



# Hagkvæmni vatnsúðakerfa í íbúðum á Íslandi

Kristín Kara Ragnarsdóttir



Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Háskóli Íslands  
2021



# HAGKVÆMNI VATNSÚÐAKERFA Í ÍBÚÐUM Á ÍSLANDI

Kristín Kara Ragnarsdóttir

30 eininga ritgerð sem er hluti af  
*Magister Scientiarum* gráðu í verkfræði

Leiðbeinendur  
Björn Karlsson  
Böðvar Tómasson  
Guðni Ingi Pálsson

Prófdómari  
Davíð Snorrason

Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
Reykjavík, september 2021

Hagkvæmni vatnsúðakerfa í íbúðum á Íslandi  
30 eininga ritgerð sem er hluti af M.Sc. gráðu í verkfræði

Höfundaréttur © 2021 Kristín Kara Ragnarsdóttir  
Öll réttindi áskilin

Umhverfis- og byggingarverkfræðideild  
Verkfræði- og náttúruvísindasvið  
Háskóli Íslands  
VR-II, Hjarðarhaga 2-6  
107 Reykjavík  
Sími: 525 4600

Skráningarupplýsingar:

Kristín Kara Ragnarsdóttir, 2021, Hagkvæmni vatnsúðakerfa í íbúðum á Íslandi, meist-  
araritgerð, umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, 83 bls.

Prentun: Háskólaprent ehf.  
Reykjavík, september 2021

# Útdráttur

Stórbruni varð í geymsluhúsnæði á Íslandi árið 2018. Húsnæðið sem brann var ekki varið með vatnsúðakerfi í samræmi við notkun byggingarinnar samkvæmt byggingarreglugerð nr. 112/2012, svo mikið tjón varð. Ef byggingin hefði verið varin í samræmi við reglugerð er líklegt að fjárhagslegt og tilfinningalegt tjón hefði verið mun minna. Vatnsúðakerfi hafa ekki verið þekkt í íbúðabyggingum á Íslandi hingað til, en ekki eru gerðar kröfur um að verja íbúðir samkvæmt byggingarreglugerð nr. 112/2012, að undanskildum byggingum sem eru hærri en 8 hæðir eða 23 m fyrir ofan jörðu. Þau atriði sem bjóða upp á tækniskipti í íslensku byggingarreglugerðinni nr. 112/2012 eru skoðuð, sem og í þeirri sænsku.

Góður árangur hefur náðst með notkun vatnsúðakerfis í híbýlum fólks í Bandaríkjunum. Virkni þeirra reynist vera um 94% og bætt brunatjón var 370% hærra í óvörðu húsnæði heldur en í vatnsúðavörðu húsnæði. Líkur á manntjóni eru fimmfalt hærri og tæplega fimmfalt fleiri slökkviliðsmenn slasast við bruna í óvörðu húsnæði en vatnsúðavörðu.

Markmið ritgerðarinnar er að kanna hvort þjóðhagslegur ábati hljótist ef vatnsúðakerfi er sett í fleiri íbúðabyggingar. Það er gert með kostnaðarábatagreiningu. Til að leggja mat á ábata er stuðst við brunatjón í Scottsdale í Arizona í Bandaríkjunum og skráð manntjón í Bandaríkjunum, með og án vatnsúðakerfis, og þeim niðurstöðum varpað yfir á brunatjón frá árinu 1981 og manntjón frá árinu 2011 á Íslandi. Undir kostnað fellur rekstrarkostnaður og uppsetningarkostnaður af vatnsúðakerfi.

Niðurstaða kostnaðarábatagreiningarinnar er sú að þjóðhagslegur ábati hljótist af því að setja upp vatnsúðakerfi í margar tegundir fjölbýlishúsa á Íslandi. Ábatinn er mestur þegar fleiri íbúðir eru á sama kerfi og margir íbúar í hverri íbúð. Íbúðir þurfa að vera tiltölulega dýrar ef eingöngu ein íbúð er á kerfi svo það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja þær með vatnsúðakerfi.



# Abstract

In 2018 a massive fire broke out in a storage building in Iceland with major fire loss. The building was not protected with a sprinkler system as it should have according to the Icelandic building regulation no. 112/2012. If the building had been protected according to the regulation, the fire damage and emotional loss would not have been as great. Sprinkler systems are not commonly used in residential buildings in Iceland since the Icelandic building regulation (no. 112/2012) does only require it in buildings higher than 8 floors or 23 m above ground. Topics that offer technical trades (when one design solution is traded with another design solution, deemed to result in equal or better fire safety) in the Icelandic building regulation as well as in the Swedish one will be discussed.

The efficiency of residential sprinklers has been found to be very high in the United States. The effectiveness turned out to be 94% and the fire loss was 370% higher than in non-sprinklered homes. The civilian fire death rate and the firefighter fireground injury rate was five times higher in non-sprinklered homes.

The goal of this thesis is to see if it is economically beneficial to install residential sprinklers into more homes. It is done using the methodology of cost benefit analysis. The benefit is estimated as the fire loss from Scottsdale, Arizona and the fire death rate from the entire United States, in buildings with and without sprinkler systems, and converted to the fire loss since 1981 and fire death rate since 2011 in Iceland. Maintenance and installation cost of the sprinkler system is estimated as the cost.

The results of the cost benefit analysis indicate that it is economically beneficial to install residential sprinklers into many apartment buildings in Iceland. The benefit increases as the number of apartments on the same sprinkler branch increases and as the number of residents in each apartment increases. If there is only one apartment on the sprinkler branch, the apartment needs to be relatively expensive for a sprinkler system installation to be economically justified.





# Efnisyfirlit

Myndaskrá	ix
Töfluskrá	xiii
Pakkir	xvii
<b>1. Inngangur</b>	<b>1</b>
1.1. Kveikja . . . . .	1
1.2. Markmið . . . . .	2
1.3. Skipulag ritgerðar . . . . .	2
<b>2. Íslenskt regluverk</b>	<b>3</b>
2.1. Lagaumhverfi mannvirkjagerðar . . . . .	3
2.2. Íslensk byggingarreglugerð nr. 112/2012 . . . . .	4
2.2.1. Viðbrögð slökkviliðs . . . . .	5
2.2.2. Notkunarflokkar . . . . .	6
2.2.3. Sjálfvirk slökkvikerfi . . . . .	8
2.2.4. Stigahús . . . . .	9
2.2.5. Lengd flóttaleiða . . . . .	10
2.2.6. Klæðningar . . . . .	11
2.2.7. Brunahólfun . . . . .	13
2.2.8. Brunamótstaða burðarvirkja . . . . .	14
2.2.9. Reyklosun . . . . .	15
2.2.10. Samantekt . . . . .	16
<b>3. Erlent regluverk</b>	<b>17</b>
3.1. Sænska byggingarreglugerðin . . . . .	18
3.1.1. Almenn . . . . .	19
3.1.2. Hönnun vatnsúðakerfa . . . . .	21
3.1.3. Heimilisúðakerfi . . . . .	21
3.1.4. Lengd flóttaleiða . . . . .	22
3.1.5. Klæðningar . . . . .	22
3.1.6. Brunahólfun . . . . .	23
3.1.7. Reyklosun . . . . .	23
3.1.8. Samantekt . . . . .	24

