Rapporten ger förslag på lämplig teknik för att samla data från identifierade sensorer samt förslag på en lämplig metod inom AI och maskininlärning för att för att skapa en prediktionsalgoritm för ändamålet.

Det återstår att testa och verifiera dessa möjligheter i jämförelse med temperaturspett och IR-kameror, i en kontrollerad miljö där uppvärmning av en stack med biomassa sker och temperaturspett mäter varmgången. Det kan då avgöras när det är möjligt att med ovan tekniker identifiera de nivåer i nedbrytningsprocessen som gaser avges och är detekterbara.

# 1. Introduktion

Fossila bränslen, såsom biomassa (t.ex. flis) men också sorterade sopor för energiproduktion används i allt högre omfattning. En konsekvens av den ökade hanteringen och lagringen har risken för självuppvärmning ökat med självantändning och bränder som följd. Det finns de senaste åren flera exempel på bränder som krävt stora insatser av räddningstjänsten. Dessa bränder kan bli svårsläckta och är resurskrävande. Det behövs förutom personal även vatten (eller andra släckmaterial) och arbetsmaskiner under en längre tid. Bränder som uppstår på grund av självantändning är även förknippat med stora kostnader och uppgår till flera hundra miljoner kronor årligen. Att självantändning orsakas i biomassa/flishögar men även i spannmål och hö innebär alltså ett stort energislöseri och förstörelse av resurser och är därför hållbarhets- och klimatpåverkande, samtidigt som räddningstjänstens resurser dräneras. Självantändning orsakas t.ex. i följande miljöer:

- biobränslelager - med olika form av biomassa såsom träflis
- lantbruk och djurhållning – med lager av halm, hö, spannmål
- avfallsdepåer – sopstationer och depåer med avfall
- grot-högar efter skogsavverkning (= grenar och toppar).

Därför finns det ett stort intresse från aktörer med biobränslelager och avfallsbolag att hitta, testa och utvärdera nya tekniska lösningar eller metoder för att *prediktera och detektera självantändning i tidigt skede innan branden tar fart.*

Biomassa, eller också benämnt fasta biobränslen, är en av världens mest växande energikällor. Över 75 procent av energin som används för fjärrvärme i Sverige kommer från förnybar biomassa och avfall. Det sker c:a 500 bränder i biomassa och avfall varje år *(H.Persson, A Lönnermark et al_RISE)*. Brandskadekostnader beräknas till 150-350 miljoner kronor /200 bränder och att brunnet samt skadat material uppgår till totalt ca 6500-7500 ton. Årligen förloras 3-4 miljarder kronor i tappat energivärde pga. varmgång/oxidation i biobränsle.

## Problemställning

Framförallt energibolagen eftersöker nya lösningar problematiken med brand i biomassa då ingen pålitlig teknik finns för att detektera detta tillräckligt tidigt. Begynnande brand kan inte sägas ske på speciella ställen i högarna utan varmgång med oxidationen och pyrolys kan starta på olika djup, både utmed sidorna och mer centralt och därefter spridas åt olika håll beroende på flertalet olika omständigheter. Dessa omständigheter kan bero på biomassans sammansättning, skiktningar, torrhalt, yttre omständigheter såsom vindar och nederbörd.

Det som gör det så svårt att detektera brand i biobränsle är att orsakernas samband inte är helt klarlagda utan det ofta är en kombination av flera orsaker när det inträffar, och flera av dem är svåra att mäta. Det kan vara t.ex. kontaminering i högarna såsom rester av oxiderande material och andra katalysatorer såsom metallrester och fuktfickor, tillsammans med vindriktning.

Ett annat skäl är att dessa stackar (även kallade limpor) av biomassa ligger utomhus, varför en kraftig variation i sådana yttre förhållanden t.ex. temperaturer, vindar, dag och nattvariationer gör det svårt att bedöma dessa faktorers påverkan. I jämförelse med studier av pellets i silo där mätning av ppm-halter av är oberoende av väder. En annan faktor kan vara den fysiska hanteringen av högen, dvs. hur man gräver i materialet (kan skapa gnistor) samt värme från hjullastaren som kan påverka stacken negativt.

## Projektmål och fokus

Utmaningen som vi definierat är att undersöka möjligheten om en lösning med teknik såsom AI tillsammans med annan sensorteknik har förutsättningar att ännu tidigare detektera och även prediktera en begynnande brand i biomassa. Projektarbetet fokuserar på den biomassa som vanligen förekommer vid värmeverk. I projektansökan har vi formulerat följande målsättningar:

1. Att genomlysa befintliga forskningsrapporter och intervjua organisationer med erfarenhet från området och kartlägga orsaker till uppstådda bränder och möjliga orsakssamband.

2. Att genom intervjuer och eftersökning samla information om vilka tekniker som provats för att detektera brand, vilken typ av data som ger tidig varning och förebyggande insatser, för att skapa en bild av vad har fungerat och vad som inte fungerat samt andra indikatorer och dess betydelse.

3. Genom omvärldsanalys samt genom kontakter med innovationsföretag och andra aktörer identifiera möjliga nya innovativa tekniker, sensor teknologier och metodiker som kan vara del av lösningen.

4. I labbmiljö på Linköpings Universitet analysera data och prova antaganden, föreslå kombinationer av tekniker, sensorer, och data som man med AI-teknik kan skapa detektion och prediktion.

Även om självantändning förekommer i både biomassa, halm, hö och spannmål, pellets, avfalls-och återvinnig, fritt upplagt, inomhus eller i silor, har vi valt att fokusera på biomassa upplagt utomhus i stackar eller s.k. limpor vid kraftvärmeverk eller skogs-pappersindustrier. För t.ex. lagring i silor, som är en sluten och kontrollerad miljö finns väldigt mycket forskning och lösningar, som dock inte är applicerbara utomhus.

**Måluppfyllnad:**

- Vi har kunskap om påverkansfaktorer och hur dessa skulle kunna grupperas för datainsamling.
- Vi har identifierat komplementära och möjliga sätt att detektera vad som pågår i biomassa.
- Vi har utvecklat API-er för att hämta väderdata ur SMHI med olika tidshorisont för analys.
- Vi har analyserat väderparametrar som påverkansfaktor och funnit att t.ex. minskad nederbörd kan ha en betydelse för självantändning, men tillsammans med andra påverkansfaktorer.
- Vi identifierat en lämplig ansats för maskininlärning inklusive system för datainsamling och prediktion av bränder.
- Vi har förslag på några steg i framtida fortsatt forskning och utveckling skulle kunna se ut.
- Vi föreslår ett riskbedömningsindex och en applikation för att logga och registrerar data om stacken, som ett framtida projekt att utveckla.

# 2. Bakgrund

### *Biomassa - definition*

Biomassa används både i industrin för tillverkning samt i värmeverk (energiverk) där biomassan förbränns och värmeenergin används till främst produktion av fjärrvärme, el och processånga till industrin. Biomassa utgörs av förnybart material och kan de delas in i grot (grenar och toppar samt hyggerester från skogsavverkning), bark, skogsflis (flisad grot), träflis (flisat trä från virkes- och skogsindustrin av rent trä), spån (kutterspån och sågspån från sågverk och träindustri), returflis s.k. RT-flis (returträ, flisad trä- och byggåtervinning). Även pellets räknas hit. Pellets är fuktkänsligt och lagras alltid inomhus i silo eller planlager, som innebär speciella omständigheter, därav har vi inte fokuserat på detta då det finns och pågår mycket forskning på området.

De parametrar som är mest styrande för uppkomst av brand är (Graveus et al., 2015):

- varmgång: En följd av biologisk- och kemisk nedbrytning som resulterar i glödbrand
- kontaminering: Metallpartiklar och främmande material som agerar katalysatorer för en kemisk reaktion
  blandning av olika bränslesorter och olika fukthalt medför fuktvandring och därmed värmestegring.
- för hög lagringshöjd för vissa bränslesorter som t.ex. stamvedsflis kan innebära hög värmeisolering
- för lång lagringstid ger att nedbrytningsprocesserna har kunnat fortgå under längre tid
- körning av lastfordon i basen av bränslehögen som medför packning och högre densitet/tryck i stacken kan medföra ökad varmgång
- för dålig avrinningsmöjlighet i bränslehögar med ansamlingar av vatten och fuktvandring som följd ger ökad oxidationsreaktion
- extern antändningskälla, oftast från lastfordon, leveransfordon eller transportanordningar.

### *Befintlig teknik för detektion av brand*

Värmespett är vanligt förekommande för att ta temperaturen på några ställen i en stack med biomassa. Dock är biomassan isolerande och det krävs därför väldigt många spett på täta avstånd för att få en bild av temperaturfördelningen så att det blir orimligt att övervaka allt. Det vill säga problemet kan definieras såsom ”Nålen i höstacken”.

Termiska IR-kameror (IR = infra red ) används på några ställen. Det kräver avancerad bildbehandlings- och analysteknik med kontinuerliga mätningar av anomali, tendenser och trender där monitoreringen är automatisk. Dessutom behöver dessa kameror kunna skanna alla sidor av högarna och programmeras med algoritmer som sorterar bort falsklarm. Sådana falsklarm kan bero på passerande fordon, djur, reflexer, solinstrålning etc. Dock är variationerna stor på de lösningar som existerar från olika tillverkare. Det finns väl anpassad utrustning och system som ger information när det brinner. Det kan även finnas specifika riskobjekt som är begränsade i utbredning och därför av speciellt intresse att täcka med IR-kamera

Biomassa innehåller förutom huvudbeståndsdelarna cellulosa, hemicellulosa och lignin – även lättflyktiga kolväten (VOC), bland annat, terpener men även fettsyror av olika slag och hartser. Halterna av flyktiga kolväten blir förhållandevis höga i och runt omkring flisstackar. På samma sätt som för vattenångan så finns det en halt där luften är mättad på kolväten. Hur hög den halten är beror på temperaturen. Dessa parametrar och dess anomalier vore därför önskvärt att kunna detektera.

## Självantändning i biomassa

För att bestämma tillvägagångssätt för projektet måste vi förstå när, var och hur brand i biomassa uppkommer. Vi definierar biomassa i projektet såsom upplag i stackar utomhus av grot, bark, träflis, sågspån och träavfall för att använda i energiverk eller industri. Dessa stackar eller limpor kan ofta vara stora, t.ex. 50 meter långa och 5 meter höga och 15 meter breda.

Genom djupintervjuer ser vi ett tydligt mönster att det ofta är sk. skogsflis som drabbas värst av självantändning. Detta är även påvisat i annan forskning.

> *”Självuppvärmning är en process där ett material reagerar med syre vilket genererar värme. När värmeproduktionen överstiger värmeförlusten stiger materialets temperatur vilket kan leda till självantändning och förbränning.” ( P.Blomqvist_ M.Pushp _2021, RISE).*

> *”Dessa processer leder också till en nedbrytning av energivärdet i materialet. Mellan 10-24 procent förloras under en lagringstid på 6-12 månader” (Rupar-Gadd_LNU)*

Generellt börjar självuppvärmningsprocessen i bränslestackens geometriska centrum, där optimala fukt- och isoleringsförhållanden råder, vilka krävs för nedbrytningsprocessen och minimerar borttransporten av värme. Efter en temperaturökning till cirka 30 °C börjar fuktvandring i materialet ut från stackens centrum. Fukten kan sedan kondensera på vägen ut. Både fuktvandringen och kondensationen kan medföra ytterligare ökning av temperaturen.

Enligt företaget *Sensite Solutions* så finns ett tydligt linjärt samband mellan temperatur och fuktighet i materialet med ökad brandrisk som följd (*Fig 1*). Utan vidare information om materialet så konstateras att under 20°C och med max 20 % fukthalt så föreligger låg risk för varmgång och brand.

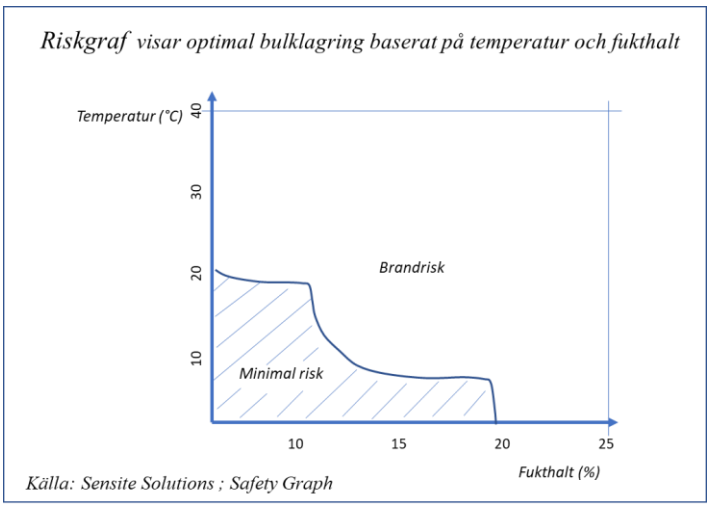



*Fig 1: Grafen visar kritiska gränser för fukthalt och värme i biomassa.*

Mikrobiella förutsättningar, liksom om träslaget innehåller högre halter av lignin (kan man kalla träets lim, i cellväggarna), halten av terpener (kolväteföreningar), om fukthalten är mer än 20 % (skogsflis kan ha fukthalt på mellan 35-60 %) och ojämn fukthalt i materialet är starkt bidragande orsaker till varmgång och självantändning. En fukthalt på 20 % medför så pass torrt material att svampar och bakterier vid mikrobiell aktivitet inte kan använda sig av det fria vattnet i bränslet, då avstannar nedbrytningsprocesserna *(Lehtikangas, 1999)*. Byggnads- och träåtervinning, med inblandning av andra material och metaller kan vara katalysatorer för självantändning, då t. ex metaller bidrar till oxidationsprocesserna.

Det optimala förhållandet som krävs för nedbrytning sprider sig i stacken och medför därmed att den värmealstrande nedbrytningsprocessen kan fortsätta utanför stackens centrum. (*ref: Thörnqvist, 1984*). På grund av att värmeutvecklingen inleds i stackens geometriska centrum är självantändningen är svår att upptäcka. Branden hinner ofta utvecklas samt spridas i stacken innan den upptäcks (Lönnermark et. al., 2008).

