



FORVIÐVÖRUN BRUNA Í JARÐGÖNGUM

Rannsóknarverkefni | Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

Ágúst 2016

1 ÚTDRÁTTUR

Tíu veggöng eru í íslenska vegakerfinu, tvö ný eru í byggingu og ein veggöng til viðbótar fóru nýlega í alþjóðlegt útböð. Þó að umferðartíðni um veggöng sé ekki há miðað við alþjóðlegan mælikvarða þá er mikilvægi þeirra óumdeilanlegt í tengingu bæjarfélaga. Á það bæði við um aukin atvinnutækifæri sem og ýmiskonar samnýtingu þjónustu sem sveitarfélögin bjóða upp á. Á undanförunum árum hafa orðið miklar framfarir varðandi öryggismál í veggöngum. Nægir þar að nefna atriði eins og aukin veglýsing bæði við vegskála sem og inni í veggöngum, fjölgun neyðarsíma sem og slökkvitækja, fjarskiptasambönd s.s. GSM og TETRA eftirlitskerfi sem er bæði staðbundið og fjartengt inn á vaktkerfi Vegagerðarinnar.

Á Íslandi hefur ekki verið gerð nein sérstök krafa um brunaviðvörðunarkerfi í veggöngum. Öll veggöng eru með skynjara til að nema gastegundirnar CO og NO, en þessar gastegundir stafa af útblæstri bíla sem keyra um veggöngin. Í veggöngum eru blásarar sem eru gangsettir eftir því hve mikil gasmengun er í göngunum. Ef margir gasskynjarar mettast á skömmum tíma er það vísbending um að óvenjulegt ástand sé í göngum og miklar líkur að bruni hafi komið upp í göngum.

Þessi skýrsla gefur yfirlit yfir algengar lausnir sem notaðar hafa verið til að koma upp forviðvörðunarkerfi vegna bruna í veggöngum. Stuðst er við skýrslur, bæklinga og fræðigreinar þar sem hinum ýmsu aðferðum og prófunum er lýst, fræðilegur bakgrunnur útskýrður og greint frá niðurstöðum. Aðferðirnar eru metnar út frá skilvirkni, nákvæmni og kostnaði.

Er það mat skýrsluhöfundar að mesti ávinningurinn væri að taka til frekari skoðunar hitaskynjunarkapal sem raunhæfan valkost í þau jarðgöng sem eru óvöktuð á Íslandi.

Höfundur skýrslunnar ber ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundur starfar hjá

EFNISYFIRLIT

ÚTDRÁTTUR	I	
MYNDASKRÁ	III	
TÖFLUSKRÁ	IV	
1	INNGANGUR	5
2	ALMENNT UM BRUNA Í JARÐGÖNGUM	7
3	AÐFERÐIR	8
4	GÖGN	9
5	FORVIÐVÖRUNARKERFI	10
5.1	Hitaskynjun með ljósleiðara	10
5.1.1	Uppsetning búnaðar og framkvæmd	10
5.1.2	Samantekt um aðferð	11
5.2	Hitaskynjun með strenglöggn	11
5.2.1	Uppsetning búnaðar og virkni	11
5.2.2	Samantekt um aðferð	13
5.3	Reykskynjari	13
5.3.1	Uppsetning búnaðar og virkni	13
5.3.2	Samantekt um aðferð	14
5.4	Reykskynjun með myndavélum CCTV	15
5.4.1	Uppsetning búnaðar og virkni	15
5.4.2	Samantekt um aðferð	15
5.5	Myndgreining með Thermal og IR myndavélum	16
5.5.1	Uppsetning búnaðar og virkni	16
5.5.2	Samantekt um aðferð	17
5.6	Brunaskynjun með CO og NO mælum	17
5.6.1	Uppsetning búnaðar og virkni	17
5.6.2	Samantekt um aðferð	17
6	NIÐURSTÖÐUR	18
HEIMILDASKRÁ	19	
VIÐAUKI 1	20	

MYNDASKRÁ

Mynd 1: Yfirlit yfir veggöng á Íslandi	5
Mynd 2: Forritunarmöguleikar ljósleiðarakerfis	10
Mynd 4: Hitaskynjun með strenglögna	12
Mynd 5: Skematísk mynd sem sýnir áreiðanleika (redundant) kerfis með strenglögna.....	12
Mynd 6: Skematísk mynd af virkni reykskynjara	14
Mynd 7: Sýn hitamyndavélar í brunatilviki.....	16