<b>4. Vatnsúðakerfi</b>	<b>25</b>
4.1. Úðarar og úðakerfi . . . . .	26
4.1.1. Hitavar úðara . . . . .	26
4.1.2. Flokkun úðara . . . . .	29
4.1.3. Heimilisúðarar . . . . .	30
4.1.4. Flokkun úðakerfis . . . . .	31
4.1.5. Hönnun úðakerfis . . . . .	32
4.2. Stofn- og rekstrarkostnaður . . . . .	38
<b>5. Tölfræði</b>	<b>39</b>
5.1. Brunaferill . . . . .	40
5.2. Staðsetning manntjóns og brunatjóns . . . . .	42
5.3. Virkni . . . . .	44
5.3.1. Áreiðanleiki . . . . .	45
5.3.2. Árangur . . . . .	48
5.3.3. Samantekt . . . . .	50
5.4. Fjárhagslegt tjón samfélags af eldsvoða og neyð . . . . .	51
5.4.1. Brunatjón á Íslandi . . . . .	53
5.4.2. Brunatjón í Bandaríkjunum . . . . .	55
5.4.3. Samantekt á brunatjóni . . . . .	56
5.5. Manntjón og virði mannlífs . . . . .	57
5.5.1. Manntjón á Íslandi . . . . .	58
5.5.2. Manntjón í Bandaríkjunum . . . . .	62
5.5.3. Samantekt á tölum um manntjón . . . . .	64
<b>6. Kostnaðarábatagreining</b>	<b>65</b>
6.1. Forsendur og greining . . . . .	66
6.1.1. Vatnsúðakerfi með 25 ára endingartíma . . . . .	67
6.1.2. Vatnsúðakerfi með 50 ára endingartíma . . . . .	68
6.2. Næmnigreining . . . . .	69
<b>7. Samantekt og lokaorð</b>	<b>71</b>
<b>8. Heimildir</b>	<b>73</b>
<b>A. Viðauki</b>	<b>79</b>

# Myndaskrá

4.1. Úðarar með mismunandi hitavara (Khalil og Khalil, 2020). . . . .	26
4.2. Úðara með glerkúlu og bræðivar, báðir hraðvirkir (Viking, 2021). . . . .	27
4.3. Svörunartími sem fall af leiðni (ISO 6182-1:2004). . . . .	27
4.4. Gerðir úðara, allir hraðvirkir með glerkúlu (Viking, 2021). . . . .	29
4.5. Skematísk mynd af innfeldum úðara og hefðbundnum úðara frá Viking.	30
5.1. Skipting heildarkostnaðar samfélags vegna bruna samkvæmt Ramachandran (1998). . . . .	39
5.2. Varmamyndun elds með og án vatnsúðakerfis (Madrzykowski og Vettori, 1992). . . . .	41
5.3. Raunveruleg varmamyndun elds með og án vatnsúðakerfis. . . . .	41
5.4. Staðsetning fólks við andlát af völdum bruna í Svíþjóð á árunum 1999-2007 (Jonsson, 2018). . . . .	42
5.5. Skipting bætts brunatjóns eftir gerð húsnæðis í Finnlandi á árunum 1996-1999 (Tillander, 2004). . . . .	43
5.6. Bætt brunatjón sem hlutfall á fermetra á árunum 1996-1999 í Finnlandi (Tillander, 2004). . . . .	43
5.7. Atriði sem hafa áhrif á áreiðanleika (Frank o.fl., 2013). . . . .	45
5.8. Vandamál í kerfum á árunum 1999-2007 í rannsókn Gravestock (2008).	45
5.9. Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki áreiðanlegt í samantekt Ahrens (2017). . . . .	46

## MYNDASKRÁ

5.10. Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki áreiðanlegt í samantekt Frank (2017). . . . .	46
5.11. Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki árangursríkt á bruna samkvæmt Frank o.fl. (2013). . . . .	48
5.12. Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki árangursríkt á bruna samkvæmt Ahrens (2017). . . . .	49
5.13. Bætt brunatjón íslenskra tryggingafélaga á árunum 1981-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	53
5.14. Bætt brunatjón á hvern íbúa á árunum 1981-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a). . . . .	54
5.15. Bætt brunatjón og brunabótamat á Íslandi á árunum 2006-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Þjóðskrá, 2021). . . . .	54
5.16. Bætt brunatjón á hvern íbúa á Íslandi og mögulegt bætt brunatjón væri vatnsúðakerfi til staðar frá árinu 1981 ásamt meðaltalslínunum (Ford, 2016; Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a). . . . .	56
5.17. Mannfjöldi síðan 2010 og há-, lág- og miðspá um mannfjölda fram til ársins 2040 (Hagstofa, 2021a og 2021b). . . . .	59
5.18. Hlutfall andláta í húsbrunum á hverja 100.000 íbúa á árunum 1980-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a.). . . . .	59
5.19. Skipting látinna í brunum eftir kyni og aldri árin 1979-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	60
5.20. Hlutfallslegar dánarlíkur í brunum eftir aldri allra einstaklinga á árunum 1979-2010 (Brunamálastofnun, 2011). . . . .	61
6.1. Þjóðhagsleg hagkvæmni vatnsúðakerfis með 25 ára líftíma miðað við virði íbúðar, fjölda íbúða á kerfi og fjölda íbúa. . . . .	67
6.2. Þjóðhagsleg hagkvæmni vatnsúðakerfis með 50 ára líftíma miðað við virði íbúðar, fjölda íbúða á kerfi og fjölda íbúa. . . . .	68
6.3. Næmnigreiningarstjarna fyrir gefnar forsendur með fjórum íbúum í íbúð. . . . .	69

6.4. Næmnigreiningarstjarna fyrir gefnar forsendur með tveimur íbúum í  
íbúð. . . . . 70



# Töfluskrá

2.1. Útkallssvæði eftir tíma sem það tekur útkallseiningu slökkviliðs að mæta á svæðið (leiðbeiningar HMS nr. 6.042, 2020). . . . .	5
2.2. Notkunarflokkar bygginga (tafla 9.01 í byggingarreglugerð nr. 112/2012).	7
2.3. Viðmiðunarreglur fyrir sjálfvirkt slökkvikerfi í íbúðabyggingum (byggingarreglugerð nr. 112/2012). . . . .	8
2.4. Skilgreining á stigahúsum 1-3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012). . .	9
2.5. Hámarksgöngulengd að stigahúsi, öðru brunahólfi eða útgangi með og án vatnsúðakerfis í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012).	10
2.6. Hámarksgöngulengd þar sem flóttaleið er í eina átt í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012). . . . .	10
2.7. Grunnflokkar byggingarefna og brunatákn (byggingarreglugerð nr. 112/2012 og EN 13501). . . . .	11
2.8. Undirflokkun byggingarefna (byggingarreglugerð nr. 112/2012 og EN 13501). . . . .	11
2.9. Brunakröfur klæðninga við ákveðnar aðstæður samkvæmt greinum byggingarreglugerðar nr. 112/2012. . . . .	12
2.10. Flokkun burðarvirkja m.t.t. áhættu í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012). . . . .	14
2.11. Brunamótstaða burðarvirkja með að hámarki 800 MJ/m <sup>2</sup> brunaálag með og án vatnsúðakerfis (byggingarreglugerð nr. 112/2012). . . . .	14
3.1. Hámarkshæð íbúðabygginga á Norðurlöndunum með burðarvirki úr timbri með eða án vatnsúðakerfis (Östman, 2021). . . . .	17