Nedbrytningsprocesserna dominerar inom olika temperaturintervall. För nedbrytningsprocessen som medför en temperaturökning upp till 70 °C, är mikroorganismerna ansvariga för (Thörnqvist, 1984).

Vid ca 75 °C avstannar den mikrobiologiska processen och temperaturen stabiliserar sig, men kan beroende på vattenavdunstning och kemiska processer plötsligt accelerera och temperaturen i materialet ökar då igen innan det börjar brinna. Det är vid dessa temperaturer som åtgärder måste vidtas eller ännu hellre vid lägre temperaturer. Att öppna upp stacken för att leda bort värme och fukt är en vanlig åtgärd. Om temperaturen fortsätter att stiga över 100 °C kan pyrolys (förkolning) börja ske och om temperaturen ökar ytterligare och syre tillförs kan en brand starta. Starka vindar, förändring i vindriktning eller om stacken öppnas upp kan bidra till ett snabbare brandförlopp.

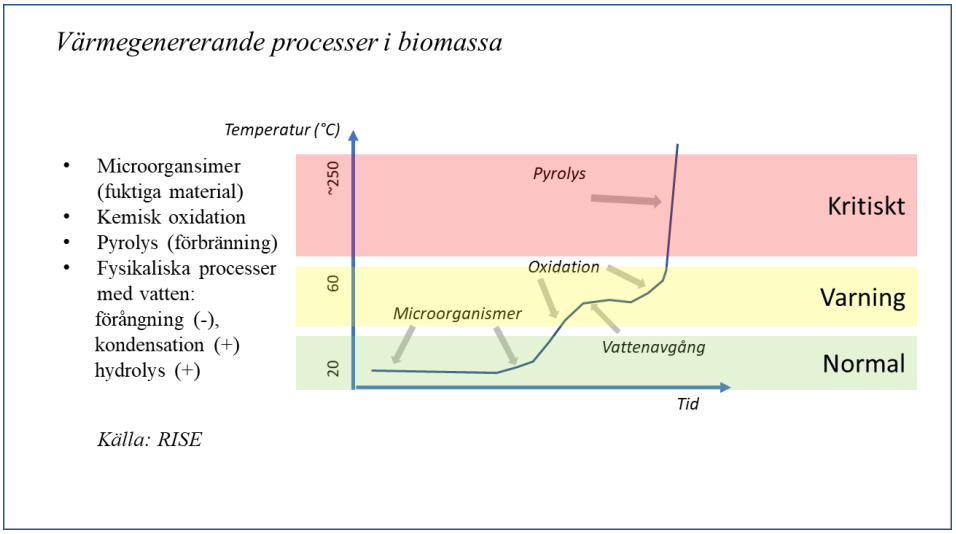



*Fig 2: Grafen visar de flertal processer som pågår med samtidig fuktvandring. En prediktering av risknivåer när gränserna för temperaturer eller processerna passerats är eftersökt.*

En temperaturstegring i stacken är ett första varningstecken för en förhöjd risk för att brand ska uppstå i lagringen. I dagsläget saknas det information för att enkelt kunna skilja vad som är en riskfri temperaturökning åt från en temperaturökning som kan leda till självantändning *(Lönnermark et. al., 2008).*

En generell beskrivning av självantändning är att fenomenet uppstår när värmeproduktionen i biomassan är större än värmeförlusterna. En spontan uppvärmning är en naturlig process. Den beror på mikrobiologiska, fysikaliska och kemiska processer som om de får fortgå utan nedkylning kan orsaka självantändning. I första fasen orsakas uppvärmningen när materialet bryts ned av biologiska processer med hjälp av mikroorganismer. Just i ytskiktet av träd och grenar (barken) finns rikligt av mikroorganismer. Även graden av mögligt material ger en betydande påverkan på initiala temperaturstegringar. Att effekterna mångdubblades då flisen är möglig tyder på att de biologiska processerna kan vara ansvariga för den initiala temperaturstegringen i en flisstack. För de biologiska processerna krävs också en viss fukthalt. Med rätt förutsättningar kan denna nedbrytning leda till varmgång genom att organiska material tar upp värme som kan leda till självantändning och om värmen inte ventileras bort stiger temperaturen och en kemisk oxidationsprocess kan starta.

.

Ett antal olika processer leder till självuppvärmning:

- Mikrobiella processer (kompostering)
- Kemisk oxidation (exotermisk reaktion)
- Fysikalisk fuktabsorbtion

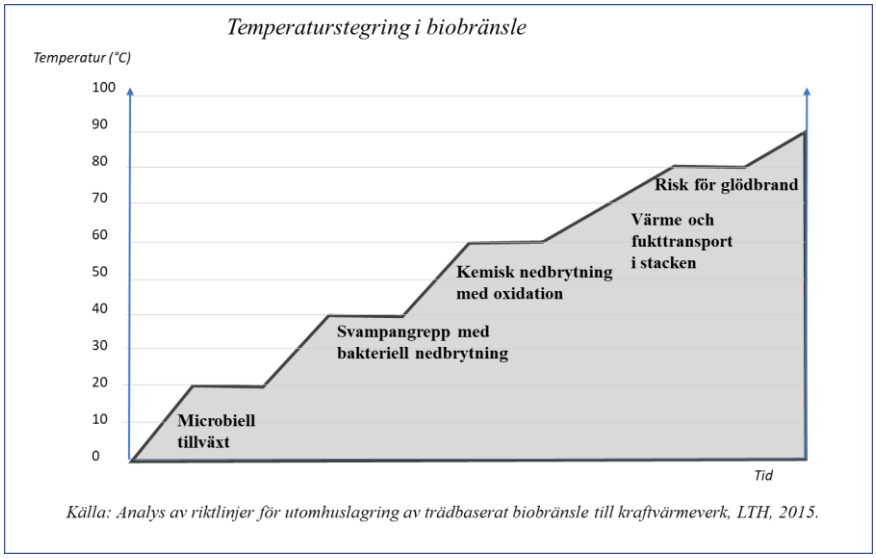



*Fig 3: Grafen visar stigande temperatur med biologiska och kemiska processer i stacken.*

Det sker en rad olika processer i flis varav de följande är av betydelse vid förvaringen. Dessa kan indelas i sex olika kategorier som alla reagerar på specifika förhållanden. (*U. Lejnarova M.Zilén, LIN, 2010)*

Kategorierna är:

- aerob-nedbrytning: process som kräver syre och avger restprodukter koldioxid och vatten
- anaerob-nedbrytning: process som utan syre avger organiska restprodukter
- förångning och kondensering av vatten, energin torkar materialet
- förångning och kondensering av flyktiga kolväten (VOC)
- förbränning av fast material
- förbränning av flyktiga kolväten.

I dessa processer bildas alltså olika ämnen som om de kan detekteras kan ge information om vilka processer som fortgår i stacken och därmed skapa en bild och prediktion av skeendet.

### *Gaser och ämnen som indikation på varmgång*

Alla dessa processer kan medföra en produktion av gas och en energiomsättning som övergår i värmeenergi. Detta kommer att ge upphov till tryckskillnader i stacken som kommer driva flöden av gas. Eftersom gasen i stacken kommer få en högre temperatur får den även en lägre densitet. Detta gör att det statiska trycket i botten på stacken kommer att vara lägre än trycket strax utanför på samma höjd. Gas sugs då in från sidorna och en slags skorstenseffekt uppstår som figuren nedan illustrerar.

Detta är en drivande kraft för de aeroba processerna i stacken som är betydande för värmeutvecklingen och energiförlusterna. Är stacken stor och isolerande så sker inte värmeavledning och värmen stiger.

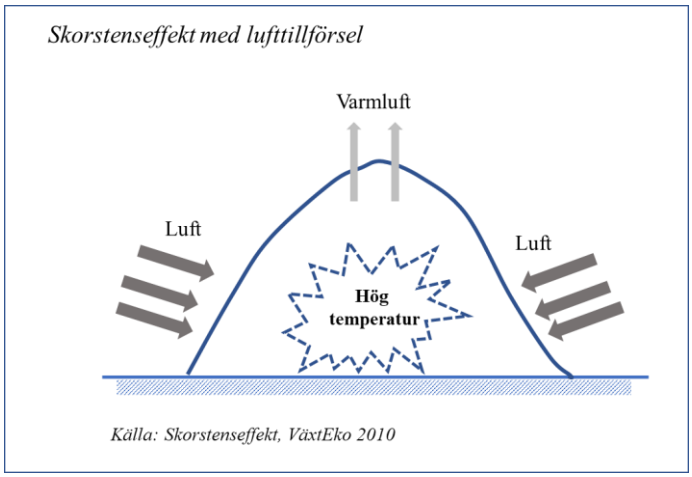



*Fig 4: Grafen visar syretillförsel ökar temperaturen i stacken*

Dessa biokemiska processer är komplicerade, -”De kemiska och fysikaliska processer som förorsakar varmgång vid lagring av pellets är inte helt utredda men beror troligtvis på oxidationsprocesser, fuktvandring och fuktabsorbtion. Det är också konstaterat att fett- och hartssyror oxideras till kondenserbara gaser (aldehyder, ketoner) genom exoterma kemiska processer vid lagring av pellets. Vid processen bildas kolmonoxid (CO), koldioxid ($CO_2$) och metan ($CH_4$) medan syre ($O_2$) förbrukas.” *( Finell, Arshadi et al, SLU, 2016).*

I nedbrytningsprocessens tidiga del (mikrobiologiska processen) frigörs metangas ($CH_4$), och under den kemiska oxidationen frigörs speciellt koloxid (CO) och koldioxid ($CO_2$), som (tillsammans med sänkt $O_2$-koncentration p.g.a. att syret förbrukas i den kemiska processen) är farliga för människan och orsakat dödsfall i stängda utrymmen såsom i silos och i lastfartyg. (*SLU rapport 11, 2016 beskriver; ”.. Emissionerna av aldehyder och CO-, $CO_2$-, $CH_4$- och $O_2$-förändringen under lagring bekräftar autooxidation vid lagring av pellets. Temperaturstegringen i högarna, stöder också detta.”)*

*(Koppejan m.fl. (2013*): (översatt) “Mätningen av koloxidkoncentrationen ovanför pelletsytan är en passande metod för att detektera “aktivitet” i massan.” Det beskrivs vidare: (översatt) “Oxidationen sker vid temperaturer över 5 °C och genererar värme, icke kondenserbara gaser (i huvudsak CO, $CO_2$ and $CH_4$ ) plus ett antal kondenserbara gaser (t.ex aldehyder och ketoner). Ju högre temperaturer, desto högre avgasning från massan.

**Levoglucosan – en aerosol som bildas vid nedbrytning av cellulosa**

På LTH har man undersökt och konstaterat ökad aerosolproduktion vid värmeexponering av träpellets som gav en tidig indikation på termisk nerbrytning (pyrolys). Det sker en nerbrytning av cellulosa och en markör för detta är Levoglucosan. Ämnet är tämligen stabilt och bildas kring 200 °C, dvs. detekteras detta sker en förkolning av cellulosa. Träbaserad biomassa består av 40-50 procent cellulosa (Madsen et al., 2018)

Levoglukosan ($C_6 H_{10} O_5$ ) är en organisk förening till sex kol atomer , som bildas genom pyrolys (eller bränning) av kolhydrater , såsom stärkelse eller cellulosa . Därför kan Levoglukosan användas som ett kemiskt spårämne för förbränning av någon del av biomassan. Liksom andra spårämnen som kalium, oxalat och metylcyanid i gasform har nivån av Levoglukosan visat sig vara mycket starkt korrelerad med närvaron av växtbränder, eftersom gaserna som härrör från pyrolysen av trä innehåller betydande mängder Levoglukosan.

Vi drar slutsatsen att mer forskning och undersökning behövs för att skapa större klarhet i koncentration av ovan ämnen i fri luft vid oxidation och pyrolys i biomassa. Det finns data för pelletlagring i silos där luften ovan biomassan är innesluten och relativt homogen. De finns väldigt lite data från erfarenheter av lagring av biomassa utomhus. Då biomassa som används i energiverk oftast lagras, krävs mätmetoder som kan detektera anomalier av avgivna ämnen från stacken, då koncentrationen av dessa ämnen snabbt minskar i fria luften. Metoden för detektion av Levoglukosan vid labbförsök har varit gaskromatografi-masspektrometri (GC-MS).

En enklare och snabbare analysmetod är önskvärt för användning på biomassa in-situ.

### *Biomassa med förutsättningar för självantändning*

Rent och torrt okompakterat träflis är det mest stabila materialet, då det inte innehåller ideala förutsättningar för microbiologi eller kontaminering, därför är även sågspån och kutterspån relativt stabilt. Fuktig bark eller skogsflis (flisat grot, löv och kvistar) är det material som innebär störst risk för självantändning då förutsättningar för microbiell aktivitet är störst.

Enligt flera rapporter är det följande material som har störst risk för självantändning (i fallande ordning: 1) flisad grot, 2) bark , 3) skogsflis, 4) träflis (avbarkad).

# 3. Ansats och metoder

Befintlig forskning i ämnet har studerats för att fånga orsakssamband och metodik kring ämnet.

För omvärldsanalys av detektionsmetoder och sensorteknik har flera universitet och teknikleverantörer kontaktats och intervjuats.

För analysen kring samband och ai/maskininlärning har vi använt dels kvantitativa data från händelser med misstänkt självantändning i biomassa som är upplagt på industrimark. Detta har vi erhållit från MSB och är informationsutdrag från räddningstjänstens händelserapporter. Vi har där statistik från ca 250 händelser, varav ca 110 bränder utan tvivel är självantändning i biobränsle av typen flisupplag från tiden mellan 2018-2021. Övriga händelser är troligen relevanta. Vi har ungefärlig GPS-position samt tidpunkt för dessa händelser.

Utifrån ett möte med Sustainable Business Bridge, som drivs av Energikontor Norr samt WIN där utmaningen ”Detektion av brand i biomassa” presenterades deltog många intressenter (utmaningarna beskrivs numera på: Startpage - Greenably.) Dessa intressenter - i form av energibolag och teknikbolag - har kontaktats för dialog och information till detta projekt. Genom intervjuer med 9 st. energibolag har vi fått kvalitativ information om reella incidenter gällande självantändning i biomassa. Informationen innefattade detaljerad information om materialet samt läge på karta och GPS-position. I en del fall var händelserna även välbeskrivna med klockslag, fukthalt och bildmaterial.