TÖFLUSKRÁ

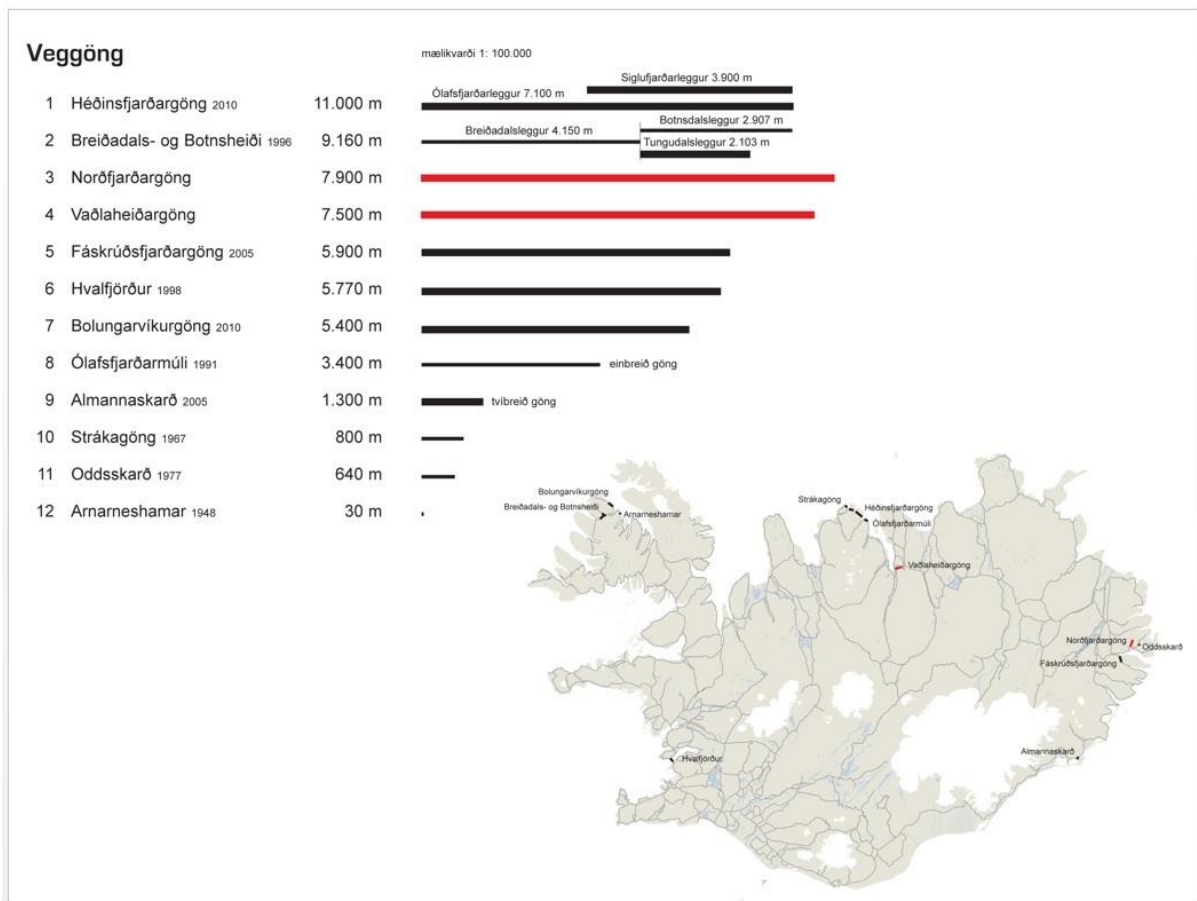
Tafla 1: ÁDU um íslensk jarðgöng 2015 _____	7
Tafla 2: Styrkleikar og veikleikar hitaskynjunar með ljósleiðara _____	11
Tafla 3: Styrkleikar og veikleikar hitaskynjunar með hitanemastreng. _____	13
Tafla 4: Styrkleikar og veikleikar reyskynjarakerfis. _____	14
Tafla 5: Styrkleikar og veikleikar reyskynjunar með myndavélum _____	15
Tafla 6: Styrkleikar og veikleikar myngreiningar með notkun hitamyndavéla. _____	17

1 INNGANGUR

Íslenska vegakerfið er með tíu skráð veggöng í notkun. Fleiri göng eru ýmist í framkvæmd eða á teikniborðinu (Norðfjarðargöng, Vaðlaheiðargöng og Dýrafjarðargöng). Veggöngin eru misjöfn að lengd og stærð en öll eiga það sameiginlegt að gegna sama hlutverkinu, að tengja saman bæjarfélög og sveitarfélög og gera ferðir þar á milli öruggari.

Elstu veggöng á Íslandi voru gerð árið 1948 í gegnum Arnarneshamar á Vestfjörðum og eru um 30 m löng. Árið 1967 voru síðan Strákagöng, fyrir utan Siglufjörð, opnuð fyrir umferð, alls 800 m löng.

Nýjustu göngin eru Héðinsfjarðargöng á Norðurlandi sem eru um 11 km löng og voru opnuð 2010. Sama ár voru Bolungarvíkurgöng opnuð og eru 5.4 km að lengd. Að auki er verið að byggja tvenn jarðgöng, annars vegar fyrir norðan (Vaðlaheiðargöng, 7.5 km) og svo hins vegar fyrir austan (Norðfjarðargöng, 7.9 km). Fyrirhugað er að opna Norðfjarðargöng 2017 og Vaðlaheiðargöng 2018. Á mynd 1 má sjá yfirlit og samanburð á veggöngum á Íslandi.



Mynd 1: Yfirlit yfir veggöng á Íslandi

Eins og gefur að skilja hefur orðið mikil þróun í hönnun og byggingu vegganga frá því sem var fyrir rúmum 60 árum. Öryggiskröfur í kringum jarðgangagerð eru þannig mun strangari heldur en áður fyrr og einnig hefur verklag breyst samhliða nútíma vinnuaðferðum. Þannig stenst rafbúnaður í sumum eldri veggöngum ekki kröfur nútímans þar sem hann var hannaður

eftir gömlum stöðlum. Undanfarin ár hefur stöðug umferðaraukning verið á íslenska vegakerfinu og með sívaxandi ferðamannastraumi til landsins hefur umferð á öllu vegakerfinu aukist, þar með talið umferð um jarðgöngin.

Markmið þessarar rannsóknar er að gefa yfirlit yfir raunhæfa valkosti varðandi forviðvörun vegna bruna í veggöngum, meta hentugleika þeirra út frá mismunandi þáttum og leggja mat á hver þeirra hentar best til eftirlits og notkunar í veggöngum.