## TÖFLUSKRÁ

3.2.	Notkunarflokkar samkvæmt grein 5:2 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6). . . . .	19
3.3.	Lágmarks byggingaflokkar fyrir híbýli manna samkvæmt grein 5:22 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6). . . . .	20
3.4.	Yfirborðsklæðning útveggja eftir byggingaflokkum samkvæmt kafla 5:551 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6). . . . .	22
4.1.	Litamerking úðara (EN 12845:2015). . . . .	28
4.2.	Flokkun úðara (Brunamálastofnun, 2010). . . . .	29
4.3.	Lágmarks hönnunarskilyrði fyrir hættuflokkana LH, OH og HHP (EN 12845:2015). . . . .	33
4.4.	Gerð af heimilisvatnsúðakerfi (EN 16925:2018). . . . .	34
4.5.	Lágmarks hönnunarskilyrði fyrir heimilisúðara (EN 16925:2018). . . . .	35
4.6.	Fjöldi úðara sem skal prófaður (EN 16925:2018). . . . .	37
5.1.	Vaxtarstuðull eftir vaxtahraða bruna (NFPA 204M, 1985). . . . .	40
5.2.	Samantekt á virkni á vatnsúðakerfi á heimilum. . . . .	50
5.3.	Fjöldi útkalla vegna bruna í byggingum, utan bygginga og heildarfjöldi útkalla á Íslandi 2011-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	51
5.4.	Skipting húsnæðis á Íslandi árið 2020 (Lilja Bjarklind Kjartansdóttir hjá Þjóðskrá, munnleg samskipti, 15. júlí 2021). . . . .	51
5.5.	Hlutfall bygginga þar sem eldur kemur upp í eftir árum (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Lilja Bjarklind Kjartansdóttir hjá Þjóðskrá, munnleg samskipti, 15. júlí 2021). . . . .	52
5.6.	Meðalmanntjón á ári í eldsvoðum á Íslandi samkvæmt skilgreiningu HMS (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	58
5.7.	Manntjón í eldsvoðum á Íslandi 2011-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	58



5.8. Hlutfall andláta í skráðum brunum í byggingum á Íslandi (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). . . . .	60
5.9. Fjöldi skráðra bruna, fjöldi andláta og slasaðra í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017). . . . .	62
5.10. Hlutfall andláta í skráðum brunum í íbúðarhúsnæði í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017). . . . .	62
5.11. Hlutfall slysa í skráðum brunum í íbúðarhúsnæði í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017). . . . .	63
5.12. Hlutfall andláta í skráðum brunum í byggingum á Íslandi og líklegur fjöldi andláta í sama fjölda skráðra bruna ef vatnsúðakerfi hefði verið (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Ahrens, 2017). . . . .	64
6.1. Forsendur fyrir kostnaðarábatagreiðingu. . . . .	66
A.1. Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður vatnsúðakerfis á hverja íbúð. . . . .	79
A.2. Fjöldi bruna í skrifstofu- og íbúðabyggingum í rannsókn (Gravestock, 2008). . . . .	80
A.3. Vandamál í kerfum á árunum 1999-2007 í rannsókn (Gravestock, 2008). . . . .	80
A.4. Gögn um mannfjölda, manntjón, fjölda útkalla, bætt brunatjón og brunabótamat (Brunamálastofnun, 2011; Hagstofa, 2021a og HMS, 2021). . . . .	81
A.5. Látnir í brunum eftir kyni og aldri (Brunamálastofnun, 2011 og HMS, 2021). . . . .	82
A.6. Lágmarksvirði íbúðar í milljónum króna svo það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja íbúðina miðað við 25 ára líftíma kerfisins, fjölda íbúða og fjölda íbúa í henni. . . . .	82
A.7. Lágmarksvirði íbúðar í milljónum króna svo það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja íbúðina miðað við 50 ára líftíma kerfisins, fjölda íbúða og fjölda íbúa í henni. . . . .	82

*TÖFLUSKRÁ*

A.8. Breytileg gildi fyrir næmnigreiningu á rekstrar- og stofnkostnaði, af-  
vöxtunarstuðli og viði mannlífs. Ein breyting tekin fyrir í einu, sjá  
kafla 6.2. . . . . 83

# Þakkir

Ég vil byrja á að þakka leiðbeinendum mínum, Birni Karlssyni dósent við umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands og sérfræðingi hjá Félagsmálaráðuneytinu, Guðna Inga Pálssyni fagstjóra Brunamála og öryggis hjá Mannviti verkfræðistofu og Böðvari Tómassyni framkvæmdastjóra ÖRUGG verkfræðistofu fyrir að leiðbeina mér í gegnum verkefnið og deila með mér visku sinni.

Þakkir færi ég brunavarnardeild Húsnæðis- og mannvirkjastofnunar sem og Þjóðskrá Íslands fyrir gögn. Sömuleiðis vil ég þakka Adolf Adolfssyni og Róberti Ísleifssyni hjá Vatni og veitum og Agli Ásgrímssyni hjá Sprinkler pípulögnum fyrir gott spjall.

Bestu þakkir færi ég Mannviti verkfræðistofu fyrir notkun á aðstöðu og sveigjanleika á meðan verkefni þessu stóð sem og Sigurði Þorleifssyni, starfsmanni Mannvits fyrir upplýsingar.

Að lokum vil ég þakka fjölskyldu minni fyrir ómetanlegan stuðning og hvatningu í gegnum námsferil minn.



# 1. Inngangur

## 1.1. Kveikja

Á undanförunum árum hefur gagnsemi vatnsúðakerfa komið skýrar fram. Eftir stórbruna í geymsluhúsnæði á Íslandi árið 2018 kom í ljós að húsnæðið var ekki brunavarið í samræmi við notkun byggingarinnar og hlaust þar af mikið fjárhagslegt og tilfinningalegt tjón. Margir vildu meina að tjónið hefði verið minna ef vatnsúðakerfi hefði verið til staðar í samræmi við byggingarreglugerð nr. 112/2012. Í kjölfar brunans urðu vatnsúðakerfi umtöluð og gagnsemi þeirra rædd.

Árlega látast einstaklingar í húsbrunum á Íslandi sem hefðu átt möguleika á að lifa af ef vatnsúðakerfi hefði verið til staðar í byggingunum. Á undanförunum árum hafa verið þróuð heimilisúðakerfi (e. residential sprinkler, s. boendesprinkler) sem eru mun hagkvæmari en vatnsúðakerfi í atvinnuhúsnæði. Til dæmis er krafist sérstakra vatnslagna og mikils dælubúnaðar í atvinnuhúsnæði á meðan vatnslagnir íbúðarinnar má nota fyrir einfalt heimilisúðakerfi. Slík kerfi eru því mun ódýrari í uppsetningu og rekstri en hefðbundin vatnsúðakerfi fyrir atvinnuhúsnæði.

Rannsóknir sýna að flestir sem látast í húsbrunum láta lífið inni á heimilum sínum. Af þessum sökum vakna ýmsar spurningar, svo sem: Er hægt að fækka dauðsföllum og auka öryggi með vatnsúðakerfi? Væri það arðbært fyrir stjórnvöld? Gætu vatnsúðakerfi í íbúðum aukið eða jafnað öryggi íbúa óháð búsetu, þar sem hagkvæmni og kostnaðar sé jafnframt gætt?

## 1. Inngangur

### 1.2. Markmið

Markmið þessa verkefnis er að kanna hvort að af uppsetningu vatnsúðakerfa í híbýlum manna hljótist þjóðhagslegur ábati. Það er gert með framkvæmd kostnaðarábatagreiningar. Leitast verður við að kanna möguleika og kostnað við uppsetningu vatnsúðakerfa í híbýlum manna og hvers konar íbúðir væri hagkvæmt að verja. Skoðað verður hvaða svigrúm íslenskar reglugerðir bjóða upp á og hvernig slíkum málum er hagað í nágrannalöndum okkar. Greiningin miðar að því að kanna hvort þjóðhagslegur ábati hefði hlotist út frá bættu brunatjóni frá árunum 1981-2020 og manntjóni á árunum 2011-2020.