*De bolag som bidragit med denna information är:*

- *Domsjö Fiber*
- *EON, Händelöverket*
- *Gällivare Energi*
- *Jönköping Energi*
- *Kraftringen, Örtofta*
- *Mältan, Rödeby*
- *SCA*
- *Stora Enso*
- *Söderenergi*
- *Växjö Energi*

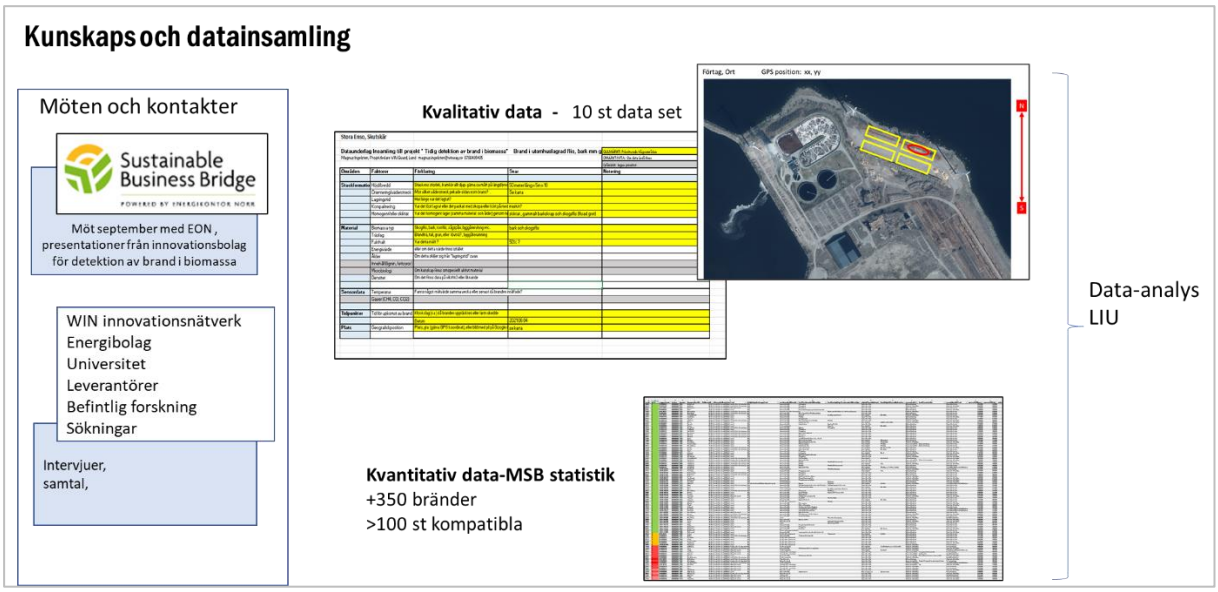



*Fig 5: Insamling av dataunderlag.*

## Metod - väderfaktorer

I ett försök att undersöka hur olika väderfaktorer påverkar risken till bränder i flishögar undersöktes ca 100 bränder, där vi kunde konstatera att en spontan brand skett. Datan erhöll vi i december från MSB:s incidentdatabas, 2018-2021, och är baserat på räddningstjänstens händelserapportering. Först undersöktes generella trender såsom vilken månad och vid vilken tidpunkt brandlarm inkom. För att studera eventuella samband med väderförhållanden på respektive plats skrevs ett pythonscript som givet en position och en tidpunkt hämtade data 'N' dagar bakåt i tiden från närmaste SMHI-väderstation. Datan hämtades från https://opendata.smhi.se/apidocs/metobs/. Då positionsdatan för bränderna var angivna i SWEREF 99 TM, och SMHI använde vanlig longitud och latitud, behövde koordinaterna omvandlas. För att göra denna omvandling användes python-bilioteket PyProj (2021).

För varje brand valdes den närmaste väderstationen som inhämtade data för variabeln av intresse i samband med branden för beräkning av avstånd utifrån latitud och longitud. (se Bajaj 2021). Viktigt att notera är att beroende på var branden skett och vilken typ av variabel som studerades, så varierade avståndet till närmaste mätstation och därmed 'noggrannheten' i mätvärdena.

De vädervariabler som studerades var följande: lufttemperatur, vindhastighet (medel), relativ luftfuktighet, nederbörd, lufttryck, solskenstid, global irradians, total molnmängd, byvind och 'maxmedelvind'. Värden för variablerna var angivna varje timme. *Maxmedlvind* definieras som maximum av vindens medelhastighet under 10 minuter de senaste 3 timmarna. För med detaljer kring de enskilda variablerna se enheter på tabellerna i 'Appendix - normalfördelningar', samt (SMHI REST, 2022). Utöver detta gjordes fallstudier av vindriktning för några bränder där författarna erhållit mer data. I dessa fallstudier var brandens ursprung och stackhögen utbredning markerad.

Bakom valet av variabler låg hypotesen att värme, fukt och vind skulle kunna påverka risken för brand. SMHI (2021) skriver att "Nederbörd, temperatur, relativ fuktighet och vindhastighet har störst inverkan på brandrisken". Detta påstående rör skog och mark och kan även gälla för bränder i flishögar. För att kunna göra en statistisk jämförelse hämtades väderdata 30 dagar bakåt i tiden för respektive brand. Sedan undersöktes värdena på vädervariablerna i samband med när larmet om branden inkommit. Variabelvärdena för en och två timmar innan branden undersöktes också. Då variabelvärdena var angivna per timme erhölls 720 mätvärden per brand (24×30). Medelvärden för variabler x timmar innan branden $0 \leq x < 720$ beräknades genom att summera värden för alla bränder och dividera med totala antalet bränder. Medelvärdet för en variabel borde vara ungefär normalfördelade.

# 4. Resultat

*Summering: möjliga sensortekniker*

Som beskrivits tidigare har vi i projektet identifierat ett antal komplementära och nya sätt att detektera vad som pågår i en stack av biomassa. Sådana metoder behöver tillföras för att skapa en bild av vad som sker i stacken och som användas av en maskininlärningsmodell för prediktering. Dessa metoder används inte idag för ändamålet, men tekniken finns och är möjlig att anpassa:

*Laserspektrometri* kan användas och belyser stacken med filtrerad laser och detekterar anomalier av gaser och partiklar. Här har vi kontakt med 2 företag som har produkt och kompetens, för att bygga och/eller anpassa en lösning. En sugande *sniffer* som är känslig och kan detektera rökgaser utomhus – Vi har identifierat produkt och leverantör i vårt nätverk, och utrustning som är klar att testas.

*Multi-sensorer av IoT-typ* som kan fånga upp både temperatur, fukt och viss gas som kan monteras på spett eller som en sensorboll som inbäddas i stacken. En annan möjlig teknik som diskussion med LU har framkommit är att *elektromagnetisk pulsning* skulle kunna användas för att detektera fukt respektive torra partier.

Det finns *Gas-kameror (IR)* som skulle kunna anpassas och testas, där filter kan behöva utvecklas för aerosoler (Levoglucosan), där vi har pratat med leverantörer och forskare.

## Påverkansfaktorer och sensordata

Påverkansfaktorer kan vara indikatorer och mätvärden som tillsammans eller enskilt är katalysatorer för självantändning beroende vilken grad de verkar och hur dessa samverkar är avgörande i olika grad för hur stor risken är.

Vad vi vet och fått bekräftat från de 10 kvalitativa undersökningarna är att det finns tydliga samband mellan självantändning och hög fukthalt, mängden mikrobiellt material och biomassan var blandat och upplagt under flera tillfällen. I det framkom i dessa intervjuer att dessa påverkans faktorer samverkade i 80 procent av bränderna. Se fig 6. Detta är även förenligt med lagringsföreskrifter om vad som bör undvikas.

**Kvalitativ data – från 10 st fall av självantändning av biomassa på energiverk**

**Indikation på påverkansfaktorers betydelse för brandrisk.**

| | Ålder (mån) | Blandat träslag | Blandat äldre/nytt | Hög fukthalt >35% | Kontaminering | Microbiellt material | Tid på året |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Upplag | | | | | | | |
| 1 | 3 - 5 | x | x | x | Bark | x | Sept |
| 2 | 15 | | | | Papp, lim, briketter | | Sept |
| 3 | 5 - 8 | | | x | Grot, skogsflis | x | Dec |
| 4 | 6 | x | x | x | Grot, Skogsflis | x | Okt |
| 5 | 6 | x | x | x | Grot, Skogsflis | x | Feb |
| 6 | 4 | x | x | x | Städflis, metall | x | Aug |
| 7 | 3 -5 | | x | x | Bark | x | Okt |
| 8 | | | x | x | Städflis, Bark | x | Juni |
| 9 | 3-5 | | x | x | Bark | x | Dec |
| 109 | 3 - 9 | x | x | | RT-flis, byggåtervinning | | Aug |
| | ~ 6 mån | 50% | 80% | 80% | | 80% | |

*Fig 6. Sammanställning av kvalitativ data från intervjuer med 10 energibolag.*

Genom befintlig forskning och i de diskussioner som förts i projektet har vi definierat huvudsakligen fyra grupper av sådana påverkansfaktorer.

Vi kan eller skall inte i detta läge med säkerhet säga hur dessa faktorer påverkar eller vid vilken nivå, då detta måste göras genom framtida forskning och utveckling där tester gör med brand i biomassa i kontrollerad miljö där mätningar över tid och utvärdering och statistiska analyser kan ske. Det vill säga att identifiera när i uppvärmningsprocessen som sensorer och kameror kan detektera avgivande ämnen, fukt och temperatur. Därefter kan med tillräcklig mängd data samband mellan påverkansfaktorer analyseras med maskininlärning och provas.

Påverkansfaktorer kan delas in i följande grupper:

- Materialegenskaper: Biomassan och dess egenskaper, typ av biomassa, träslag, ålder, kontaminering i huvudsak från tidpunkten för uppläggning av biomassan
- Upplagsdata: Stackformation såsom storlek, läge, skiktning, kompaktering mm.
- Klimatdata: Väderinformation nederbörd, luftfuktighet, temperatur, vind mm.
- Sensordata: Kontinuerlig momentan mätdata såsom fukthalt, gaser, temperatur mm.

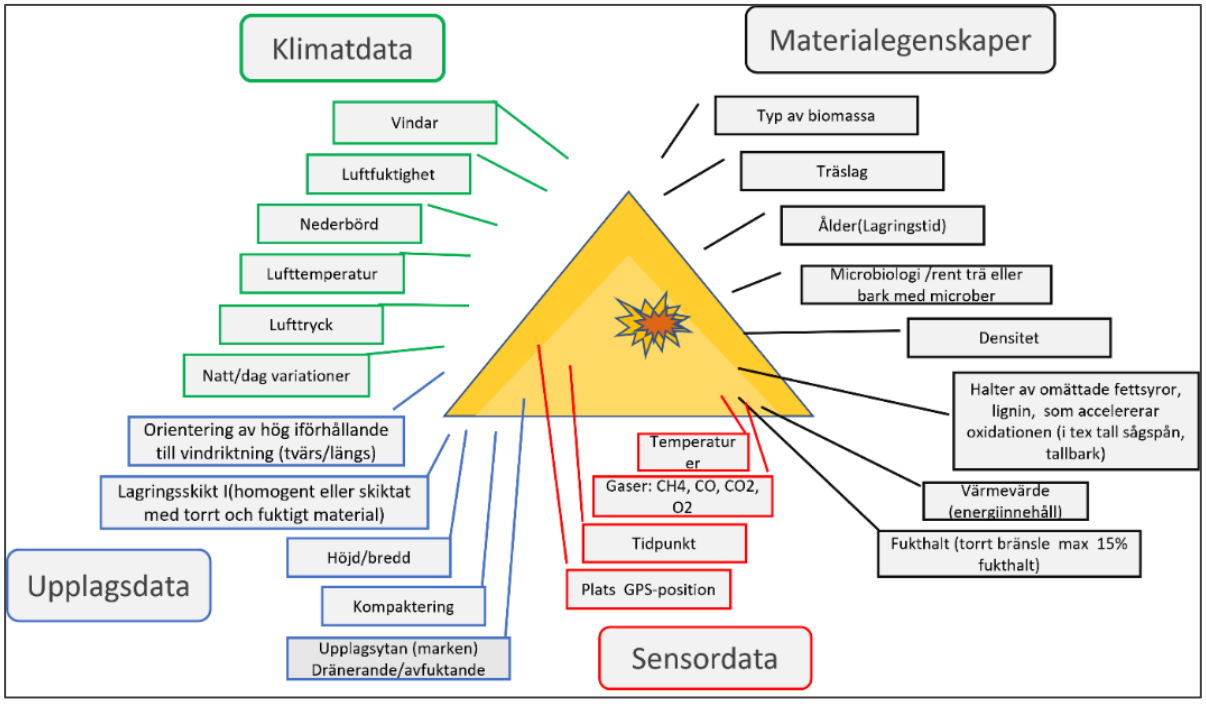



*Fig 7: Identifierade påverkansfaktorer och mätvärden som är viktiga för en prediktions och detektions modellering*

I tabell 1 nedan, presenteras och beskrivs olika identifierade påverkansfaktorer.

| Påverkansgrupper | Påverkansfaktorer | Relevans | Enhet |
|---|---|---|---|
| **Väderdata** | Vindriktning | Blåser vinden längs med eller på stacken. Vindstyrkan och stackens position är avgörande. | Väderstreck |
| | Vindstyrka | Ju mer vind medför syretillförsel accelererad pyrolys | m/s |
| | Luftfuktighet | Låg luftfuktighet kan påverka fuktvandring | % |
| | Nederbörd | Nederbörd skapar förutsättningar för den biologiska nedbrytningen | mm |
| | Temperaturer | Uppvärmning och upptorkning av stacken | °C |
| | Lufttryck | Kan påverka luftens fuktabsorbtion | hPa |
| | Natt/dag variation | Kan påverka risken , t.ex kondensation av fukt | |
| **Stackformation** | Höjd/bredd | Lagringsföreskrifter begränsar storleken och risk | m |
| | Orientering/väderstreck | Kan vara viktigt kopplat till vindriktnig | Väderstreck |
| | Lagringstid | Hur länge materialet lagrats på plats | timmar eller dagar |
| | Kompaktering | Hur detta påverkar är beroende på biomassa | |
| | Homogent/eller skiktat | Skiktat material ökar fuktvandring och varmgång | |
| **Material** | Biomassa typ | Skogsflis och bark ökar microbiella processerna | |
| | Träslag | Vissa träslag byts ner snabbare | % |
| | Fukthalt | Hög fukthalt kan accelerera varmgången | % |
| | Energivärde | Kan indikera hur långt nedbrytingen pågått | MJ/kg |
| | Ålder | Hur gammal är biomassan i stacken, olika ålder | |
| | Innehåll (lignin, fettsyror) | Ett rikt material påskyndar nedbrytningsprocessen | |
| | Microbiologi | Högt innehåll av microbiolologi ökar risken | |
| | Densitet | Annat mått på fuktinnehåll och materialtyp | kg/m3 |
| | | | |
| **Sensordata** | Temperatur | Direkt proportionllt mot ökad brandrisk | °C |
| | Gaser ($CH_4$, CO, $CO_2$) | Anomali av gaser och ämnen | % el ppm för relevanta gaser |
| **Plats** | Geografiskposition | GPS-position kopplas till väderdata | Koordinater |

*Tabell 1: Tabell visar exempel påverkansfaktorer och dess relevans och mätenheter.*

I följande tabeller listas påverkansfaktorerna och hur en klassificering av dessa utifrån risk, med gradering 1-5 (låg till högrisk) skulle kunna se ut.