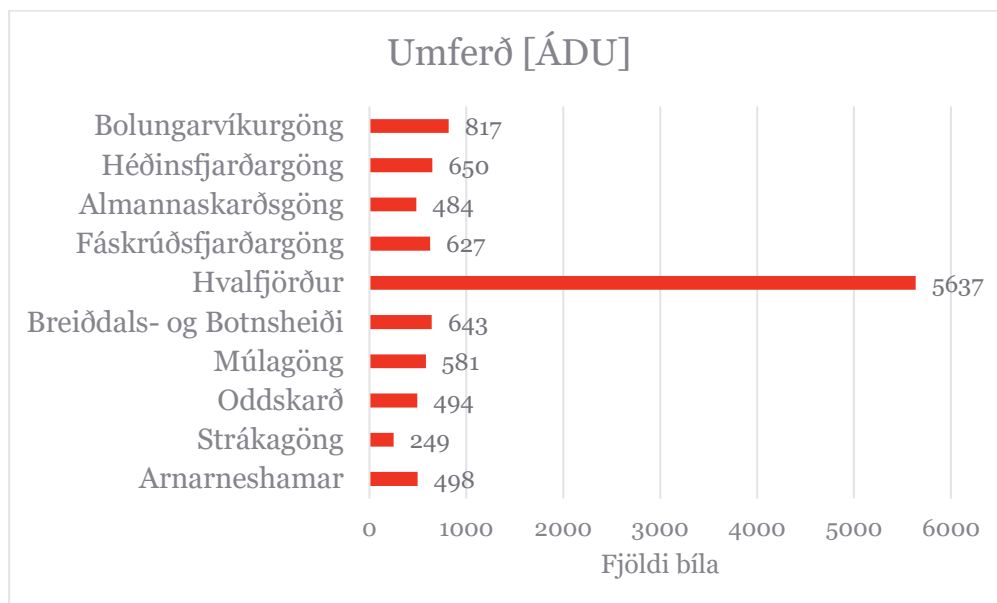
Fyrst verður fjallað um veggöng almennt og hvernig brunakerfum er háttað í þeim. Því næst er fjallað um aðferðarfræði rannsóknarinnar og skilgreindur matskvarði til samanburðar á mismunandi aðferðum. Þá er fjallað um hverja aðferð fyrir sig, dæmi tekin um notkun hennar, kostir hennar og gallar metnir. Loks eru niðurstöður dregnar saman á einfaldan hátt og mat lagt á hvaða aðferð eða aðferðir þykir henta best fyrir íslenskar aðstæður. Í viðauka má síðan finna dæmi um aðila sem veita þjónustu varðandi hverja aðferð fyrir sig.

2 ALMENNT UM BRUNA Í JARÐGÖNGUM

Þegar brunatilfelli kemur upp í veggöngum getur öflugt forviðvörðunarkerfi skipt sköpum varðandi skipulagningu á slökkviaðgerðum sem fylgja í kjölfarið. Forviðvörðunarkerfið hefur það hlutverk að greina bruna á frumstigi, staðsetja brunann í göngunum, fylgjast með framgangi hans og greina í hvaða átt bruninn stefnir. Hlutverk forviðvörðunarkerfisins er því afar mikilvægur öryggisþáttur og getur gert gæfumuninn um hvort bruninn sé kæfður í fæðingu eða hvort eldurinn aukist áfram og verði stjórnlaus. Það gefur því auga leið að ef hættuástand myndast hefur forviðvörðunarkerfið afar mikilvægu hlutverki að gegna við skipulagningu björgunaraðgerða eins og að koma fólki með öruggum hætti út úr göngunum. Þá veitir kerfið lögreglu og slökkviliði nauðsynlegar upplýsingar sem skipta máli varðandi undirbúning fyrir þær aðstæður sem eru á staðnum og ákvarðanatöku samhliða aðgerðum.

Fyrir síðustu aldamót var ekki lögð mikil áherslu á skynjun bruna í veggöngum og öryggisstjórnun. Það breyttist þó með sviplegum hætti eftir stórslys sem urðu í Gotthard göngunum í Sviss og Mont-Blanc göngunum í Frakklandi þar sem tugir manns týndu lífi. Ljóst þótti að þetta væri viðfangsefni sem nauðsynlegt væri að skoða gaumgæfilega og á undanförunum árum hefur orðið mikil framþróun í tækni til skynjunar á bruna í jarðgöngum.

Umferð um jarðgöng á Íslandi er tiltölulega lítil samanborið við alþjóðlegan mælikvarða og hefur því reynst erfitt að réttlæta fjármagn við innleiðingu á brunaboðskerfi. Við umferðarmælingar um veggöng er oft miðað við 1500 bíla ársdagsumferð og þegar umferð er undir slíku viðmiði teljast göngin fáfarin. Aðeins ein göng eru yfir þessum viðmiðum, Hvalfjarðargöngin. Þau eru jafnframt einu veggöngin sem eru vöktuð með myndavélabúnaði allan sólahringinn, öll önnur veggöng eru með öllu óvöktuð. Tafla 1 sýnir umferð um jarðgöng á Íslandi.



Tafla 1: ÁDU (ársdagsumferð) um íslensk jarðgöng 2015

Eins og gefur að skilja er afar kostnaðarsamt að vera með sólahringseftirlit við öll veggöng á Íslandi. Þannig skapast kostnaður við uppsetningu búnaðar og rekstur á kerfi ásamt launakostnað þar sem sérhæfður starfsmaður þarf að vakta kerfið öllum stundum.

Þó bruni í veggöngum geti verið smávægilegur og breiðst hægt út verður að hafa í huga að göngin eru aðeins opin í sitthvorum endanum. Mikill reykur getur þ.a.l. safnast hratt saman inni í göngunum og skapað hættulegar og heilsuspillandi aðstæður fyrir vegfarendur.

Sum göng erlendis eru með reyksogskerfi sem gefur fólki aukinn tíma til að flýja aðstæður úr göngunum og komið sér í öruggt skjól. Í flestöllum veggöngum hér á landi eru blásarar sem hægt er að ræsa ef bruni kemur upp í göngum. Hægt er að beita blásurunum eftir því hvernig bruninn hagar sér og blása reyknum í andstæða átt miðað við eðlilegan trekk í göngum eða eftir aðstæðum hverju sinni. Þó ber að hafa í huga að nauðsynlegt er að hafa í göngunum búnað sem nemur brunann og hrindir þessu verkferli af stað.