### 1.3. Skipulag ritgerðar

Ritgerð þessi samanstendur af sjö köflum. Íslenskt regluverk er tekið fyrir í öðrum kafla þar sem farið er yfir reglur sem gilda um híbýli fólks á Íslandi. Ákvæði byggingarreglugerðar nr. 112/2012 sem snúa að vatnsúðakerfum eru tekin sérstaklega fyrir þar.

Erlend regluverk eru rædd í kafla þrjú og ákvæði sænsku reglugerðarinnar, sem snúa að vatnsúðakerfum sömuleiðis.

Vatnsúðakerfi eru tekin fyrir í kafla fjögur, þar sem mismunandi úðarar og úðakerfi eru útskýrð. Sömuleiðis er farið í stofn- og rekstrarkostnað á vatnsúðakerfum.

Í fimmta kafla er fjallað um tölfræði bruna, staðsetning manntjóns og brunatjóns rædd ásamt virkni vatnsúðakerfa. Því næst er farið í kostnað af völdum bruna og ávinningur þess að setja upp vatnsúðakerfi metinn. Loks er manntjón á Íslandi og í Bandaríkjunum greint ásamt því að skoða bætt tjón af völdum bruna.

Niðurstöður þessarar ritgerðar eru teknar saman í kafla sex þar sem kostnaðarábatagreining og næmnigreining eru framkvæmdar og ræddar.

Loks er kafli sjö helgaður umræðum og lokaorðum þar sem niðurstöður þessarar ritgerðar eru ræddar.

## 2. Íslenskt regluverk

### 2.1. Lagaumhverfi mannvirkjagerðar

Á Íslandi fer félags- og barnamálaráðherra með yfirstjórn mannvirkjamála. Húsnæðis- og mannvirkjastofnun (HMS) er ráðherra til aðstoðar við eftirlit með framkvæmd laga um mannvirki, brunavarnir og reglugerðir samkvæmt 5. grein laga um mannvirki nr. 160/2010. Í lögum um brunavarnir nr. 75/2000 eru tilgreindar leiðir til að tryggja fullnægjandi eldvarnareftirlit, forvarnir og viðbúnað við eldsvoða og mengunaróhöppum á Íslandi. Í 13. grein er fjallað um brunavarnaáætlun, en slík áætlun á að liggja fyrir á hverju starfssvæði slökkviliðs og hafa fengið samþykki HMS og viðkomandi sveitastjórnar. Slíkar áætlanir skulu endurskoðaðar á fimm ára fresti. Með þeim skal tryggt að slökkvilið sé þannig mannað, skipulagt, útbúið tækjum, menntað og þjálfað að það ráði við þau verkefni sem því eru falin samkvæmt fyrrnefndri grein, sjá nánar í kafla 2.2.1.

Húsnæðis- og mannvirkjastofnun sinnir byggingarreglugerð (nr. 112/2012) og gefur út leiðbeiningablöð um ákveðnar greinar byggingarreglugerðar. Á vegum HMS eru starfrækt tvö svið sem koma að brunamálum, það eru brunavarnasvið og öryggi mannvirkja. Öryggi mannvirkja hefur eftirlit með ákvæðum byggingarreglugerðar, þar með talið ákvæðum vegna brunavarna og rafmagnsöryggis. Brunavarnasvið sér um eftirlit og fræðslu um brunavarnir, áætlanagerð og rannsóknir á sviði brunamála. Ákvæði sem snúa að brunamálum má finna í 9. kafla byggingarreglugerðar nr. 112/2012, sjá nánar í kafla 2.2. Til viðbótar gefur Staðlaráð Íslands út staðla sem gjarnan er vísað til í byggingarreglugerð. Staðlaráð Íslands eru hlutlaus og sjálfstæð aðildarsamtök sem hafa það hlutverk að vera samstarfsráð þeirra sem hagsmuni hafa að gæta af stöðlum (Staðlaráð Íslands, e.d.).

Hér á landi eru lög og reglugerðir lögboðnar og segja til hvernig hlutirnir skulu vera. Með leiðbeiningum HMS og stöðlum Staðlaráðs Íslands er hægt að framkvæma það sem lög og reglur gefa til kynna. HMS hefur heimild til að gefa út leiðbeiningar á sínu sviði án sérstaks leyfis. Umfjöllun um leiðbeiningar þessar sem snúa að brunavörnum íbúðabygginga verður fléttað inn í kafla 2.2 um byggingarreglugerð nr. 112/2012.

## 2.2. Íslensk byggingarreglugerð nr. 112/2012

Meginmarkmið byggingarreglugerðar (nr. 112/2012) varðandi varnir við eldsvoða má finna í grein 9.1.1. Þar segir að byggingar og önnur mannvirki skulu vera hönnuð og byggð þannig að öryggi fólks, dýra, umhverfis, menningarverðmæta og eigna gagnvart bruna sé tryggt. Við hönnun mannvirkja skal gert ráð fyrir að eldur geti komið upp og eftirfarandi tryggt:

- a. Að viðstaddir geti yfirgefið mannvirkið í eldsvoða eða bjargast eftir öðrum leiðum og að öryggi björgunarliðs sé fullnægjandi,
- b. að burðargeta mannvirkisins haldi í tiltekinn tíma í bruna og að glæðing, útbreiðsla elds og reyks innan þess sé takmörkuð,
- c. að hætta á útbreiðslu elds til nálægra mannvirkja sé takmörkuð sem og hætta á að eldur geti borist til mannvirkisins frá umhverfinu,
- d. að umhverfisáhrif vegna bruna verði innan ásættanlegra marka,
- e. að gerðar séu fullnægjandi ráðstafanir til að unnt sé að uppgötva og slökkva eld í mannvirki og tryggja öflun slökkvivatns, og
- f. að byggingarefni, innréttingar og húsbúnaður séu valin með það í huga að sem minnstar líkur séu á því að eldur kvikni og eitruður reykur myndist við bruna. (Byggingarreglugerð nr. 112/2012, bls. 84)

Ákvæði í 9. kafla byggingarreglugerðar (nr. 112/2012) sem snýr að brunavörnum eru meginreglur, sem eru ófrávíkjanlegar, og viðmiðunarreglur sem eru frávikjanlegar með tækniskiptum. Með tækniskiptum er átt við aðrar lausnir en viðmiðunarreglur gefa til kynna sem uppfylla meginmarkmið reglugerðarinnar, svo sem með bruna-tæknilegum útreikningum eða áhættugreiningu. Eftir tækniskipti skal brunaöryggi því vera að minnsta kosti það sama og ef fylgt væri viðmiðunarreglum í reglugerð.

Ekki er gerð krafa um að brunahanna skuli öll íbúðarhús, heldur eingöngu mannvirki sem eru með stærri samanlagðan grunnflöt en 2.000 m<sup>2</sup>, mannvirki sem byggð eru með frávik frá reglugerð, háhýsi og mannvirki sem eru þannig gerð eða staðsett að slökkviliðið sé á einhvern hátt vanbúið að ráða við eld í þeim samkvæmt grein 9.2.4 í byggingarreglugerð nr. 112/2012. Háhýsi eru skilgreind sem hús sem eru átta hæðir eða yfir 23 m há, mælt frá meðalhæð jarðvegs umhverfis húsið samkvæmt grein 9.6.25 í byggingarreglugerð nr. 112/2012.