**Klimatdata som påverkansfaktorer – från lokal väderstation alternativt data från SMHI**

Klimatdata:

Klimatdata från upplagsplatsens egen väderstation alternativt en nära SMHI-väderstation.

**Klassning av påverkansgrad (exempel)**

1. Ingen/minimal påverkan
2. Liten påverkan
3. Medium påverkan
4. Större påverkan
5. Hög grad av påverkan

| **Påverkans-klassning** | **Vindstyrka** | **Vindriktning mot stacken** | **Luftfuktighet** | **Nederbörd** | **Temperatur** | **Dag/natt variation** | **Lufttryck** | **Direkt sol eller molnighet** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Viss vindstyrka under viss tid medför syretillförsel | Vindriktning längs med eller 90gr mot stacken. I relation med vindstyrka ? | Högre eller lägre luftfuktighet. Påverkar stackens fuktvandring | Hur mycket nederbörd och under vilken tid kan påverka | Omgivningstemperaturens påverkan på stackens värme/nedkylning | Kan sådan variationer påverka och i vilken grad | Hur kan lufttryck påverka fukthalt, kondensering | Direkt sol lär väl även bero på årstid (dvs om solen står högt eller lågt) | |
| **1** | | | | | | | | | |
| **2** | | | | | | | | | |
| **3** | | | | | | | | | |
| **4** | | | | | | | | | |
| **5** | | | | | | | | | |
| **Enhet** | m/s | Vinkel ° | % | mm | °C | | hPa | | |

*Tabell 2: Påverkansfaktorer- klimatdata: Fångas via SMHI och/eller lokal/egen väderstation under tiden som stacken är upplagd.*

## Sensordata – Kontinuerlig momentan mätdata om anomalier i och runt stacken

### Sensordata:

Anomalier som momentant påvisar trender. Tex temperatur ökning i materialet som skall bedömas i relation till t.ex solinstrålning.
Avgivna gaser (CO, CO2, etc) som kan härledas till varmgång/pyrolys i biomassan.

**Klassning av påverkansgrad (exempel)**

1. Ingen/minimal påverkan
2. Liten påverkan
3. Medium påverkan
4. Större påverkan
5. Hög grad av påverkan

| Påverkans-klasser | Temperatur | Fukthalt | Gaser | Position * | Tid * | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Temperatur kan mätas i stacken och på stacken och bör korreleras med klimatdata som t.ex. solinstrålning | Fukthaltens förändring. Bör sättas i samband med klimat-data och är beroende på var i stacken detta mäts. | Här kan det finnas ett stort antal gaser som detekteras separat och värderas | GPS för att användas med klimatdata | Tidpunkter för registrerade sensorvärden och i relation till ålder på stacken. | |
| **1** | | | | | | |
| **2** | | | | | | |
| **3** | | | | | | |
| **4** | | | | | | |
| **5** | | | | | | |
| **Enhet** | | | | | | |

* Data finns i MSB statistiken

*Tabell 3: Påverkansfaktorer- sensordata samlas in och analyseras kontinuerligt för anomalier. Position är i sig ingen påverkansfaktor men viktigt för att avgöra varifrån mätningar och sensordata hämtas.*

## Upplagsdata - data om stacken och dess förändringar genom förbrukning och påbyggnad

### Upplagsdata:

**Klassning av påverkansgrad (exempel)**

1. Ingen/minimal påverkan
2. Liten påverkan
3. Medium påverkan
4. Större påverkan
5. Hög grad av påverkan

| Påverkans-klassning | Storlek på stacken | Kompaktering | Ytunderlag | Skiktat | Väderstreck på stacken * | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Stor stack eller liten stack (vad definierar..) | Har maskiner packat materialet | Dränerande, torrt, hårdgjord | Blandning av material föranleder fuktvandring | Påverkan tillsammans med vindriktning | | | | |
| **1** | | | | | | | | | |
| **2** | | | | | | | | | |
| **3** | | | | | | | | | |
| **4** | | | | | | | | | |
| **5** | | | | | | | | | |
| **Enhet** | | | | | | | | | |

* Data finns i upplagsundersökningarna.

*Tabell 4: Påverkansfaktorer- Upplagsdata. Under det att material används eller byggs på stacken skall alla förändringar registreras*

**Materialdata - data om biomassan egenskaper vid uppläggning i stacken**

Materialdata:

| Påverkans-klassning | Typ av biomassa | Träslag | Ålder | Mikrobiologi | Fukthalt * | Inblandning | Kontaminering | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Skogsflis, grot, RT-flis, träflis, bark , puckar | Vissa träslag med mer lignin, tex tall | Äldre biomassa har lägre energivärde | Kopplat till typ av biomassa. | Den uppmätta halten vid upplagstillfället och kontinuerligt? | Blandat material från olika källor? | Inblandning av metaller, plaster , orent material | | |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |
| Enhet | | | | | | | | | |

* Exempel - ej bekräftat

*Tabell 5: Påverkansfaktorer- Materialdata. Den förmodligen viktigaste gruppen av faktorer med avgörande påverkan på risk för brand. Dessa data registreras vid uppläggning av biomassan i stacken.*

## Behov av teknik för detektion av påverkansfaktorer

**Bakgrund**

I de flesta stackar med biomassa finns idag inga sensorer som registreras de processer som sker i materialet. Temperaturspett och IR-kameror används på flera ställen men de anses inte helt tillförlitliga, därför finns det behov av nya metoder för att övervaka biomassa för detektion av de parametrar som indikerar en långt gången uppvärmningsprocess.

Problematiken är inte att den befintliga tekniken inte fungerar per se utan att det blir svårt att täcka större stackar med sensorer (punktanalys) samt att de gör detektion i sena skeden. Ett temperaturspett som sitter nerstucket i en stack känner av vad som händer inom ett par meter i omkrets varför en lösning som kan skanna eller känna av hela stacken efterfrågas. Idag ger de båda nämnda metoderna endast temperaturstegring. Problemet med värmekameror är att när temperaturen ökat vid stackens topp så är det i princip för sent, då väl utvecklad pyrolys är på gång inne i stacken. Liksom att kamerorna är fast monterade och ofta bara ser vissa delar av stackarna. Dock är denna metod bra om ett komplett system som automatiskt analyserar data och larmar vid de gränsvärden som definierats. I en sådan lösning behövs en mer avancerad dataanalys med tillägg av maskininlärning.

**Behov**

Önskvärt vore om ovannämnda tekniker kan kompletteras med teknik som kan detektera en process som leder till brand innan denna uppstår.

**Bättre väderdata**

Klimatdata måste säkerställas att de är lokala och från samma plats som stacken är upplagd. Det finns idag bra trådlösa väderstationer med API som fånga den data som behövs. T.ex. finns WiFi-uppkopplade väderstationer med MODBUS-kommunikation, som ger mätdata för vindriktning, vindstyrka, solinstrålning, nederbörd och luftfuktighet från Tyska LUFFT, exempelvis modell WS3100-UMB, eller från Davies instruments, modell Vantage Pro 2 tillsammans med solinstrålningssensor och programvara.

**Kravställning på ny sensorteknik för avkänning av stacken**

- ska kunna känna av hela stacken
- ska kunna ske utan mänsklig aktivitet eller närvaro
- ska kunna utföra kontinuerlig automatisk mätning, analys och larmning.
- gärna trådlös infrastruktur
- ska kunna ta hänsyn till andra parametrar och faktorer som påverkar värmeutvecklingen.

Vilka andra mätbara faktorer, förutom värme skulle ny sensorteknik kunna även kunna detektera?

- fukthalt i biomassan och dess förändringar – Fuktvandring och förändringar i fukthalt är processer som föranleder oxidationen varmgång som kan leda till brand
- koloxid (CO), koldioxid ($CO_2$), metan ($CH_4$) – Förändringar i dessa nivåer och över/underskridande av gränsvärden för dessa gaser indikerar var i nedbrytningsprocessen biomassan befinner sig
- kondenserbara partikelämnen i rökgaser från pyrolys
- ångbildningar vattenavgång/fuktvandring
- ämnen som ger karakteristiska dofter vid kemiska processer och pyrolys i stacken.

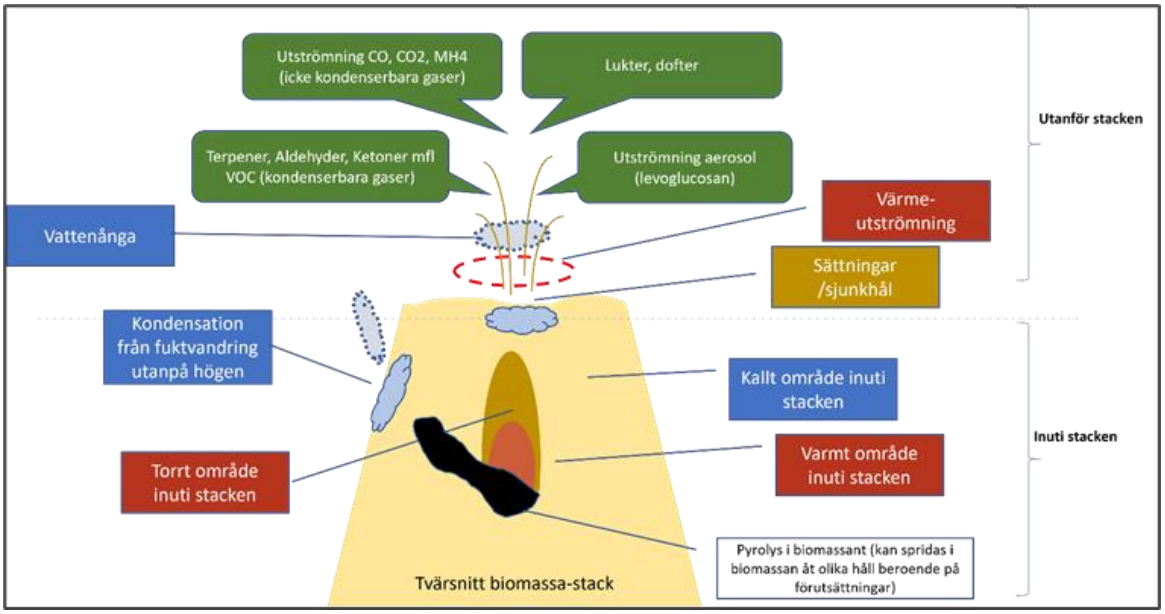



*Fig 8: Detektionsmöjligheter på och i stacken*

Utmaningen är relatera mätningar till vad som sker beroende på var i stacken eller på ytan mätningarna görs då sambanden mellan de olika parametrarna ser annorlunda ut. Man vet t.ex. att i mitten av stacken och ju högre upp, desto mindre syre finns. Tydligt är dock att en kombination av mätvärden från påverkansfaktorer kan ge en bild av stackens pågående processer. Dessa samband måste testas och utredas ytterligare.

Olika tekniker som kan vara möjliga. (här bortser vi ifrån eventuella begränsningar idag, eftersom det inte verkar finnas något färdigt som har är utprovat för denna användning)

För att samla in data bör följande möjligheter vara rimliga:

- insticksutrustning, t.ex. såsom spett eller sensorpuckar för fukt, temperatur och utvalda gaser
- fast monterade detektionsutrustning, t.ex. laserscanners för gaser monterade på master
- mobil utrustning, t.ex. sensorer av olika typer buren av personal eller arbetsmaskiner
- drönarburen utrustning, t.ex. flygande värmekameror.

## Omvärldsanalys av teknik- och detektions-metoder

Det finns inte kommersiellt anpassade lösningar för att tidig detektion av brand i biomassa annat än termiska kameror och temperaturspett. I projektet har vi genom intervjuer, och efterforskning identifierat ett antal tekniker och metodiker som skulle kunna verifieras och anpassas för ändamålet.