3 AÐFERÐIR

Höfundur leggur mat á mismunandi viðvörunarbúnað út frá þeim gögnum sem er aðgengilegur á vefnum eða hjá birgjum. Leitast er við að draga fram heildstætt yfirlit yfir þann búnað sem notaður er til að skynja bruna í veggöngum. Búnaðurinn er metinn út frá eftirfarandi þáttum:

- Uppsetningarkostnaður
- Rekstrarkostnaður
- Viðbragðstími
- Tíðni á fölskum boðum
- Ending og viðhald

Stuttlega er fjallað um ýmsar tegundir af búnaði út frá ofangreindum þáttum og styrkleikar og veikleikar skilgreindir. Niðurstöðurnar eru svo teknar saman í niðurstöðukafla. Einnig verða tilgreindir þeir aðilar sem selja búnað og/eða þjónustu er varða búnaðinn í viðauka.

4 GÖGN

Stór hluti rannsóknarverkefnisins fólst í gagnaöflun og flokkun gagna eftir aðferðum.

Forviðvörðunarkerfin eru flokkuð upp eftir því hvernig kerfin greina bruna.

Stuttlega er greint frá því hvernig kerfin eru uppbyggð og í hverju tæknin felst.

Skóðað er hvaða þætti kerfin skynja eins og hita, reyk, gas eða eitthvað annað og áhvaða formi viðvörðunarkerfin skila boðunum frá sér.

5 FORVIÐVÖRUNARKERFI

5.1 Hitaskynjun með ljósleiðara

Notkun hitaskynjunar í gegnum ljósleiðara er algeng lausn til skynjunar á forviðvörðun bruna í jarðgöngum. Ljósleiðarastrengur er lagður endilangt eftir göngunum fyrir miðju, milli gangaenda. Sendibúnaður/stjórnstöð er svo notaður sem sendir geisla út eftir ljósleiðaranum og mælir endurkastið sem myndast frá geislanum. Hiti hefur áhrif á endurkastið í ljósleiðaranum og við minnstu hitabreytingu bjagast endurkastið. Út frá þessari bjögun sem myndast og með hjálp flókans algóritma, les sendibúnaðurinn út hvert hitastigið er á hverjum stað fyrir sig í strengnum. Stilla má búnaðinn þannig að hann sendir boð ef mældur hiti í göngunum fer yfir einhvern fyrirfram ákveðinn þröskuld og einnig er hægt að fá boð sent ef hitinn hækkar hratt yfir stuttan tíma.

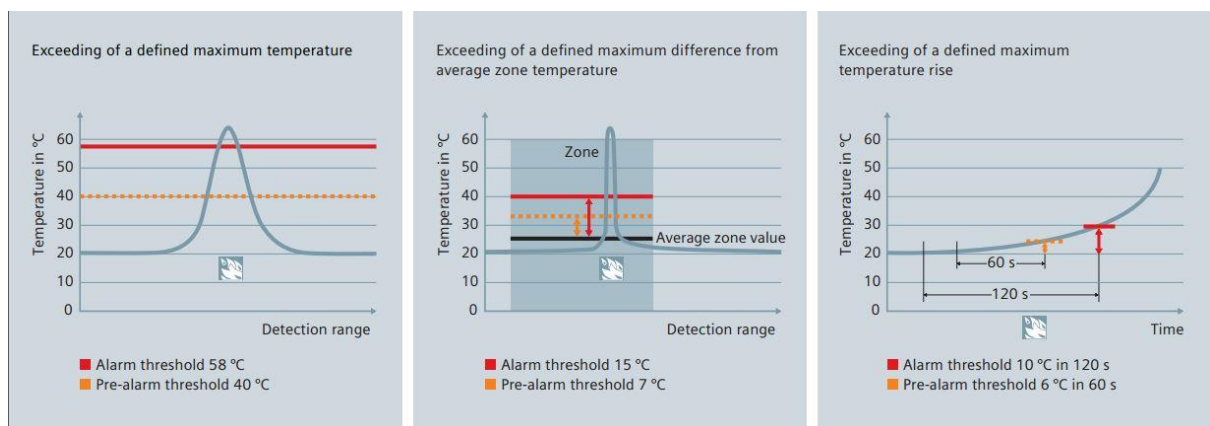
5.1.1 Uppsetning búnaðar og framkvæmd

Kerfið samanstendur af tveimur hlutum:

1. Stjórnstöð/sendibúnaður fyrir kerfið
2. Ljósleiðarakapall

Stjórnstöðin er staðsett inni í tæknirými og sér um að mæla hitastigið í göngunum út frá endurkasti ljóss í ljósleiðaranum. Strengurinn er lagður í lykkju út eftir göngunum og tilbaka og þannig er hægt að fylgjast með hitastigi í rauntíma, jafnvel þó strengurinn rofni á einum stað því hann er tengdur við stjórnstöð í báða enda. Þessi möguleiki gerir kerfið mjög áreiðanlegt. Þetta kerfi er algjörlega sjálfstætt en þó er hægt að deila söfnum upplýsingum með þriðja aðila eins og t.d. SCADA stjórnkerfi. Þannig má nota gögnin frá kerfinu til að aðstoða önnur utanaðkomandi kerfi líkt og t.d. loftræstingu.

Þar sem kerfið er með TCP/IP samskiptamöguleika er hægt að tengjast því í gegnum Ethernet og gera umsjónarmanni þess kleift að tengjast kerfinu hvaðan sem er og fylgjast með og gera breytingar ef þess þarf. Hefðbundinn ljósleiðarastrengur þolir hitastig sem spannar frá -40 gráðum og upp í +90 gráður samfelld. Hann getur þó þolað +150 gráður í stuttan tíma.



Mynd 2: Forritunarmöguleikar ljósleiðarakerfis

5.1.2 Samantekt um aðferð

Hitaskynjun með ljósleiðara hefur náð talsverðri útbreiðslu sem lausn í veggöngum við skynjun á bruna. Tafla 2 gefur innsýn inn í hvar styrkur kerfisins liggur en einnig veikleika þess.