Áætla má brunaálag í íbúðarhúsnaði sem 780 MJ/m<sup>2</sup> (Eurocode 1, 2003).



### 2.2.1. Viðbrögð slökkviliðs

Líkt og fram kom í kafla 2.1 skal brunavarnaáætlun liggja fyrir á hverju starfssviði slökkviliðs. Eitt af meginmarkmiðum brunavarnaáætlana er að sveitarfélög tilgreini hvernig þau ná að uppfylla nauðsynlegt þjónustustig. Í þéttbýli með fleiri en 300 íbúum skal ávallt vera útkallseining. Lágmarks fyrirkomulag á rekstri er eftirfarandi:

- Íbúar fleiri en 15.000 í einstöku þéttbýli: slökkvilið fast mannað á sólarhringsvöktum.
- Íbúar fleiri en 5.000 á starfssviði þess: slökkvilið skal vera með fastar vaktir á dagvinnutíma en slökkviliðsmenn í hlutastarfi utan þess tíma sem eru skyldugir að mæta í útköll eftir föstu vaktaskipulagi.
- Íbúar færri en 5.000 á starfssviði þess: slökkvilið skal mannað fólki í hlutastarfi sem er skyldugt að mæta í útköll eftir föstu vaktaskipulagi.

Útkallssvæðum slökkviliðs er skipt í fernt eftir tíma sem það tekur fyrsta bíl að mæta á svæðið og hefja vinnu, sjá töflu 2.1 (leiðbeiningar HMS nr. 6.042, 2020).

Tafla 2.1: Útkallssvæði eftir tíma sem það tekur útkallseiningu slökkviliðs að mæta á svæðið (leiðbeiningar HMS nr. 6.042, 2020).

Útkallssvæði 1	Komin á vettvang og vinna hafin innan 10 mín.
Útkallssvæði 2	Komin á vettvang og vinna hafin innan 15 mín.
Útkallssvæði 3	Komin á vettvang og vinna hafin innan 20 mín.
Útkallssvæði 4	Komin á vettvang og vinna hafin eftir meira en 20 mín.

Sé sveitarfélagi ógerlegt að uppfylla ákvæði reglugerðar með rekstri eigin slökkviliðs skal sveitarfélagið semja við nærliggjandi sveitarfélag um rekstur sameiginlegs slökkviliðs. Á fámönnum og landfræðilega afskekktum dreifbýlissvæðum, þar sem ekki er hægt að vera með útkallslið er heimilt að tryggja öryggi svæðisins með öðru skipulagi slökkviliðs. Brunavarnir skulu þá tryggðar á annan hátt, til dæmis í formi aukinna einkabrunavarna og forvarnarstarfs sem viðhaldi þannig ásættanlegu öryggi fyrir líf, heilsu, umhverfi og eignir (leiðbeiningar HMS nr. 6.042, 2020). Sé útkallstími slökkviliðs yfir 15 mín. skulu brunavarnir mannvirkisins auknar sem áhrifum þess nemur. Því má túlka það sem svo að öll mannvirki í útkallssvæði 3 og 4 skuli vera með auknum brunavörnum (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Á afskekktum stöðum og í dreifbýli þar sem ekki er hugað að auknum brunavörnum býr fólk því ekki við sama öryggi og samlandar þeirra sem búa í stærri byggðum. Á svæðum sem þessum gætu til dæmis einföld vatnsúðakerfi í íbúðum tryggt slíkt öryggi. Skerpa mætti á þessu í reglugerð til að tryggja sambærilegt öryggi allra landsmanna óháð búsetu.

## 2.2.2. Notkunarflokkar

Til einföldunar á kröfum sem settar eru á mismunandi mannvirki styðst byggingarreglugerð (nr. 112/2012) við sex notkunarflokkka. Flokkunin ákvarðast af því hvort dvalið sé innan mannvirkisins að næturlagi, hvort fólk þekki flóttaleiðir og hvort fólk geti komið sér úr mannvirkinu sjálft við bruna. Flokkunina má sjá í töflu 2.2. Í þeim tilfellum þar sem mannvirki flokkast undir fleiri en einn notkunarflokk eða þar sem flóttaleiðir eru sameiginlegar með mismunandi notkunarflokkum skal miða við ströngustu kröfur (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Tafla 2.2 sýnir að þar sem ekki er sofið í mannvirkjunum skiptist notkunarflokkurinn eftir því hvort fólk þekkir flóttaleiðir eða ekki og hvort fólk geti bjargað sér. Almenn er talið að fólk sem starfar í almennu atvinnuhúsnæði, iðnaðarhúsnæði, lager, skrifstofum, bönkum, smærri verslunum (< 150 m<sup>2</sup>), og svo framvegis þekki flóttaleiðir út úr mannvirkinu og geti bjargað sér án utanaðkomandi aðstoðar. Þau mannvirki teljast því til notkunarflokks 1.

Í mannvirkjum sem fólk safnast saman í, svo sem fyrirlestrasölum, kirkjum, kvikmyndahúsum, leikhúsum, veitingastöðum, íþróttasölum, vöruhúsum, stærri verslunum, og svo framvegis er ekki ætlast til að fólk þekki flóttaleið út úr mannvirkinu, en að fólk geti bjargað sér og flokkast því í notkunarflokk 2.

Undir notkunarflokk 3 falla mannvirki þar sem fólk býr og þekkir því útgönguleiðir og getur bjargað sér sjálft.

Í notkunarflokki 4 eru gístaðir á borð við hótél, frístundahús til útleigu, skálar til útleigu og svo framvegis. Þar er ekki gert ráð fyrir að fólk þekki leið út úr mannvirkinu, en geti þó bjargað sér sjálft.

Mannvirki á borð við meðferðar- og legudeildir sjúkrahúsa, vöggustofur, íbúðir og stofnanir fyrir aldraða og fatlaða, leikskólar og svo framvegis flokkast undir notkunarflokk 5. Gert er ráð fyrir að fólk sofi í þeim mannvirkjum, en þekki ekki flóttaleiðir og sé ófært um að bjarga sér sjálft án utanaðkomandi aðstoðar.

Lokaðar deildir á sjúkrahúsum, fangelsi og aðrir staðir þar sem fólk er lokað inni fellur undir notkunarflokk 6, en þar er gert ráð fyrir að fólk sofi en þekki ekki flóttaleiðir og sé ófært um að bjarga sér sjálft.

Þessi ritgerð einblínir á íbúðarhúsnæði fólks og því verður einungis horft til notkunarflokks 3.

Tafla 2.2: Notkunarflokkar bygginga (tafla 9.01 í byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Flokkur	Dæmi um notkun	Sofið	Pekkja flóttaleiðir	Geta bjargað sér
1	Mannvirki þar sem fólk starfar, s.s. allt almennt atvinnuhúsnæði, iðnaðarhúsnæði, lager, skrifstofur, bankar, smærri verslanir (< 150 m <sup>2</sup> ), skólar sem ekki flokkast undir flokk 2, 4 eða 5*, tilheyrandi bílgeymslur starfsmanna og byggingar fyrir dýr**.	Nei	Já	Já
	Sameiginlegar bílgeymslur fjölbýlishúsa.			
2	Mannvirki þar sem gert er ráð fyrir að fólk geti safnast saman, s.s. fyrirlestrasalir, kirkjur, kvikmyndahús, leikhús, veitingastaðir, diskótek, íþróttasalir, vöruhús, stærri verslanir og verslunarmiðstöðvar, aðstaða fyrir dans, nám og frístundastarf og bílgeymslur aðrar en í notkunarflokki 1 eða 3.	Nei	Nei	Já
3	Mannvirki þar sem fólk býr, s.s. einbýlishús og fjölbýlishús***, frístundahús og einstök gistiherbergi, þ.m.t. heimagisting****.	Já	Já	Já
4	Mannvirki þar sem gisting er boðin, s.s. hótél og aðrir gisti staðir, frístundahús til útleigu og skálar til útleigu og húsnæði þar sem boðin er tilfallandi gisting, þ.m.t. í skólum og vinnubúðum.	Já	Nei	Já
5	Mannvirki sem hýsir meðferðar- og legudeildir sjúkrahúsa, vöggustofur, íbúðir og stofnanir fyrir aldraða eða fatlaða, leikskólar og yngstu deildir grunnskóla (1. til 4. bekkur).	Já	Nei	Nei
6	Mannvirki sem hýsa fangelsi, lokaðar deildir á sjúkrahúsum, s.s. geðdeildir, og aðrir staðir þar sem menn eru lokaðir inni.	Já	Nei	Nei

\* Almennir skólar og frístundaheimili falla undir notkunarflokk 1.