Dessa möjliga tekniker och respektive företag är positiva till framtida medverkan i utvärderingar och benchmark för att identifiera när i den biokemiska uppvärmningsprocessen av biomassa som dessa tekniker har möjlighet att detektera och hur förutsättningarna ser ut för att detta skall fungera i olika miljöer, oftast utomhus. Dessa företag sammanställts i en tabell. *(Appendix B)*

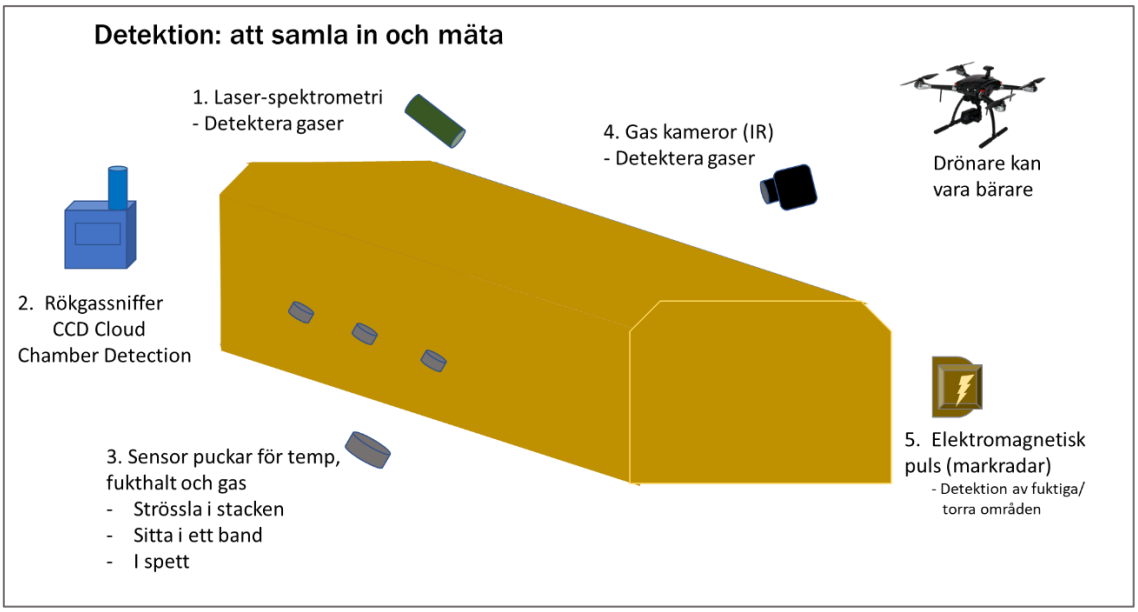



*Fig 9: Ett antal tekniker är identifierade för detektion av påverkansfaktorer*

### Optisk lasermätning

Optisk lasermätning används kommersiellt för att mäta luftföroreningar i många städer. Tekniken TLD-laser (tuneable laser diode) kan anpassas för mätning av nivåer av CO, $CO_2$ och $CH_4$ i luften ovan biomassastacken.

### Rökgassniffers

När det gäller rökgassniffers finns fler typer baserat på olika tekniker. En produkt som testas hos några räddningstjänster förnärvarande, arbetar med CCD-teknik (cloud chamber detection) där kondensering av partiklar sker. Dessa partiklar kan luktas men inte ses (0,004 µ). Det är en bärbar utrustning som tidigt indikerar på kondenserbara gaser. CCD-tekniken använder vatten för kondensering av micropartiklar som sedan optiskt identifieras. Denna utrustning är tillgänglig för utvärdering och finns på ett par räddningstjänster i Sverige bl.a. Landskrona.

*Fotnot: Utrustningen kommer provas på Lunds Universitet i deras brandlabb under våren 2022.*

**Gaskameror**

IR kamera med filter för t,ex CO, $CO_2$ och $CH_4$ men även möjligheten att detektera andra ämnen såsom aerosoler torde vara av intresse att gör jämförande prov med. Tekniken där ljus av viss våglängd absorberas av gasen gör att osynliga gaser blir detekterbar med IR, främst LWIR och MWIR (long wavelength infrared/middle wavelength infrared). Till ovan lösning kan ett optiskt filter behövas, eventuellt specificeras detta för att detektera levoglucosan.

**Smarta IOT sensorer - multi sensorer**

Temperatur i stacken men även fukthalt är väldigt betydelsefullt för att indikera hur varmgång och fuktvandring sker. Man kan tänka sig små sensorer som sprids på eller i biomassahögarna. Dessa kan t.ex. kommunicera via LORA-nät och vara mycket strömsnåla. Sensorerna kan sedan antingen förbrännas, avskiljas med magnet vid transportören eller vara sammankopplade. Alternativ kan de vara utformade som spett eller prober vilka kan mäta både temperatur, fukt och vissa gaser. Tekniken finns tillgänglig.

**Elektromagnetisk pulsning**

Tekniken som används i markradar/georadar skickar korta elektromagnetiska pulser och sedan används den reflekterade signalen detekteras för att kartlägga olika skit i marken. Tekniken är inducerad polarisation (IP). Med IP mäts ett materials elektriska uppladdningsförmåga. Elektromagnetisk profilering (EMP) är en metod för mätning av variationer i markens elektriska ledningsförmåga. Man använder sig av en så kallad stångslingram. På detta sätt kan man titta in i biomassa och kartlägga fuktiga och torra områden och på detta sätt skulle man kunna identifiera fuktvandring och väldigt torra områden som kan indikera varmgång.

*Fotnot: Denna teknik kommer att provas genom Lunds Universitet och deras brandlabb under våren 2022 genom inducerad varmgång och brand i biomassa.*

**Andra gaspektroskopiska teknologier**

Flera andra teknologier för spektroskopisk analys finns, men vi väljer att inte närmare analysera dessa, eftersom det inte fanns utrymme i projektet att analysera dem i detalj, men exempel på sådana teknologier är:

- raman (laser analys av foton vibrationer)
- FTIR - Fourier transform infrared spectroscopy
- GC/MS – Gas chromatography – Mass spectrometry
- lidar (laser detection and ranging) -använder laser för att optiskt detektera
- DOAS (Differential Optical Absorption Spectroscopy)-

Om gas samlas in för analys kan detta ske på några olika sätt. Utmaningen är att miljön är utomhus och påverkas av väder och vind varvid koncentrationen av gaser i luften ovanför stacken kan variera kraftigt. Men viktigt att över tid kunna detektera anomalier och trender.

I figur 10 illustreras tre exempel på tekniker för att fånga gas för analys: 1)sSugslang på stacken, 2) med fasta sugrör på området, eller med 3) drönare:

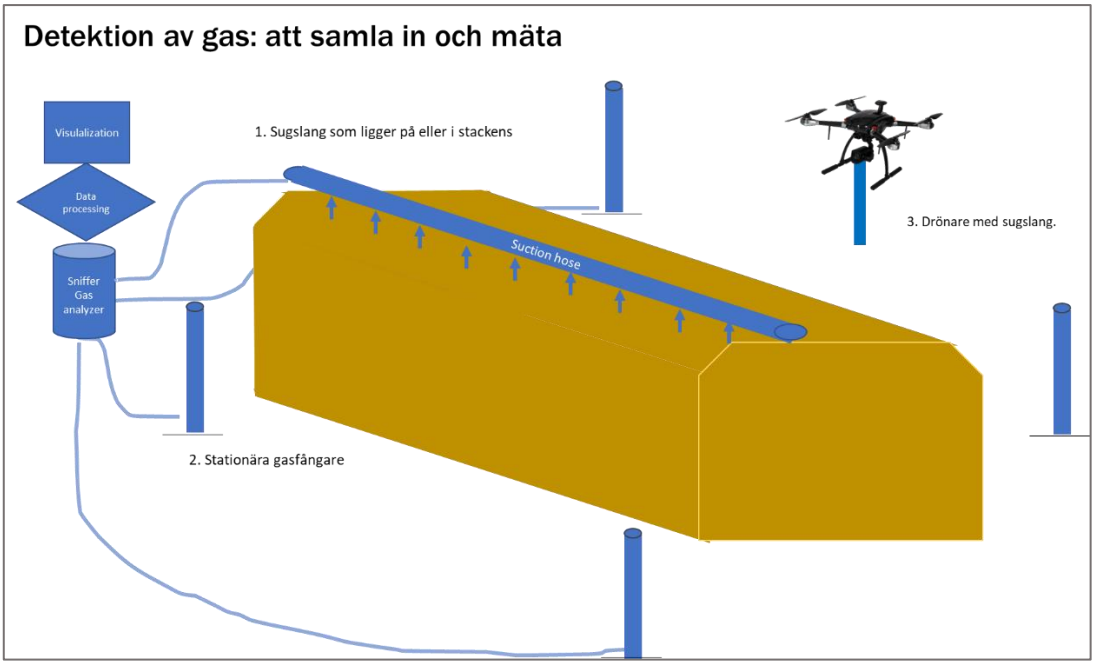
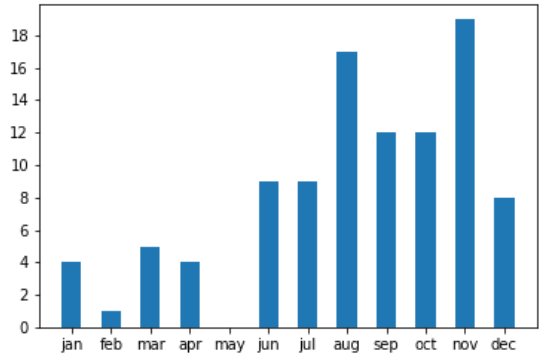



*Fig 10: Koncept för insamling för gas analys/spektroskopi.*

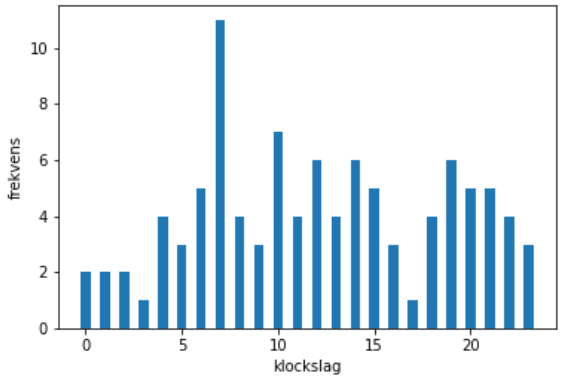
## Statistiska samband

I ett försök att undersöka hur olika väderfaktorer påverkar risken till bränder i flishögar undersöktes ca 100 bränder i relation till väderförhållanden. Dataseten kom från MSB och SMHI. Bränderna hade skett någon gång mellan 2018-2021. Först undersöktes generella trender såsom vilken månad och vilken tidpunkt brandlarm inkom. Information från personal på plats ger vid handen att det ofta blåst mot stacken vid ett flertal tillfällen i samband med brand. Syretillförsel är en viktig komponent för bränder och av denna anledning undersökte vi vindvariablerna vindhastighet och vindriktning, men data var otillräckligt i detta fallet för att få ett tillförlitligt resultat. Figur 15 visar fördelning av bränder efter vilken månad det brann i flishögar i Sverige under 2018-2021. Som kan ses i figuren skedde flest bränder i november följt av augusti, september och oktober. Notera att datasetet inte innehöll någon brand som rapporterats i maj.



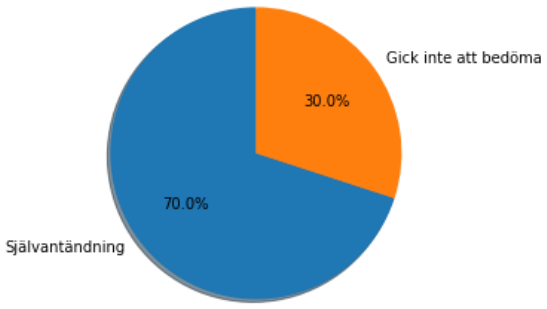

*Figur 15: Fördelning av bränderna baserat på månad.*

I Fig 16 visas fördelning av bränder efter *tid* då räddningstjänsten larmades. Som kan ses i figuren kom ett flertal larm in på morgonen mellan 05:00-10:00.




*Figur 16: Fördelning av bränderna baserat på klockslag (0-23).*

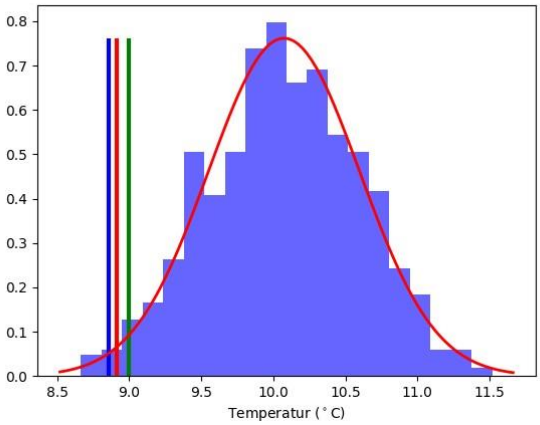
I *Figur* visas fördelning över bedömningen av värmekälla för bränderna. I 30 procent av fallen gick värmekällan inte att bedöma medan i 70 procent av fallen bedömdes värmekällan vara självantändning.




*Figur 17: Andel av bränderna där orsaken bedömdes vara självantändning (70 %) eller att det inte gick att bedöma (30%). Endast de bränder som kodats som självantändning har varit med i analysen.*

## Vädervariabler

Enligt inledande hypotes borde medelvärdet för en variabel vara ungefär normalfördelade. I *Figur* visas fördelning av medelvärdet för variabeln temperatur. De tre lodräta linjerna - blå, grön och röd - visar medeltemperaturen för *brandens tidpunkt*, för *1 timme innan* respektive för *två timmar innan*. Som nollhypotes valdes för var och en av de tre tidpunkterna: ”det finns inget samband mellan bränderna och medelvärdet hos en specifik variabel” För var och en av de tre lodräta linjerna beräknades p-värdena. Ett p-värde på 0.05 valdes som tröskel för signifikans.