KOSTNAÐUR	UPPSETNING:	ÓDÝR
	REKSTUR:	ÓVERULEGUR
Umsögn: Leitast var eftir verði frá framleiðendum og eftir samskipti við tvo aðila þar sem var miðað við Norðfjarðargöng er ljóst að búnaðurinn muni kosta 11-12 milljónir króna. Strenglöggnin er í stiga og stjórnbúnaður uppsettur í tæknirými. Stærstu kostnaðarliðir eru annarsvegar ljósleiðarastrengurinn og löggn hans og hins vegar stjórnbúnaður og forritun kerfis. Ljósleiðarastrengurinn er ekki dýr og er nokkuð einfaldur í uppsetningu. Kerfið þarfnast lítis viðhalds.		
VIÐBRAGÐSTÍMI:		Í MEÐALLAGI
Umsögn: Strengurinn liggur í stiga við loftið og því má alltaf reikna með smávægilegri seinkun á skynjuninni vegna þess. Vindur getur haft talsverð áhrif og ef vindur er yfir 7 m/s þá er möguleiki á seinkun brunaboða auk þess sem staðsetningin á brunanum getur þjagast vegna vinds. Ef það er lítill vindur er viðbragðstíminn mjög góður.		
TÍÐNI Á FÖLSKUM BOÐUM:		MJÖG LÁGT
Umsögn: Tæknin byggist á hitaskynjun á endurkasti ljóss. Í skilgreiningu kerfis er ákveðinn hitaþröskuldur settur til viðmiðunar og þegar hiti fer upp fyrir gefið gildi fara af stað brunaboð. Eftir því sem þröskuldurinn er lægri þeim fyrr sendir búnaðurinn út brunaboð. Því neðar sem þröskuldurinn er settur eykst hættan á fölskum boðum.		
ENDING:		MJÖG GÓÐUR
Umsögn: Ending er talin vera mjög góð, búnaðurinn ætti að duga í 25-30 ár. Ljósleiðarinn er fastur þáttur en stjórnbúnaður uppfærast með tímanum.		

Tafla 2: Styrkleikar og veikleikar hitaskynjunar með ljósleiðara

5.2 Hitaskynjun með strenglöggn

5.2.1 Uppsetning búnaðar og virkni

Það má segja að þessi búnaður sé að mörgu leyti svipaður og sá sem er notaður fyrir hitaskynjun með ljósleiðara. Uppsetning strengs er sambærileg í lofti vegganga og stjórnbúnaður til vöktunar tengdur í báða enda. Strengurinn sjálfur er þannig uppbyggður að litlum hitanemum er komið fyrir inni í kapalnum sem mæla hita. Þessum nemum er að jafnaði komið fyrir á 10 m millibili í gegnum allan kapalinn og þeir tengdir saman með flatkapal. Kapallinn býður upp á ákveðinn sveigjanleika við uppsetningu ef það er eitthvað svæði innan ganganna sem þarfnast ítarlegri vöktunar og er þá hægt að hafa minna millibil milli nemanna á þeim stað.

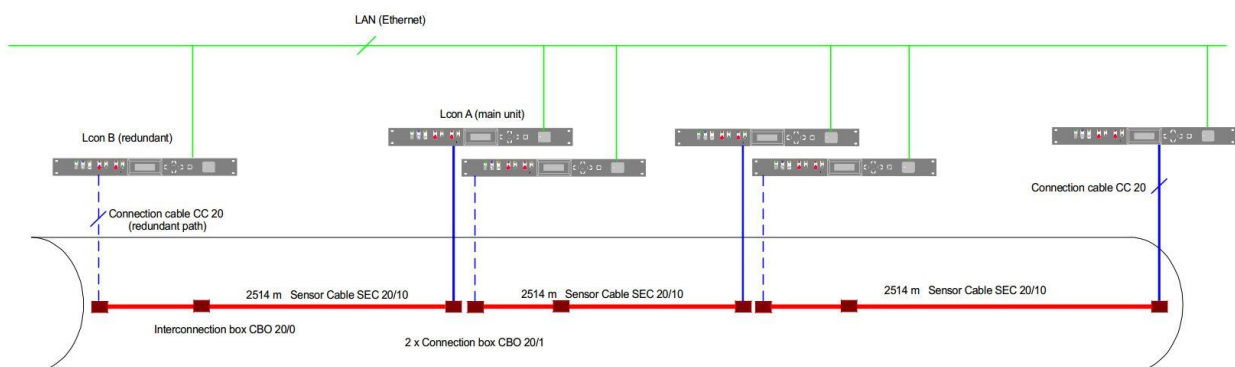
Hver hitanemi er með sitt eigið númer (*addressa*) og er því í raun alveg sjálfstæður. Utan um nemann er einangrandi efni sem umlykur nemana og vírana, sem og álkápa sem ver strenginn fyrir segulmagnunaráhrifum. Ytra borð strengs er úr PVC efni.

Sendibúnaður tengist við annan strengendann og les út hitamælingar á 10 sekúndna fresti. Hver nemi í strengnum er forritanlegur þannig að hægt er að svæðisskipta nemunum og vera þannig með mismunandi hitaþröskulda eftir því hvaða svæði er verið að vakta. Vegna þess að hver og einn hitanemi hefur eigið númer (*addressa*) er hægt að staðsetja aðvörun frá hitanema út frá staðsetningu hans í strengnum.



Mynd 3: Hitaskynjun með strenglög

Hönnun á kerfinu er slík að hún býður upp á mikinn áreiðanleika. Með því að tengja stjórnstöð við sitt hvorn endann á strenglögnum er stöðug vöktun möguleg jafnvel þótt það verði rof á einum stað, þá er tryggt að vöktun heldur áfram frá hinum endanum.



Mynd 4: Skematísk mynd sem sýnir áreiðanleika (*redundant*) kerfis með strenglög.