\*\* Flokkunin miðast við starfsmenn í þessum húsum.

\*\*\* Stakar bílgeymslur, þ.e. fyrir einn notanda, teljast hluti einbýlis- og fjölbýlishúsa.

\*\*\*\* Ef gestafjöldi er yfir 10 manns telst húsnæðið í notkunarflokki 4.

### 2.2.3. Sjálfvirk slökkvikerfi

Getið er til um sjálfvirk slökkvikerfi í grein 9.4.6 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012) með eftirfarandi meginreglu:

Setja skal sjálfvirkan búnað til að slökkva eld þar sem það er nauðsynlegt til að tryggja öryggi lífs, umhverfis og eigna. Sjálfvirk slökkvikerfi í mannvirkjum skulu þannig útfærð að þau geti slökkt eða takmarkað eld í mannvirkinu í viðunandi langan tíma. Þau skulu geta farið í gang innan nægjanlega skamms tíma og með nægu öryggi til að uppfylla kröfur. Kerfin skulu vera varin gegn því að eldur geri þau óvirk. Virkni búnaðarins skal vera trygg þegar rafmagn er á byggingunni og hafa skal viðeigandi varnir gegn rafmagnsleysi. (Byggingarreglugerð nr. 112/2012, bls. 88)

Jafnframt fylgir viðmiðunarregla um að reglur úr töflu 9.03 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012) gildi. Atriði úr þeirri töflu sem við koma íbúðabyggingum má sjá í töflu 2.3.

*Tafla 2.3: Viðmiðunarreglur fyrir sjálfvirkt slökkvikerfi í íbúðabyggingum (byggingarreglugerð nr. 112/2012).*

Notkunar- flokkar	Stærðarmörk
1	Bílgeymslur með loft undir yfirborði jarðar*. Bílgeymsla > 600 m <sup>2</sup> með gólf undir yfirborði jarðar*, en loft við eða yfir yfirborði jarðar* nema hún sé búin reyklosun (sjá kafla 2.2.9) Bílgeymsla > 2.000 m <sup>2</sup> með gólf yfir yfirborði* jarðar nema hún sé búin reyklosun (sjá kafla 2.2.9).
3	Engin krafa.

\* Gólf má telja ofanjarðar ef a.m.k. tvær hliðar eða hálf t ummálið (á neðstu hæð) er alveg upp úr jörð.

Engin krafa um sjálfvirkt slökkvikerfi er gerð um mannvirki í notkunarflokki 3 samkvæmt töflu 2.3. Þó má líta á vatnsúðakerfi sem dæmi um auknar brunavarnir sem geta skipt sköpum við vissar aðstæður.

Í háhýsum skal vera sjálfvirkt vatnsúðakerfi samkvæmt viðmiðunarreglu greinar 9.6.25. Með reglugerð nr. 977/2020 varð leyfilegt að hafa eingöngu eina flóttaleið út úr íbúð sé vatnsúðakerfi til staðar. Því er nú leyfilegt að sleppa svölum á íbúðir sé vatnsúðakerfi til staðar sem veitir vissulega meira frelsi við hönnun, sjá nánar í kafla 2.2.5.

### 2.2.4. Stigahús

Stigahúsum er skipt í þrennt eftir hæð mannvirkja og áhættu sem fylgir því. Skilyrði eru sett fram í greinum 9.3.4-9.3.6 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012) og í töflu 2.4 hér.

Tafla 2.4: Skilgreining á stigahúsum 1-3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

	Hámarkshæð*	Skilyrði samkvæmt meginreglum
Stigahús 1	4 hæðir eða 12 m hátt	Stigahúsið skal vera sjálfstætt brunahólf.
Stigahús 2	Allt að 8 hæðum eða 23 m	Stigahúsið skal vera sjálfstætt brunahólf. Gengið inn í stigahúsið um brunastúku eða milligang sem er sér brunahólf. Samband kjallara og stigahúss skal vera um útisvæði eða brunastúku*.
Stigahús 3	8 hæðir eða hærra en 23 m	Stigahúsið skal vera sjálfstætt brunahólf. Brunahólfandi skil stigahúss skulu standa jafn lengi og meginburðarvirki mannvirkisins. Gengið inn í stigahúsið um opið svæði eða yfirþrýsta brunastúku. Má ekki tengjast kjallara. Yfirþrýst brunastúka skal tryggja yfirþrýsting í tíma sem slökkvistarf tekur, a.m.k. 60 mín.

\* er viðmiðunarregla.

Stigahús skal alltaf vera sjálfstætt brunahólf samkvæmt töflu 2.4. Fjarlægð frá stigahúsi eða öðru aðkomusvæði slökkviliðs að hvaða stað sem er innan byggingar skal að hámarki vera 40 m samkvæmt viðmiðunarreglu greinar 9.8.1 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Nái búnaður slökkviliðs ekki á allar hæðir mannvirkis skal það vera með stigahús 3 skv. gr. 9.8.2 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Sömuleiðis skulu öll háhýsi vera með stigahús 3. Stigahús 1 og 2 sem eru án glugga á útvegg skulu hafa reyklúgu efst í stigahúsinu sem er með að lágmarki 1 m<sup>2</sup> opnun samkvæmt grein 9.8.4 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012).

Meginregla 9.8.5 greinar í byggingarreglugerð (nr. 112/2012) tilgreinir að sticleiðsla skal höfð í mannvirkjum þar sem slökkvistarf gæti reynst erfitt vegna hæðar mannvirkisins, aðkomu að því eða byggingarmáta þess. Sé bygging hærra en 18 m og/eða sex hæðir skal vera sticleiðsla. Þar sem botnplata kjallara er 10 m eða meira undir jarðvegsyfirborði skal jafnframt vera sticleiðsla. Á hverri hæð byggingar og í hverjum tengipunkti slökkviliðs skal vera grein með loka og tengingu fyrir slöngur slökkviliðs. Til viðbótar er viðmiðunarregla sem tilgreinir að sticleiðsla skuli vera í byggingum með stigahús 2 og 3 og þar sem breidd ljósops stiga er minna en 0,20 m.

## 2. Íslenskt regluverk

Skóða mætti möguleika þess að minnka kröfur um stigahús eða sticleiðslu sé vatnsúðakerfi. Til að mynda mætti nota áhættugreiningu og kanna möguleika þess að nota stigahús 1 í hærri en fjögurra hæða byggingar eða stigahús 2 í byggingum sem væru átta hæðir eða hærri.