*Figur 18: Fördelning av medelvärdet för temperaturen för var och en av de 720 timmarna innan bränderna. De vertikala strecken indikerar temperaturens medelvärde vid tidpunkten för branden (blå), en timme innan (grön) och två timmar innan (röd). Den röda kurvan visar den normalfördelning som approximerar fördelning hos datan (staplarna).*

Som kan ses i fig 18, så var det signifikant kallare (p=0.01, p=0.02, p=0.013) för alla tre tidpunkterna (relativt de senaste 30 dagarna). Det var även signifikant högre lufttryck då larmet kom in och en timme innan (p=0.951 och p=0.953 respektive). Värden för variabler där $0.05 < p < 0.10$ eller $0.90 < p < 0.95$ (lufttrycket 2 timmar innan larmet kom in samt MaxMedelVind).

| Variabel | tid larm | 1 h innan | 2 h innan |
|---|---|---|---|
| **Lufttemperatur** | 0.01 | 0.02 | 0.013 |
| **Vindhastighet** | 0.405 | 0.541 | 0.386 |
| **Relativ luftfuktighet** | 0.622 | 0.566 | 0.525 |
| **Lufttryck** | 0.951 | 0.953 | 0.94 |
| **Solskenstid** | 0.699 | 0.697 | 0.556 |
| **Global irradians** | 0.311 | 0.259 | 0.329 |
| **Total molnmängd** | 0.638 | 0.665 | 0.639 |
| **Byvind** | 0.657 | 0.731 | 0.755 |
| **MaxMedelVind** | 0.907 | 0.877 | 0.778 |

*Tabell 6: p-värden för medelvärden för de olika variablerna vid de tre tidpunkterna. $p < 0.5$ betyder att medelvärdet är mindre än det genomsnittliga medelvärdet. $p > 0.5$ betyder att medelvärdet är större en det genomsnittliga medelvärdet. $0.05 < p < 0.10$ och $0.90 < p < 0.95$ är gulmarkerade. $0 < p < 0.05$ och $0.95 < p < 1$ är grönmarkerade (signifikanta).*

Ackumulerad nederbörd under de senaste 10 dagarna visade sig vara signifikant lägre ($p=0.011$, $p = 0.013$ och $p=0.016$ respektive). Inget samband hittades i den kvalitativa undersökningen av vindriktning och vindhastighet.

### Vindriktning

Den platsinformation som fanns från bränderna i MSB-data var endast högens ungefärliga position och inte dess utbredning eller riktning. För att undersöka vindriktningen behövdes därmed mer detaljerad information om bränderna. Ytterligare data för 10 bränder samlades in. I denna data markerades högen som brunnit med en gul rektangel. I fig 19 visas en sådan markering (bakgrundsbilden har tagit bort för att anonymisera data). De röda markeringarna visar var branden tros ha startat. De vita strecken med en blå ände visar hur det blåser vid en tidpunkt. Den blåa änden representerar pilens spets. Siffran 11 uppe i vänstra hörnet säger att bilden visar vindvariablerna 11 timmar innan brandkåren larmades. Ingen tillförlitlig slutsats kunde i denna delstudie tas fram, pga av för lite information om högarnas beskaffenhet.

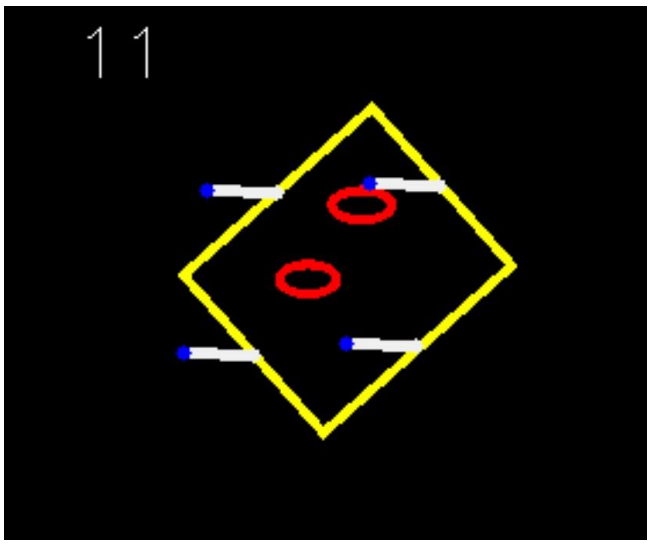



*Fig 19: Visualisering av vindhastighet (pilens längd) och vindriktning. Högen som brunnit är markerad med en gul rektangel. De röda markeringarna visas var branden tros ha startat. De vita strecken med en blå ände visar hur det blåser vid en tidpunkt. Den blåa änden representerar pilens spets. Siffran 11 uppe i vänstra hörnet säger att bilden visar vind-variablerna 11 timmar innan brandkåren larmades.*

### *Sensorsystem för datainsamling*

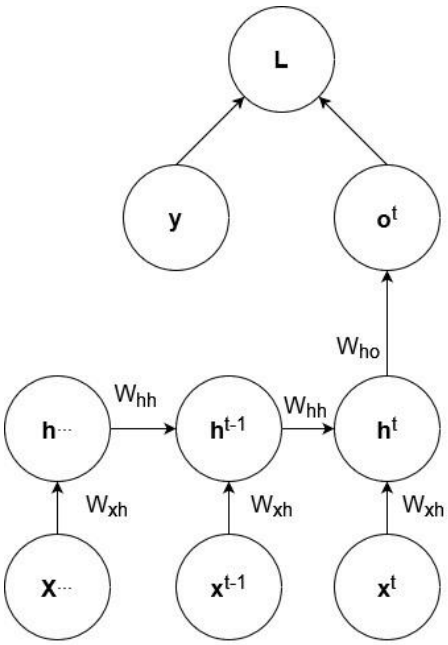
Ett datainsamlingssystem med tidig detektion för ändamålet behöver kunna lagra tids- och geosatta data från olika typer av sensorer inklusive video. Det senare kan användas för analyser av behandling av material, dokumentation av rörelser på platsen samt efteranalys vid en eventuell händelse. Vidare ska det kunna användas för realtidsprediktion och alarm, efter att data analyserats och prediktionsmodeller skapats. Institutionen för datavetenskap vid LiU har – i tidigare forskningsprojekt – utvecklat en lösning för att samla in och bearbeta heterogena sensordata från trådlösa sensorer och video i realtid. Ett experimentsystem, med basstation för trådlösa sensorer har – i tidigare forskningsprojekt - skapats och är kopplat till ett så kallat HPC-kluster (High Performance Computing) där datainsamling och analys görs. Systemet används idag, bland annat, för att samla in, bearbeta och visualisera – med hjälp av AI-algoritm - data från fartyg i Sveriges farvatten samt bearbetning av videoströmmar från trafikledningssimulatorer – även det i realtid. Mjukvarutekniken som används i detta system är mycket lämplig för att skapa ett system för datasamling och riskanalys. I detta projektet undersökte vi möjligheten att använda LiU:s system för datainsamling, undersökte lämplig sensorteknik kopplat till det vi kommit fram till i projektet, samt gjort viss anpassning/integration av en värmesensor för tillämpningen.

## Maskininlärning – förslag på modell för prediktering

Lokala variationer och olika plats-specifika förutsättningar kan vara en förklaring varför det i forskningen har varit svårt att skapa en generell prediktionsmodell och hitta lämplig sensorteknik för att detektera brandrisk i biomassa. Det kan exempelvis gälla väderbetingelser och organisatoriska/metodologiska sätt att hantera förekommande material på platsen. Det är därför angeläget att skapa, samla in och tidsätta platsspecifik data eftersom det – med stor sannolikhet - har bäring på riskbilden för bränder. Det kan exempelvis gälla förhållanden som väder, material och hantering av materialet på plats. Vädervariablerna är i detta fall *yttre* mätvariabler som skulle kunna användas för att säga något om flishögarnas inre egenskaper såsom fuktighet, temperatur och syretillförsel i och med att man kan veta mer om när och hur högen skapats samt fukthalt i material som läggs på högen. För att exempelvis modellera fuktigheten i flishögarna kan även nederbörd och temperatur med mera studeras över tid.

Huvudelen av data i detta prediktionsproblem är *tidsseriedata*. Ett lämplig modell för att prediktera kommande händelser basererat på tidseriedata är så kallade RNN-modeller (Recursive neural networks) (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016). RNN är en så kallad *deep-learning* modell som kan modellera samband över tid genom att utdata från nuvarande tidpunkt används som indata till nästa tidpunkt. RNN-modelle kan hantera indata-sekvenser av olika längd (Goodfellow et al., 2016).

Indata till modellen skulle kunna vara en tupel (sekvens av dataobjekt) av väderdata exempelvis: temperatur, luftfuktighet, och nederbörd samt en mängd andra variabler. Den slutliga utdatan skulle kunna vara en tidpunkt i framtiden då modellen predicerar att en brand kan uppstå. Felet skulle kunna vara avståndet mellan den faktiska tidpunkt då branden startat och den tidpunkt modellen predicerat. Figur 20 visar ett förslag på en RNN-modell inspirerad från (Goodfellow et al., 2016). Grafen visar två konkreta steg *t* och *t-1*. Resten av stegen representerar med index '...'.




*Figur 20: En RNN-modell, se text för detaljer.*

I den föreslagna modellen finns tre matriser $W_{xh}$,$W_{hh}$ och $W_{ho}$ som innehåller nätverkets vikter. Centralt för RNN-modellen är att viktmatriserna delas mellan alla tidssteg. $\mathbf{x_t}$ representerar inputvektorn vid tiden *t*. Inputvektorn består av värden för de olika variablerna exempelvis (*temperatur,vindhastighet,nedebord*¨ ) = (12,6,2), angivna i korrekta enheter. Det kan vara bra att normalisera indatan så att de enskilda variablerna har medelvärdet 0 och en standardavvikelse på 1. $\mathbf{h_t}$ är ett så kallat gömt tillstånd som förs vidare från tidigare tidpunkt *t-1* (Goodfellow et al., 2016). Det gömda tillståndet vid tidpunkt *t-1* beror i sin tur delvis på det gömda tillståndet vid tidpunkt *t-2*. På detta sätt beror det gömde tillståndet direkt eller indirekt på alla tidigare gömda tillstånd - man säger att nätverket är rekursivt.

I det gömda tillståndet lagras en sammanfattning av tidigare tillstånd (Goodfellow et al., 2016). På detta sätt kan betydelsefulla tillstånd som beror på input över tid tas med i beräkningen. Ett exempel på ett sådant tillstånd är stackens fuktighet, som exempelvis skulle kunna bero delvis på hur mycket det regnade de senaste 20 dagarna. Tillståndet $\mathbf{h_t}$ beräknas på detta sätt (Goodfellow et al., 2016):

$$h_t = f(b + W_{hh}h^{t-1} + W_{xh}x^t)$$

där f är en ickelinjär aktiveringsfunktion (exempelvis ReLU eller tanh) och b är en så kallad *bias* (Goodfellow et al., 2016). $o^t$ beräkas så här (Goodfellow et al., 2016):

$$o^t = W_{ho}h^t$$

L står för Loss används för att justera fel i modellens genom att uppdatera viktmatriserna (under ’backpropagation’) (Goodfellow et al., 2016). I denna modell skulle $y$ kunna vara den faktiska tidpunkten då det brann och L kan beräknas som det kvadratiska avståndet mellan denna tidpunkt och den tidpunkt, $o_t$, som modellen gissar:

$$L = (y - o_t)^2$$

För mer detaljer kring RNN, se Goodfellow et al. (2016) kapitel 10.

# 5. Diskussion

## Förslag till fortsatt forskning och utveckling

För att med stor säkerhet kunna detektera att risk för brand föreligger i ett upplag av biomassa, så behöver ett flertal parametrar och indikatorer detekteras och mätas kontinuerligt och analyseras över tid där riktiga incidenters tid och plats registreras i en maskininlärningsdator för att kunna lära och skapa ett varningssystem.

Bränder i biomassa har i det aktuella projekt med väldigt få undantag analyserats och registrerats utifrån alla mätbara parametrar som nämnts såsom t.ex. nederbörd, materialets egenskaper (såsom fuktighet, ålder, träslag) eller när och exakt var och när temperaturspett använts.

Då sådana data inte finns tillgängliga i tillräcklig omfattning, kan modellerna som föreslås och diskuteras inte helt underbyggas med historiska och statistiskt säkerställda data. Däremot kan dessa föreslås att användas i en framtida modell för att utvärdera och testas över tid.

**Neurala system för datainsamling**

Ett datainsamlingssystem med tidig detektion för ändamålet behöver, som nämnts, kunna lagra tids- och geosatta data från olika typer av sensorer inklusive video. Det senare kan användas för analyser av behandling av material, dokumentation av rörelser på platsen samt efteranalys vid en eventuell händelse. Vidare ska det kunna användas för realtidsprediktion och alarm, efter att data analyserats och produktionsmodeller skapats.

I detta projekt undersökte vi möjligheten att använda LiU:s system (*se sid 28 System för datainsamling*) för datainsamling, lämplig sensorteknik kopplat till det vi kommit fram till i projektet (se ovan), samt gjort viss anpassning/integration av en värmesensor för tillämpningen. Vi ser fyra huvudgrupper av tids-/geosatta data som skulle behöva samlas in (1) väderdata (2) data om högens beskaffenhet gällande material (modellering av hög, skiktning/material) etc. (3) bearbetning av högen/aktiviteter på plats, samt (4) annan sensordata . Det senare gäller primärt hjullastarna och deras eventuella påverkan på högen, gnistbildning etc. Den fjärde gruppen är externa specifika sensorer som exempelvis temperaturspett som monteras i högen.

Förslagsvis skapas ett lokalt radionätverk på en lämplig plats med koppling till internet och en tjänst dit data strömmas för analys och lagring. En första installation skulle innehålla en kompetent väderstation, enklare geopositioneringssensorer på hjullastare, samt data gällande högens beskaffenhet, material, position, lager osv. Viss integration mot befintliga system gällande materialets beskaffenhet behöver integreras, så att material kan spåras till specifik hög och plats där det läggs för att ge förutsättningar för att ”modellera” högen. En senare utveckling skulle kunna vara en smartare sensor som monteras på hjullastarna som spårar deras position, men även mäter temperatur i högen samt förekomsten av vissa gaser (automatisk rondering). Ytterligare en utveckling skulle vara en mobil app för personal som ronderar manuellt. Datainsamlingen kan även kompletteras med data från förekommande tjänster med relevans för problemet (SMHI). Figur 21 nedan visar systemidén.