5.2.2 Samantekt um aðferð

KOSTNAÐUR	UPPSETNING:	Í MEÐALLAGI
	REKSTUR:	ÓVERULEGUR
<p>Umsögn: Fundað var með framleiðanda og fengið tilboð í Norðfjarðargöng og hljóðaði tilboðið uppá 30 milljónir króna. Líkt og með ljósleiðarabúnaðinn er uppsetningarkostnaður og rekstur með svipuðu móti. Kerfið samanstendur af streng, upphengjum og sendistöð. Fjöldi sendistöðva fer eftir lengd jarðganga en það þarf sendistöð fyrir hverja 3,2 km miðað við skynjara á 10 m millibili.</p>		
VIÐBRAGÐSTÍMI:		Í MEÐALLAGI
<p>Umsögn: Viðbragðstíminn er einnig á svipuðum nótum og ljósleiðarakerfinu. Sendistöðin kallar á hitagildi frá skynjurunum á 10 sekúndna fresti og hægt er að velja hitaþröskuld sem sendir boð þegar viðmiðunargildi er náð. Ef það er lífll vindur er búnaðurinn mjög áreiðanlegur.</p>		
TÍÐNI Á FÖLSKUM BOÐUM:		MJÖG LÁGT
<p>Umsögn: Því lægri hitaþröskuldur því meiri líkur á fölskum boðum. Fölsk boð eru þó í algjöru lágmarki.</p>		
ENDING:		MJÖG GÓÐUR
<p>Umsögn: Endingin er talin vera mjög góð, búnaðurinn ætti að duga í 25-30 ár. Hitanemar eru spennufæddir og er hægt að skipta út við bilun. Stjórnþúnaður uppfærast með tímanum.</p>		

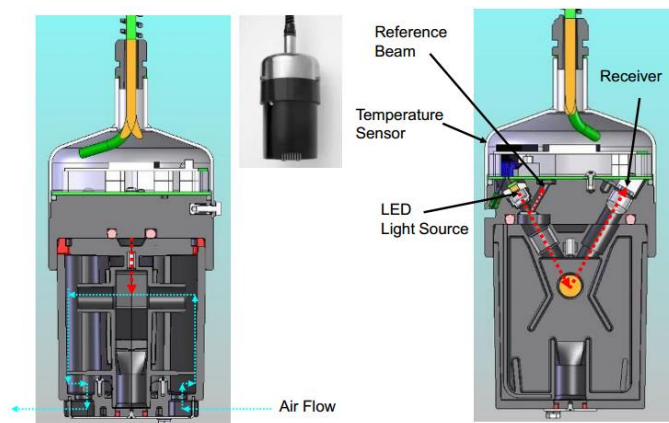
Tafla 3: Styrkleikar og veikleikar hitaskynjunar með hitanemastreng.

5.3 Reykskynjari

5.3.1 Uppsetning búnaðar og virkni

Skynjarinn sjálfur vinnur á 670 nm bylgjulengd sem er það sama og venjulegur reykskynjari í brunakerfum vinnur á. Húsið utan um skynjarann er hins vegar með IP66 vottun og á því að þola að vinna í umhverfi með raka og óhreinindi.

Skynjarinn notfærir sér loftstreymið í gegnum göngin til að taka loftskýni og greina brunaagnir. Þar sem hús er utan um skynjarann þá er útilokað fyrir utanaðkomandi hluti eins og bílljós, glampa frá sólinni o.fl. að hafa áhrif á mælinguna og bjaga útkomuna eða senda fölsk boð. Óhreinindi og raki eiga þó greiða leið inn í nemann.



Mynd 5: Skematísk mynd af virkni reykskynjara.

Opinn eldur blossar sjaldnast upp við brunatilvik í umferðargöngum. Við bruna myndast yfirleitt alltaf fyrst reykur og svo eldur. Þar sem reykur ferðast mun hraðar en eldur er ljóst að viðbragðstími fyrir reykskynjun er mjög góð forviðvörðun.

5.3.2 Samantekt um aðferð

KOSTNAÐUR	UPPSETNING:	AUÐVELT
	REKSTUR:	Í MEÐALLAGI
Umsögn: Hægt er að festa skynjarann í kapalstiga. Mælt er með því að setja upp skynjara á 100 m fresti. Vegna þess hversu skítug veggöng verða er þörf á að hreinsa skynjarana á 3-4 mánaða fresti.		
VIÐBRAGÐSTÍMI:		UNDIR MEÐALLAGI
Umsögn: Séu skynjararnir lagðir nógu þétt og hreinsaðir reglulega er áreiðanleikinn góður.		
TÍÐNI Á FÖLSKUM BOÐUM:		UNDIR MEÐALLAGI
Umsögn: Framleiðandinn staðhæfir að búnaðurinn eigi ekki að gefa nema að hámarki 1 falskt boð á ári fyrir hverja 2 km í göngum.		
ENDING:		EKKI NÆGILEGA GÓÐUR
Umsögn: Ending á þessum skynjurum er ágæt. Hins vegar er talið að vegna þess hve mikið magn af óhreinindum eru til staðar í jarðgöngum á Íslandi er hættu á að endurnýja þyrfti slíka skynjara oft. Viðhaldskostnaður er mikill á þessari lausn.		

Tafla 4: Styrkleikar og veikleikar reykskynjarakerfis.

5.4 Reykskynjun með myndavélum CCTV

5.4.1 Uppsetning búnaðar og virkni

Þessi kerfi eru byggð upp með IP myndavélum í rakapöttum húsum ásamt miðlara (*server*) og sérstökum hugbúnaði til myndgreiningar reyks. Myndavélarnar eru tengdar netsvissum á ljósleiðarasambandi með hámarks fjarlægð í skynjun 100 m. Skynjun þessara kerfa er í þremur þáttum: Forviðvörðun vegna aukins hita, reykskynjun í sjónsviði og síðan logaskynjun ef um opinn eld er að ræða. Vaktsvæði hvernar myndavélar er skipt niður í ramma sem sýna með merkingu hvar í myndinni skynjun hefur átt sér stað. Næmnisstillingar kerfis geta verið bæði eftir staðsetningu véla og einnig eftir tíma dagsins og umferðarálagi í viðkomandi jarðgöngum.