### 2.2.5. Lengd flóttaleiða

Samkvæmt byggingarreglugerð (nr. 112/2012) skal mæla göngulengd með veggjum og hornrétt á þá. Sé hluti gönguleiðarinnar einungis í eina átt í notkunarflokki 3 skal tvöfalda þá göngulengd, en margfalda með 1,5 í bílageymslum eða öðrum opnum svæðum með góða yfirsýn í notkunarflokki 1. Hámarksgöngulengd úr íbúð að stigahúsi, öðru brunahólfi eða útgangi má sjá í töflu 2.5. Þar sem flóttaleiðir í göngum eru eingöngu í eina átt skal fylgja töflu 2.6. Þar sem hámarkslengd flóttaleiða miðast við brunaálag má lengja göngulengdir um 30% sé vatnsúðakerfi til staðar, sjá nánar í töflum 2.5 og 2.6.

Tafla 2.5: Hámarksgöngulengd að stigahúsi, öðru brunahólfi eða útgangi með og án vatnsúðakerfis í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Dæmi	Vatnsúðakerfi	
	Án	Með
Í allt að fjögurra hæða húsum með einu stigahúsi.	25 m	32,5 m
Fjarlægð frá íbúðardryrum að stigahúsdryrum í svalagangshúsum með opnum svalagangi þar sem hæð upp að efri brún svalahandriðs frá jörðu er mest 10,8 m *		
Í húsum með einu stigahúsi í fimm til átta hæða húsum.	15 m	19,5 m
Fjarlægð frá íbúðardryrum að stigahúsdryrum í svalagangshúsum með opnum svalagangi.		

\* svo hægt sé að reisa stiga slökkviliðs við enda svalagangsins fjærst stigahúsinu.

Tafla 2.6: Hámarksgöngulengd þar sem flóttaleið er í eina átt í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Notkunarflokkar	Án vatnsúðakerfis	Með vatnsúðakerfi
Í göngum og samsvarandi	10 m	13,0 m
Í opnum svalagöngum	15 m	19,5 m

Með reglugerð nr. 977/2020 var bætt við ákvæði um að leyfilegt væri að hafa eingöngu eina flóttaleið út úr íbúð sé vatnsúðakerfi til staðar. Því má sleppa svölum á íbúðum sem varðar eru með vatnsúðakerfi sem lækkar byggingakostnað talsvert. Auk þess má auka göngulengdir umtalsvert í samræmi við töflur 2.5 og 2.6. Talsverðar fjárhæðir geta því sparast í lægri byggingakostnaði með fyrrnefndum ákvæðum.

### 2.2.6. Klæðningar

Brunaeiginleikar klæðninga eru táknaðar með K og þeim tíma sem klæðningin nær að verja brennanlegt undirlag, það er K10 táknað að klæðningin nái að verja brennanlegt undirlag í 10 mín.

Byggingarefni hafa sömuleiðis sín tákni. Grunnflokkun byggingarefna samkvæmt EN 13501 má sjá í töflu 2.7 og undirflokkun má sjá í töflu 2.8.

Tafla 2.7: Grunnflokkar byggingarefna og brunatákn (byggingarreglugerð nr. 112/2012 og EN 13501).

Tákn	Eiginleikar	Undirflokkur
A1	Óbrennanlegt efni sem tekur engan þátt í bruna.	Já
A2	Óbrennanlegt efni sem tekur nær engan þátt í bruna.	Já
B	Tregbrennanlegt sem tekur óverulegan þátt í bruna.	Já
C	Tekur takmarkaðan þátt í bruna.	Já
D	Tekur þátt í bruna með ásættanlegum hætti.	Já
E	Tekur mikinn þátt í bruna.	Já
F	Ekki staðfest að varan uppfylli neinar flokkunarkröfur	Nei

Tafla 2.8: Undirflokkun byggingarefna (byggingarreglugerð nr. 112/2012 og EN 13501).

Tákn	Eiginleikar
s1	Hefur mjög takmarkaða reykmyndun.
s2	Hefur takmarkaða reykmyndun.
s3	Hefur engin takmörk á reykmyndun.
d0	Myndar enga brennandi dropa eða agnir.
d1	Takmarkað magn brennandi dropa eða agna.
d2	Engin takmörk á magni brennandi dropa eða agna.

Því er óbrennanlegt byggingarefni táknað með A2-s1,d0 en byggingarefni telst auðbrennanlegt ef það nær ekki að uppfylla kröfur um D-s2,d0, en slíkt efni má ekki nota óvarið í byggingar og skal því vera með klæðningu í flokki 1 samkvæmt meginreglu greinar 9.6.8 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Brunakröfur fyrir klæðningar má sjá í töflu 2.9.

## 2. Íslenskt regluverk

Tafla 2.9: Brunakröfur klæðninga við ákveðnar aðstæður samkvæmt greinum byggingarreglugerðar nr. 112/2012.

Hluti	Aðstæður	Ákvæði	Grein
Loft- og veggklæðning	Innanhúss	Flokkari 1 K <sub>2</sub> 10 B-s1,d0	9.6.8
	Allt að 2 hæða húsi í notkunarfl. 3	K10 D-s2,d0	
Niðurhengd loft	ef hitastig <80°C	B-s1,d0	
	ef hitastig >80°C	A2-s1,d0	
Þakklæðning		B <sub>roof</sub> (t2)	9.7.7
Gólfefni	Stigahúsi 1 og 2 í notkunarfl. 3	C <sub>fl</sub> -s1	9.6.9
	Stigahúsi 3	A1 <sub>fl</sub>	
	Lágmarkskrafa	D <sub>fl</sub> -s1	
Yfirborðsfletir útveggja	Einnar eða tveggja* hæða byggingu	Flokkari 2	9.7.3
	Hærrí en tvær hæðir	Flokkari 1**	

\* Sé það rökstutt.

\*\* Í allt að 8 hæða byggingu má 20% veggflata vera í flokkari 2 (sjá grein 9.7.3 í byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Hér eru miklir möguleikar til tækniskipta í brunahönnun. Skoða mætti möguleikann á því að lækka kröfur um klæðningar ef vatnsúðakerfi væri til staðar í húsnæðinu. Fordæmi eru fyrir því að vera með hluta klæðninga innanhúss í flokkari 2 sem uppfyllir að vera K10 D-s2,d0 sé byggingin varin með vatnsúðakerfi. Við slíkar aðstæður skal hönnun vatnsúðakerfisins taka tillit til þess. Skoða mætti möguleika þess að leyfa yfirborðsklæðningu útveggja í flokkari 2 í hærri byggingum sé vatnsúðakerfi. Sömuleiðis mætti athuga hvort ekki væri hægt að leyfa þakklæðningar sem ekki uppfylla B<sub>roof</sub>(t2) á borð við torf, sé vatnsúðakerfi til staðar og brunamótstaða þaks fullnægjandi.

Ekki er víst að lægri kröfur á klæðningar lækki byggingarkostnað. Óneitanlega eykur það þó frelsi arkitekta verulega, getur gert vistarverur meira aðlaðandi og minnkað kolefnisspor bygginga.