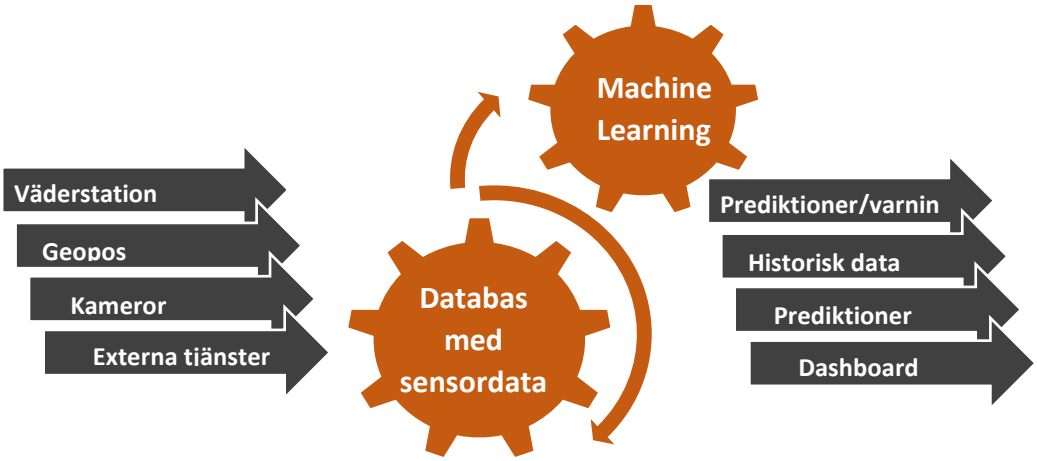



*Fig 21: System för att samla in och bearbeta data från en mängd olika källor och sensorer.*

Ett mål i framtida projekt är således – att i detta skede i forskningen – skapa en mycket brett dataset av hypotesvariabler som kan analyseras för att hitta de relevanta riskfaktorerna som gäller på specifika platser samt skapa prediktionsmodeller.

### *Testmiljö för detektion*

Målsättning: Att skapa en testmiljö och förutsättningar för att testa och verifiera om annan sensordata kan detekteras och mätas, för att indikera vilken grad av nedbrytningsprocess och varmgång som sker inne i en hög av biobränsle. Kan värmekameror och temperaturspett kompletteras av annan sensorteknik för att ännu tidigare detektera inte bara brand och risk för brand utan även grad av nedbrytning av energivärdet. De möjligheter som detta projekt identifierat såsom sniffer från företaget *Werma*, detektionen av aerosolen levoglucosan och laser från OPSIS behöver provas och jämföras med .tex existerande värmekameror, i en testmiljö. Effekten av detta är att vid olika temperaturer i biomassan där de processerna sker så kan olika indikatorer säkerställas, exempelvis när olika karakteristiska gaser avges.

Ett tänkt prov skulle kunna utföras enligt följande:

- plats: RISE provningsanläggning alternativt MSB-Lunds Universitets provområde i Revinge
- förslag på biomassa att prova med:
  - 1 st stack 5 m3 (ca 2,5 m x 2,5 m x 2 m) barkflis (eller annat microbiologi-intensivt material
  - 1 st. stack 5 m3 (ca 2,5 m x 2,5 m x 2 m) träflis/sågspån (rent trä material)
- start varmgång med elektrisk värmereglering i stacken
- referenstemperatur med temperaturspett vid härden.

### *Utveckling av ett brandrisk-index och maskininlärningsmodeller*

Dels behöver sambanden mellan påverkansfaktorer ytterligare utredas och provas så att maskininlärning-modeller kan utvecklas. Ett sätt att göra detta är genom en testmiljö där olika biomassa kan utsättas för påverkansfaktorer, samtidigt som sensordata från biomassan utläses. Då kan samband och modeller tydliggöras samtidigt som temperatur, fuktighet och energivärde registreras. Effekten av detta är att sambanden för ökad risk för brand kan utvärderas genom verkliga tester och verifieras.

Ett förslag på ett riskbedömnings index kan tas fram enligt fig.22. Den exemplifieras med en möjlig modell för ett index, där varje påverkansfaktorområdes betydelse viktas i jämförelse med andra områden, som t.ex. väderdata. Här kommer maskininlärning och AI till användning och kan man fånga tillräckligt med data över tid kan ett neuralt nätverk identifiera sambanden. Varje delfaktor, t.ex. vindstyrkas relativa betydelse kan få en faktor mellan 0-100 för dess betydelse för start och utveckling av en brand. Den totala scoren i tabellen till höger i grafen, blir en levande riskbedömning över tid.

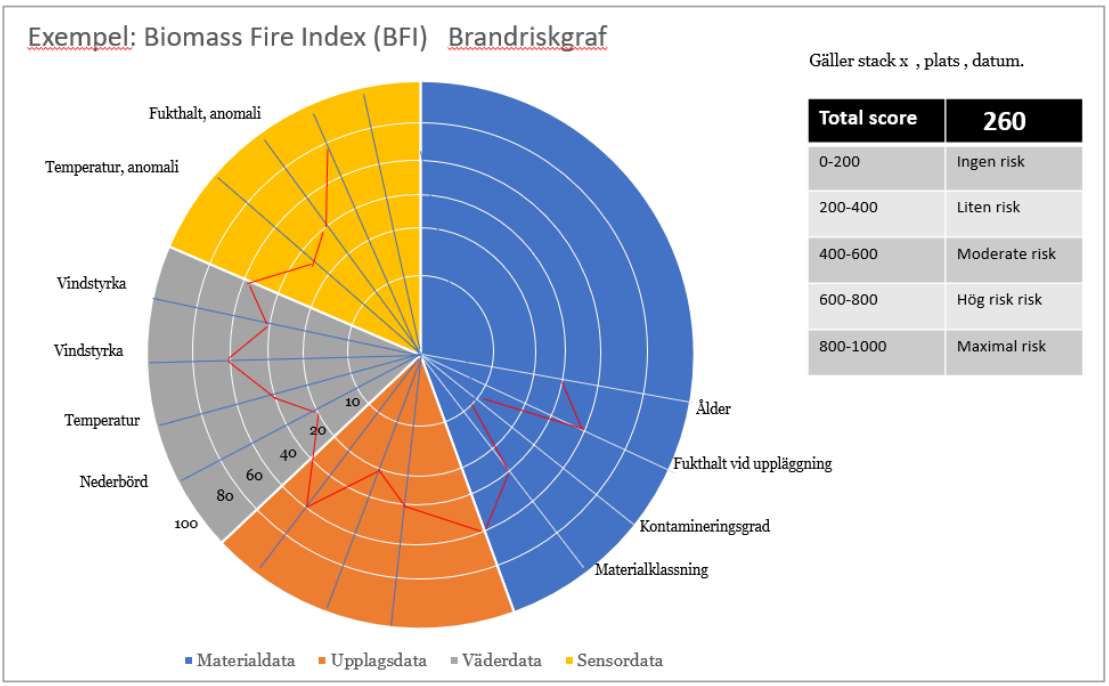



*Fig 22: Ide kring ett brandrisk index för biomassa.*

### *Applikation för registrering och riskbedömning av biomassa*

Ett uttalat behov är en applikation där materialdata och upplagsdata registreras, så att biomassahögarna finns i en databas. Härigenom kan andra påverkansfaktorer automatiskt läsas in såsom klimatdata och sensordata. En sådan applikation skulle kunna dels bedöma hur materialet som lagrats påverkas och när biomassan bör brukas för att förebygga dels att biomassan tappar energivärde samt att risk för pyrolys föreligger. Effekten av detta är att ett lärande kan skapas genom att appen används och bidra till ett effektivare nyttjande av biomassa samtidigt som prediktioner av risker för brand kan ges.

*Fig 23: Vision för app för biomassa datainsamling och gränssnitt för riskbedömning*

## Referenser


G Holmstedt_2005, Slutrapport Självantändning vid lagring av biobränsle och biogent avfall_LU
J Arnberg_2018, Torrsubstansförluster vid lagring och hantering av träspån, AB_Karlstad Universitet
A Gustavsson D Tell_2017,Integrering av biobransleförädling i Igelsta kraftvärmeverk- Söderenergi AB_
A Weigelt_2021, Risker med bränslelagring Webbinarium_Afa Försäkring_
Amir Khodabakhsh Fourier transform and Vernier spectroscopy UmU_ _Avhandling_2017
Amir Khodabakhsh, Fourier transform and Vernier spectroscopy UmU_ _Spikblad_2017
Bajaj, T. (2021). Program for distance between two points on earth.
Brandskyddsföreningen (2001),_Självantändning flik-9
D Madsen et al_2018, Levoglucosan as a Tracer for Smouldering Fire_LU_
E Bohren, Umeå Universitet-2017, Off-gassing from thermally treated_
Faror-och-halsorisker-vid-forvaring-och-transport-av-trapellets-traflis-och-timme_Arb.miljöverket-2011-2
Försäkringsbolagets syn på lagring av biobränslen_IF_presentation _2021
Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT press. pyproj documentation. (2021).
Graveus , F., Sutinen, A. (2015), Analys av riktlinjer för utomhuslagring av trädbaserat biobränsle till kraftvärmeverk
Göran Jansson P&B_2021,Lagringslathund_SveBio_
H Persson_MSB 386_2012 Brand i silo Brandsläckning samt förebyggande och förberedande åtgärder_
Huang, C., de Grahl, J. (2021), Dammexplosionsegenskaper, _ Web-seminarium - Risker vid bränslelagring, RISE,
Jonsson, M. (2010), Beräkningar av självantändning i lager av träpellets, LU
K Rupar Gadd_2006, Biomass Pre-treatment– Emissions and Self-ignition_Linne Univ_
Koppejan, J., Lönnermark, A., Persson, H et al (2014), Health and Safety Aspects of Solid Biomass Storage
Lönnermark, A, Brandsäker energilagring - Sammanställning av risker och forskningsbehov, RISE 2018:48
Lönnermark, A., Persson, H., Blomqvist, P., Hogland, W, Biobränslen och avfall - Brandsäkerhet i samband med lagring, SP_Rapport 2008:51,
Lönnemark, Transportation and Feeding,_IEA_RISE_
Lönnermark,A_2018, Säker hantering och lagring av avfallsbränslen – Svenska riktlinjer och internationell standard_RISE_
M Finell et al_2016, Lagring av pellets – inverkan på kvalitet och emissionsbildning , vid SCA BioNorr_SLU_
M Finell et al_2018, Varmgång, emissioner, reaktivitet och kvalitet vid lagring av pellets, SLU_
M Zihlen_2010, Modellering av flisstack_Linne U_
MSB, Brandrisk skog och mark – Fakta och modeller (FWI),21-09-22
MSB Olycksutredning_Brand i avfallsupplag Hova_MSB 1460_2019
MSB_Räddningsinsatser vid bränder på avfallsanläggningar_Behovsanalys_MSB 1614_2020
N Jungerth_ 2021, Risker vid bränslelagring_SIS Standarder_RISE seminarium_
Nillson_RäddsamF_2021,Erfarenheter från släckning av bränder i lagrat avfall_
Om kurs_Optisk spektrokopi och laser metoder_Kemi GU
P Blomqvist-M Pushp_2021, Självuppvärmning_ Principer o mätmetoder_RISE_
P Lehtikangas_2008, Lagringshandbok för trädbränslen_SLU_
Persson, H. (2021), Brandsäkerhet i silor, Web-seminarium - Risker vid bränslelagring, RISE, 2021-03-23
Persson, H. (2021), ISO 20024 ”Fasta biobränslen – Säker hantering och lagring vid kommersiella och industriella applikationer, Web-seminare - Risker vid bränslelagring, RISE 2021-03-23
Persson, H., Leandersson, A., Amen, M., Lönnermark, A. (2014), Lagring av biobränsle och avfall - Statistik och erfarenheter från incidenter och bränder, SP Rapport 2014:55
Schwarzer et al. (2017), Biomass ignition in mills and storages, DTU
SMHI Open Data Api Docs - meteorological observations. (2022). https:// opendata.smhi.se/apidocs/metobs/.
SMHI REST. (2022). https://opendata-download-metobs.smhi.se/api. (Accessed: 2022-03-16)
SMHI. (2021). Brandrisker idag och i framtiden. https://www.smhi.se/ kunskapsbanken/klimat/klimateffekter/brandrisker-idag-och-imorgon-1.87501. (Accessed: 2022-03-16)
Säkrare lagring av biobränsle och avfall_Info blad_Brandforsk_2015
T Ennis CEng, FIChemE_2016, Fire and Explosion Hazards in the Biomass Industries

# Appendix

## *A: Data och grafer statistik (LiU)*

Nedan visas grafer för undersökning samband mellan olika vädervariabler och bränder i flishögar. De tre lodräta linjerna - blå, grön och röd - visar medeltemperaturen för *brandens tidpunkt*, för *1 timme innan* samt för *två timmar innan* respektive. Värden är angivna per timme.