Mikilvægur kostur við þessi kerfi er að á stuttum tíma er hægt að staðfesta raunboð t.d með vaktmanni sem hefur yfirsýn á skjá eða senda boð um aðvörðun til vaktstöðvar þar sem aðgengi að myndefni er til staðar. Mögulegt er að gefa viðbragðsaðilum aðgengi til skoðunar myndefnis ef þörf er. Í tímamælingu eru þessi kerfi með einna hröðustu skynjun sem hægt er að fá í kerfum sem ætluð eru til reykskynjunar í jarðgöngum.

5.4.2 Samantekt um aðferð

KOSTNAÐUR	UPPSETNING:	MJÖG MIKILL
	REKSTUR:	Í MEÐALLAGI
Umsögn: Hár startkostnaður vegna ljósleiðara og netbúnaðar, ásamt myndavélum, server og hugbúnaði. Það þarf einnig að þrifa myndavélahúsin og stilla linsuna reglulega. Krefst miðlægrar vöktunar.		
VIÐBRAGÐSTÍMI:		NOKKUÐ GÓÐUR
Umsögn: Hröð skynjun reyks er sýnileg strax á skjá vaktmanns eða í fjarvöktun á vaktstöð. Ef bruni er falinn bakvið hlut eða farartæki nær myndavélin ekki að greina hann alveg í fæðingu.		
TÍÐNI Á FÖLSKUM BOÐUM:		MJÖG LÁG TÍÐNI
Umsögn: Miklir möguleikar eru á forritun þessara kerfa til þess að tryggja sem besta vöktun og halda fölskum boðum í lágmarki.		
ENDING:		MJÖG GÓÐUR
Umsögn: Ending þessara kerfa er góð. Myndavélarnar ættu að vera viðhaldsfrjár í 6-8 ár. Serverar þarfnast uppfærslu á þessum tíma ásamt uppfærslu hugbúnaðar hverju sinni yfir tímann. Uppfærslusamningar við framleiðanda búnaðar tryggja nýjustu útgáfu hugbúnaðar hverju sinni.		

Tafla 5: Styrkleikar og veikleikar reykskynjunar með myndavélum

5.5 Myndgreining með Thermal og IR myndavélum

Myndavélar sem sérstaklega eru gerðar fyrir hitaskynjun, frekar en almenna sýn, er einn möguleiki sem hægt er að nota til skynjunar reyks í jarðgögnum. Þá er stuðst við hita og logaskynjun. Þessar gerðir véla búa yfir mikilli nákvæmni í skynjun á hitamyndun í sjónsviði þeirra.

5.5.1 Uppsetning búnaðar og virkni

Kerfi með innrauðum myndavélum til skynjunar elds eru byggð upp með *ethernet* tengdum myndavélum á sama hátt og hefðbundin myndeftirlitskerfi. Kosturinn við þessa gerð skynjunar er sá að með hitamyndavélum er hægt að sjá í gegnum reykin og jafnvel greina hitastig. Bílljós hafa ekki áhrif á skynjun þessara véla og áhrif sólarljóss við gangmunna trufla ekki þessa greiningu.

Vélarnar eru auk þess ekki viðkvæmar gagnvart skugga frá lýsingu eða sólarljósi þar sem þær greina eingöngu hita.



Mynd 6: Sýn hitamyndavélar í brunatilviki.

Þessar vélar geta einnig nýst til annara nota svo sem greiningar á umferð, kyrrstæðum bifreiðum eða gangandi vegfarendum.

Uppbygging þessara kerfa er á sama hátt og á öðrum myndeftirlitskerfum nema hvað skerpa mynda er mun takmarkaðri og langdrægni hitaskynjunarinnar er mjög mikil.

5.5.2 Samantekt um aðferð

KOSTNAÐUR	UPPSETNING:	MJÖG MIKILL
	REKSTUR:	Í MEÐALLAGI
<p>Umsögn: Mjög hár startkostnaður. Það þurfa að vera a.m.k. tvær vélar úr sitthvorri átt til ná góðri yfirsýn frá tveimur sjónarhornum.</p>		
VIÐBRAGÐSTÍMI:		MJÖG GÓÐUR
<p>Umsögn: Myndgreining er orðin fyrsta flokks í dag og getur til dæmis greint logandi sígarettuglóð í 25 m fjarlægð. Er einnig með þann eiginleika að sjá hluti í gegnum reyk, og getur þannig greint fólk eða kyrrstæð farartæki sem venjulega væri ekki hægt að sjá fyrir reykmyndun.</p>		
TÍÐNI Á FÖLSKUM BOÐUM:		MJÖG LÁG TÍÐNI
<p>Umsögn: Áður fyrr gat endurskin frá sól, ljósabúnaði á bílum o.fl. haft áhrif á tækjabúnað, en með því að notast við hitaskynjun hefur það ekki lengur áhrif og fölsk boð eru því í algjöru lágmarki.</p>		
ENDING:		MJÖG GÓÐUR
<p>Umsögn: Það þarf að þrifa linsuna reglulega. Húsin eru með þannig þéttleika að það eiga engin óhreinindi að komast að rafeindabúnaði og eiga því ekki að hafa áhrif á endingu. Uppfærsla hugbúnaðar og miðlara (<i>server</i>) nauðsynleg.</p>		

Tafla 6: Styrkleikar og veikleikar myngreiningar með notkun hitamyndavéla.

5.6 Brunaskynjun með CO og NO mælum

Almennt er miðað við að CO og NO nemum sé dreift í göngunum með 1500 metra millibili. Þessir namar gegna því hlutverki að mæla útblástur bifreiða. Fari útblásturinn upp fyrir ákveðin mörk eru blásarar settir í gang.

5.6.1 Uppsetning búnaðar og virkni

Uppi hafa verið hugmyndir um að nýta eiginleika þessara skynjara í forviðvörðun við bruna og fjölga þeim með 200 m millibil. Ef eldur blossar upp leysist út í loftið mikið af CO og NO og ef nemarnir færu í metun myndi það túlkast sem brunaboð og viðvörðun yrði send út.

5.6.2 Samantekt um aðferð

Hugmyndin um notkun mengunarnema til brunaviðvörðunar er barn síns tíma að mati skýrsluhöfundar. Í dag eru komin háþrúð kerfi sem eru sérstaklega vottuð fyrir brunaviðvörðun. Áreiðanleiki frá svona kerfi myndi aldrei standast samanburð við hin kerfin sem á undan hefur verið fjallað og verður því ekki gerð frekari rannsókn á þeim.

6 NIÐURSTÖÐUR

Hér að framan hafa nokkrar algengar aðferðir við brunaeftirlit í jarðgöngum verið kynntar og möguleikar þeirra og hagkvæmni metin. Það er nokkuð ljóst að hver og ein aðferð hefur ákveðna styrkleika og ákveðna veikleika í eftirliti. Við raunverulega framkvæmd eftirlits af þessu tagi er engin ein ákveðin aðferð sem hefur yfirburði umfram aðrar. Þess vegna er mikilvægt að finna sambland aðferða sem vega hvor aðra upp og skila sem farsælustum niðurstöðum á sem hagkvæmastan máta með sem stystan viðbragðstíma. Með þessar forsendur að leiðarljósi er lagt til að eftirfarandi kerfi verði skoðað nánar með forviðvörun bruna í íslenskum jarðgöngum í huga.

Hitaskynjun með ljósleiðara

Hagkvæm og útbreidd aðferð. Einfalt að setja upp og býður upp á möguleikann að forrita brunaboðspröskulda eftir umhverfi hvers svæðis í göngum.

Sé myndavélakerfi til staðar í göngum er möguleiki að svæðisskipta strengnum eftir sama kerfi og myndavélarnar eru settar upp. Ef brunaboð kæmi upp væri hægt að kalla á myndavélarnar á sama svæði og fá þannig sjónræna staðfestingu um leið.

Hitaskynjun með strenglög

Virknin er að mörgu leyti svipuð og ljósleiðarakerfið. Ekki jafn útbreidd en áhugaverð engu að síður. Hver skynjari í kapalnum er með sína eigin *addressu* og því eru þeir sjálfstæð eining og auðvelt að forrita mismunandi þröskulda á hverjum skynjara fyrir sig eftir því hvar í göngunum þeir eru staddir og hvernig umhverfi þeir eru að vakta. Einnig er möguleiki á að innleiða þetta kerfi inn í myndavélakerfi með sama hætti og ljósleiðarann.

Hitaskynjun með hitamyndavélum

Hingað til hefur lítið verið litið til þessarar tækni nema í þeim allra fjölförnustu göngum Evrópu. Það er þó að koma fram mun meira framboð af myndavélum og samhliða aukinnar samkeppni má búast við að verðið á þessum búnaði lækki. Margir framleiðendur bjóða upp á þann möguleika að vera með tvær linsur inni í einu húsi og þ.a.l. ef sett er upp myndavélakerfi væri hægt að vera með venjulega linsu sem vaktar svæðið og svo hitalinsu aukalega inni í sama húsinu sem myndi virka sem forviðvörun við bruna.

Samkvæmt handbók N-500 er núna gerð krafa um að öll jarðgöng sem eru yfir 5 km að lengd og í B-flokki séu vöktuð með myndavélum. Verði tekin ákvörðun um að innleiða forviðvörunarkerfi við bruna í jarðgöng á Íslandi er ljóst að samblanda af hitaskynjun með strenglög og myndavélakerfi er mjög vænlegur kostur.

HEIMILDASKRÁ

Conway, C. (2004). *FIBRE OPTIC LINEAR HEAT DETECTION APPLIED TO TUNNELS*. Graz: International Conference "Tunnel Safety and Ventilation".

Ingason, H., Appel, G., Gehandler, J., Li, Y. Z., Nyman, H., Karlsson, P., & Arvidson, M. (2015). *Development of a test method for fire detection in road tunnels*. Boras, Sweden: SP Technical Research Institute of Sweden.

Kashef, A., Liu, Z. G., Crampton, G., & Lougheed, G. (án dags.). *Findings of the International Road Tunnel Fire Detection Research Project*. Quincy, MA, USA: The Fire Protection Research Foundation.

Liu, Z. G., Kashef, A., Lougheed, G., Crampton, G., & Gottuck, D. T. (2008). *Summary of International Road Tunnel Fire Detection Research Project - Phase II*. Quincy, Massachusetts, USA: The Fire Protection Research Foundation.

VIÐAUKI 1

Sölu og þjónustuaðilar með viðeigandi kerfi

Hitaskynjun með ljósleiðara:

SIEMENS:

<http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/firesafety/fire-detection/fibrolaser-linear-heat-detection/pages/fibrolaser-linear-heat-detection.aspx>

SENSA:

<http://www.sensa.org/products-and-technology/linear-heat-detection.html>

LISTEC:

<http://www.listec-gmbh.com/en/>

Reykskynjun:

SIGRIST:

<http://www.photometer.com/en/products/details/description.html?productid=275>

Myndgreining með reykskynjun:

FIREVU:

<http://www.firevu.com/tunnels/>

Myndgreining með Thermal og IR vélum:

FLIR:

<http://www.flir.com/traffic/display/?id=70484>

MOBOTIX:

<https://www.mobotix.com/other/Products/Thermal>