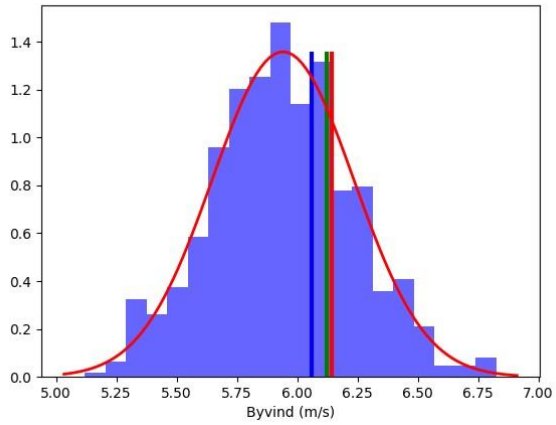



*Fig 24*

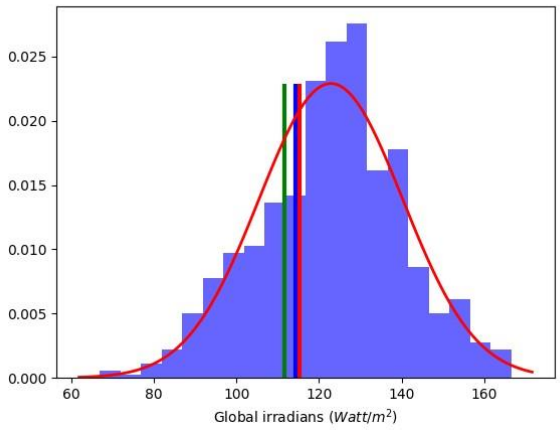



*Fig 25*

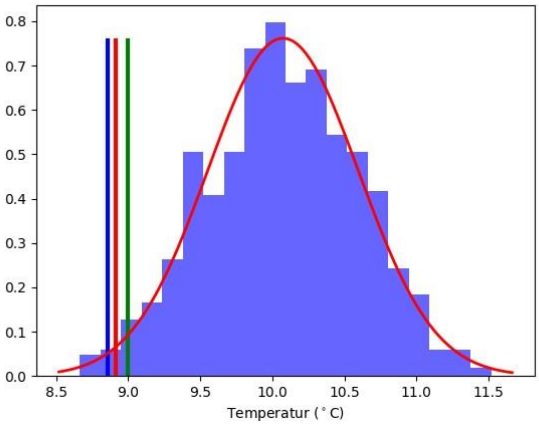



*Fig 26*

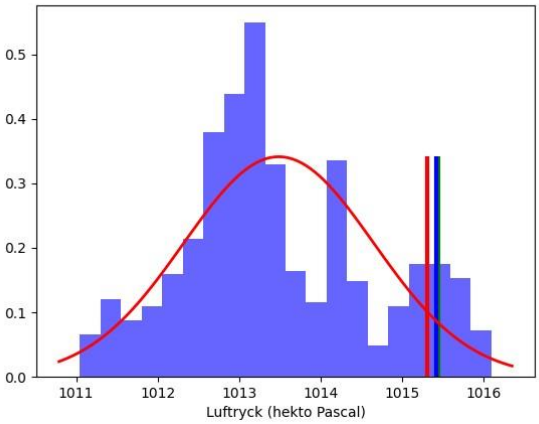



*Fig 27*

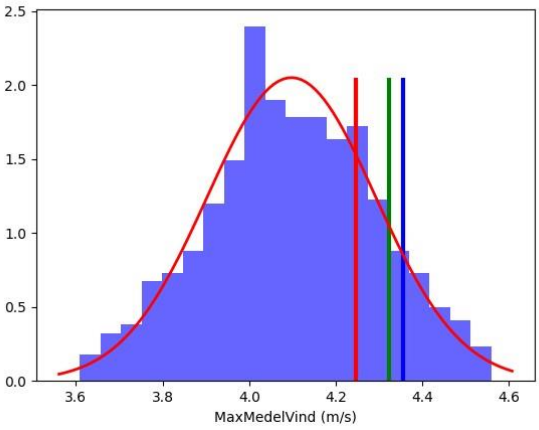



*Fig 28*

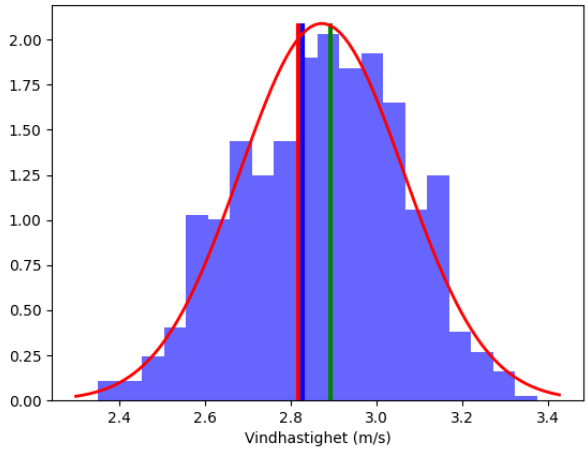



*Fig 29*

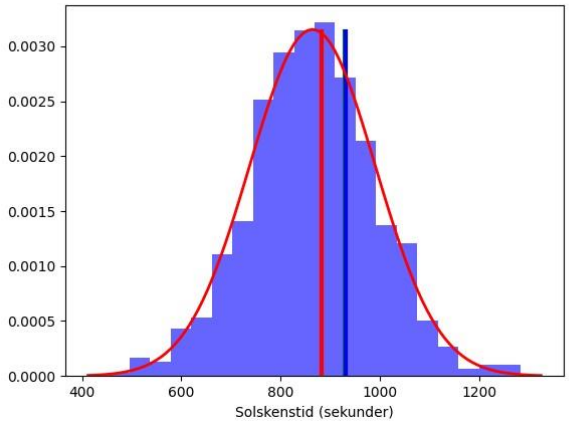



*Fig 30*

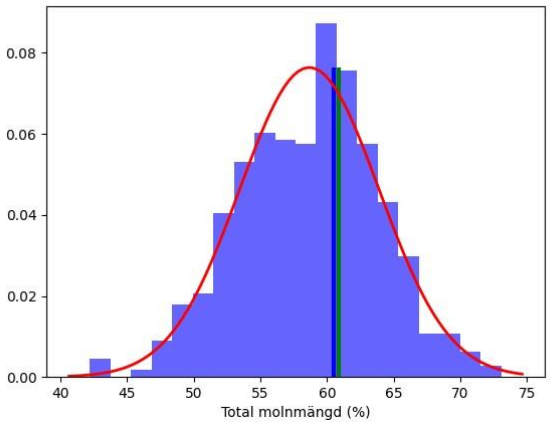



*Fig 31*

## B. Lista teknik och företag för framtida test och utvärdering av detektion

Genom intervjuer och samtal med företag, energibolag och Universitet har ett antal tekniker och leverantörer identifierats. Dessa företag (dock ej NEOLund/NEO Optikk) har vi haft diskussion med och det finns möjligheter att testa teknikern i framtida projekt. Dock behöver utrustningen i en del fall anpassas för ändamålet.

| Tekniker | Specifikt | Mätning | Företag | Kontakt | |
|---|---|---|---|---|---|
| Laser | Tunable laser diode | CO, $CO_2$, $CH_4$, mfl | OPSIS AB | Ulf Gutavsson | https://se.opsis.se/ |
| Laser | Lidar | Aerosoler | NEO Optikk | | https://neo.no/products/neolid |
| Sniffer | Cloud chamber | Kondenserbara partiklar (rökgaser) | Werma AB | Marcus Bergsjö | https://www.werma.se/fire-sniffer/ www.protec.co.uk (tillverkaren) |
| Gaskamera | IR (LWIR och MWIR | Optiska filter för gas | Termisk Systemteknik AB | Stefan Sjökvist | https://termisksystemteknik.se/produkt/flir-x8500sc-sls/ |
| Smarta sensorer | LORA kommunikation | Temp, fukt, gas | Lifefinder AB | Anders Schenning | https://lifefinder.se/ |

*Tabell 7: teknik för test av detektion av brand i biomassa*

## C. Parallella lösningar och projekt

**Systemet brandrisk i Skog och mark.**

Det finns sedan 2021 en lösning som används av bla skogsindustrin för att minimera risker för skogsbrand på grund av avverkning, amt av räddningstjänsten och kommuner. Det är framför allt Skogsbrandrisk Spridning (FWI-Index).
Det är en lösning som levereras som ett webbgränssnitt av SMHI ( https://www.smhi.se/vader/varningar-och-brandrisk/brandrisk) som bygger på Kanadensiska FWI-modellen för brandriskberäkning. FWI står för Fire Weather Index. Lösningen är en väderbaserad modell som beräknar markfuktighet, baserat på nederbörd, vindar, temperatur och andra klimatfaktorer, för att prognosticera brandrisk över hela Sveriges yta som är uppdelat i 2,8 x 2, 8 km rutor där brandrisken kan utläsas. Hos SMHI finns 3 st index: Gräsbrandrisk, Skogsbrandrisk (bränsleuttorkning) samt nämnda Skogsbrandrisk Spridning (FWI-Index)

SMHI driver denna lösning åt MSB.
MSB beskriver syftet som följer: ”Systemet Brandrisk skog och mark är främst avsett för kommunal räddningstjänst och länsstyrelser i deras bedömning av brandbeteenden och brandrisk inför beslut om insatser, eldningsförbud och som underlag för information om brandrisker i vegetation. Även andra användare som behöver information om brandrisken i syfte att hindra eller begränsa vegetationsbränder kan få tillgång till applikationen.
Brandrisk skog och mark finns som en webbapplikation som ger användaren möjligheten att göra en sammantagen bedömning av brandrisken där flera faktorer ingår för att på så sätt få en nyanserad och mer verklighetstrogen bild av brandrisken i den egna regionen. I systemet finns bland annat brandriskprognoser, historiska data över brandrisker för innevarande år, nederbörd, temperatur, luftfuktighet samt vind.

Stora Enso använder lösningen och har varit drivande i vidareutveckling av verktyget för nattprognoser och de branschgemensamma riktlinjerna för avverkning vid hög brandrisk.

**SMHI metodik**
Meteorologiska indata till beräkningsmodellerna som används i Brandrisk skog och mark beräknas med hjälp av en statistisk metod kallad MESAN, mesoskalig analys. MESAN är ett operationellt system för modellering av olika väderparametrar i en geografisk skala.

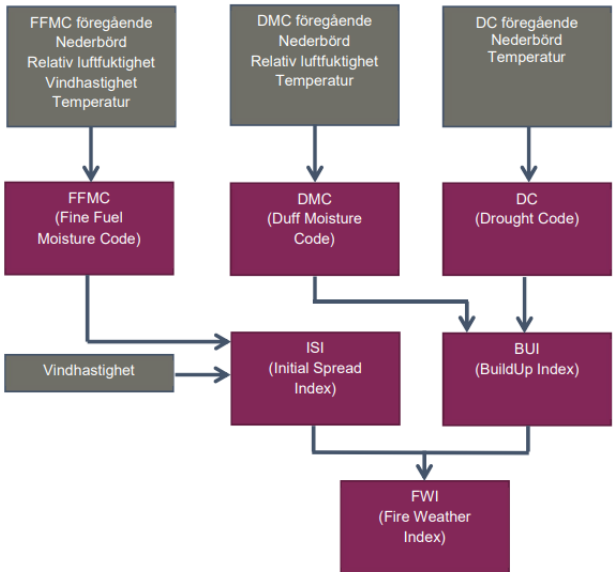


*Fig 32: Källa-SMHI/MSB om FWI index beräkning.*

Systemet beräknar ett antal parametrar som sedan resulterar i FWI (index för brandrisk):
FFMC (Fine Fuel Moisture Code) representerar fuktigheten i finfördelat dött bränsle på markytan, exempelvis barr och övre delen av mossan.
DMC (Duff Moisture Code) representerar fuktigheten i ett något djupare skikt, till exempel hela moss-skiktet och övre delen av humuslagret. Tillförd nederbörd och uttorkning av de olika skikten sker enligt olika empiriska samband som tagits fram i Kanada under många års studier av fuktighet i olika markskikt. Uttorkningshastigheten för de olika skikten är i modellen exponentiellt avtagande med tiden om vädersituationen är konstant. Med hjälp av dessa tre grundvärden och aktuell vindhastighet beräknas sedan två mellanindex kallade ISI och BUI, för att slutligen från dessa beräkna FWI-värdet (Fire Weather Index).

**Kommentar**

Den mer komplicerade riskbedömningen för självantändning i biomassa, där andra faktorer än historiskt väder samverkar för att brand skall uppstå, kan ändå både lära av och möjligen samverka med dessa SMHI-beräkningar. De index som SMHI presenterar skulle kunna nyttjas av en framtida beräkningsmodell för riskbedömning av brandrisk i biomassa. Vädrets påverkan på fukthalten i biomassan över tid, då den lagras utomhus, kan ha en mycket relevant betydelse för prediktionen, tillsammans med andra påverkansfaktorer.

# Projektgruppen

**Finansierad av**
Brandforsks verksamhet möjliggörs av stöd från olika organisationer i samhället. Läs mer om våra stödorganisationer på www.brandforsk.se

# Stödorganisationer

**under 2021 då detta projekt beviljades**

Akademiska hus • Bengt Dahlgren Brand & Risk • BIV Föreningen för Brandteknisk Ingenjörsvetenskap • Brand och Bygg Sverige AB • Brandkåren Attunda Brandskyddsföreningen Gävleborg • Brandskyddsföreningen Skaraborg Brandskyddsföreningen Södermanland • Brandskyddsföreningen Värmland Brandskyddsföreningen Väst • Brandskyddsföreningen Västernorrland Brandskyddslaget • Dina Gruppen • Eld & Vatten • Folksam • Fortifikationsverket Försäkrings AB Göta Lejon • GellCon • If Skadeförsäkring • Kammarkollegiet Kingspan Insulation AB • Kiruna Räddningstjänst • Kristianstads Räddningstjänst Kommunassurans Syd Försäkrings AB • Kyrkans försäkring • Lantmännen MSB, myndigheten för samhällsskydd och beredskap • NBSG, Nationella Brandsäkerhetsgruppen • Nerikes Brandkår • Region Stockholm Trafikförvaltningen Riksantikvarieämbetet • RISE, Research Instiutes of Sweden AB • Räddningstjänsten Boden • Räddningstjänsten Kalix • Räddningstjänsten Karlstadsregionen Räddningstjänsten i F-län/Räddsam F • Räddningstjänsten Luleå • Räddningstjänsten Oskarshamn • Räddningstjänsten Skinnskatteberg • Räddningstjänsten Skåne Nordväst Räddningstjänsten Syd • Räddningsstjänsten Östra Götaland • Räddningstjänsten Mitt Bohuslän • Scania CV AB • S:t Erik Försäkrings AB • Sirius International Stanley Security • Statens fastighetsverk • Sparia Försäkringsbolag Stockholms Stads Brandförsäkringskontor • Storstockholms Brandförsvar Sveriges brandkonsultförening • Swedisol • Södertörns brandförsvarsförbund Södra Dalarnas Räddningstjänstförbund • Södra Älvborgs räddningstjänstförbund Trafikverket • Trygg-Hansa • Uppsala brandförsvar • Värends Räddningstjänst Västra Sörmlands Räddningstjänst • Östra Skaraborg Räddningstjänst

Insamlingsstiftelsen Brandforsk verkar för ett brandsäkert samhälle byggt på kunskap. Det gör vi genom att initiera och finansiera kunskapsutveckling inom området brandsäkerhet, och vi arbetar för att sprida den kunskapen så att den ska göra nytta.

Vi finansierar detta med insamlade medel från våra stödorganisationer som på så sätt bidrar till vår vision om
**“Ett brandsäkert och hållbart samhälle byggt på kunskap”**

**Brandforsk**
info@brandforsk.se www.brandforsk.se