### 2.2.7. Brunahólfun

Brunahólfun bygginga skal tryggja flóttaleiðir og takmarka útbreiðslu elds, hita og reyks. Almennt má eitt brunahólf ekki ná til fleiri en tveggja hæða nema í stigahúsum, sérbýlishúsum í notkunarflokkki 3 og í opnum bílgeymslum samkvæmt viðmiðunarreglu við grein 9.6.11 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Ef brunamótstaða brunahólfs er ekki tilgreind sérstaklega skal brunamótstaðan ekki vera lakari en EI 60, það er að heilleiki (E) og einangrun (I) skerðist ekki innan 60 mín. Veggir sem jafnframt tryggja burðargetu eru táknaðir með R fyrir framan EI merkinguna. Hurðir skulu merktar með þeirri brunamótstöðu sem þær skulu hafa, svo sem EI<sub>2</sub>30-CS<sub>200</sub> sem tákna heilleika og einangrun í 30 mín með sjálfvirkum lokunarbúnaði (C) og sérútbúnaði sem hindrar útbreiðslu reyks og hita (S), miðað við 200°C (S<sub>200</sub>). Sömuleiðis er hægt að miða við 20°C sem er þá táknað með S<sub>a</sub>. Þurfi að takmarka hitageislun í gleri er það táknað með bókstafnum W, það er til dæmis EW 30. Það eru tákni í samræmi við staðalinn EN 13501.

Brunahólfun milli íbúða og að sameign skal vera EI 90 en EI 60 að stigahúsi. Þar sem brunaálag í íbúðum er undir 800 MJ/m<sup>2</sup> má, ef vatnsúðakerfi er til staðar í byggingunni, lækka brunamótstöðu meginbrunahólfa íbúðabygginga niður í EI 60. Sé litið á hverja íbúð sem meginbrunahólf má brunahólfun á milli íbúðar og að sameign vera EI 60 líkt og á milli íbúðar og stigahúss samkvæmt grein 9.6.20 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Í byggingum sem eru að hámarki fjórar hæðir er heimilt að hafa dyr beint úr stigahúsi 1 inn í íbúðir, en þær hurðir skulu þá vera EI<sub>2</sub> 30-CS<sub>200</sub>, en EI<sub>2</sub> 60-CS<sub>200</sub> að kjallara og þakrými. Hæðaskil á milli íbúða skulu vera með REI 90 brunamótstöðu að minnsta kosti. En sambyggðum fjölbýlishúsum skal skipt með REI 120-M eldvarnarveggjum þannig að botnflatarmál milli slíkra veggja sé að hámarki 600 m<sup>2</sup>.

Því er gerð minni krafa um brunahólfun í íbúðabyggingum sé vatnsúðakerfi til staðar. Skoða mætti möguleikann á því að lækka brunamótstöðu á milli sambyggðra fjölbýlishúsa, eða auka hámarksflatarmál hvers hlutar sé íbúðabyggingin varin umfram kröfur með vatnsúðakerfi. Ólíklegt er að lækkun á kröfum niður í EI 60 breyti miklu fyrir steypdar byggingar, en gæti þó gert það fyrir timburbyggingar. Skoða mætti möguleika þess með tilliti til hljóðkrafa og kanna hvort það gæti lækkað byggingarkostnað. Sömuleiðis er hægt að framkvæma raunbrunaútreikninga þar sem brunaálag lækkar með tilkomu vatnsúðakerfis, sjá kafla 5.1.

## 2.2.8. Brunamótstaða burðarvirkja

Burðarvirki eru flokkuð eftir áhrifum af hruni mannvirkja á öryggi fólks og dýra. Flokkunina má sjá í töflu 2.10.

Tafla 2.10: Flokkun burðarvirkja m.t.t. áhættu í notkunarflokki 3 (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Áhætta vegna öryggis fólks og dýra	Notkun og stærð mannvirkis
Mjög takmörkuð	Skyggni á jarðhæð, þakásar, mannvirki undir 200 m.
Lítill	Sérbýlishús í notkunarflokki 3 mest 2 hæðir. Stigar mest 7 hæðir.
Meðal	Meginburðarvirki bygginga mest 4 hæðir eða mest 12,0 m að hæð mælt frá neðsta gólfi. Meginburðarvirki kjallara mest 1 hæð. Súlur undir milligólfum. Stigar yfir sjö hæðir.
Mikil	Meginburðarvirki bygginga í notkunarflokki 3, annarra en sérbýlishúsa. Byggingar mest 7 hæðir og mest 23,0 m að hæð mælt frá neðsta gólfi.
Mjög mikil	Byggingar meira en 7 hæðir og hærri en 23,0 m að hæð mælt frá neðsta gólfi. Kjallarar 2 hæðir eða meira.

Miðað við staðlað brunaferli má hrún ekki eiga sér stað samkvæmt töflu 2.11. Á efstu hæð byggingar sem er allt að 600 m<sup>2</sup> má lækka kröfur um einn flokk, en þó ekki minna en R 30 sé sýnt fram á að öryggi annarra þátta sé ekki skert.

Tafla 2.11: Brunamótstaða burðarvirkja með að hámarki 800 MJ/m<sup>2</sup> brunaálag með og án vatnsúðakerfis (byggingarreglugerð nr. 112/2012).

Áhætta vegna öryggis fólks	Án vatnsúðakerfis	Með vatnsúðakerfi
Mjög takmarkað	0	0
Lítill	R 30	R 30
Meðal	R 60	R 60
Mikil	R 90	R 60
Mjög mikil	R 120	R 90

Brunamótstaða burðarvirkja íbúðabygginga skal vera á bilinu R 30 til R 120, en R 30 til R 90 sé vatnsúðakerfi samkvæmt töflu 2.11. Sérbýlishús (mest 2 hæðir) skulu þá vera með R 30 brunamótstöðu burðarvirkis óháð vatnsúðakerfi, en meginburðarvirki íbúðabygginga í notkunarflokki 3 sem er að hámarki 7 hæðir skal vera með R 90 brunamótstöðu, en R 60 sé vatnsúðakerfi. Sé íbúðarbyggingin hærri en það skal burðarvirkið vera með R 120 brunamótstöðu, en R 90 sé vatnsúðakerfi. Líklega

breytir það ekki miklu varðandi byggingarkostnað í steiptum byggingum, en skoða mætti möguleika á burðarhlutum úr timbri með tilliti til hljóðkrafa. Hægt er að framkvæma raunbrunaútreikninga þar sem brunaálag lækkar með tilkomu vatnsúðakerfis, sjá kafla 5.1. Sömuleiðis er heimilt að lækka álagsforsendur vegna brunaálags um 40% ef sjálfvirkt vatnsúðakerfi er til staðar í rýminu samkvæmt grein 9.9.5 í byggingarreglugerð nr. 112/2012.

### 2.2.9. Reyklosun

Gerð er krafa um reyklosun í stærri kjöllumur fjölbýlishúsa og öðrum niðurgröfnum rýmum samkvæmt meginreglu greinar 9.8.4 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Viðmiðunarregla fyrrnefndrar greinar tilgreinir að opunarflatarmál reyklosunaropa í kjöllumur eða niðurgröfnum rýmum skal að lágmarki vera 0,5% af gólfleti sé brunaálagið minna en 800 MJ/m<sup>2</sup>, en þó aldrei minna en 0,25 m<sup>2</sup>. Í kjallararýmum sem búin eru sjálfvirku vatnsúðakerfi er 0,1% opnun nægjanleg. Sama gildir fyrir bílgeymslur í notkunarflokk 1 eða 2, en ekkert þeirra reyklosunaropa skal þó vera minna en 1 m<sup>2</sup>. Slíkt má fara fram um aðkomudyr og/eða glugga sé það ásættanlegt miðað við aðstæður.

Í mörgum fjölbýlishúsum eru samkomusalir, en ef slíkir samkomusalir eru gluggalausir og stærri en 200 m<sup>2</sup> skal vera sjálfvirk reyklosun sem stjórnað er af reykskynjara á þaki eða upp fyrir þak byggingarinnar samkvæmt viðmiðunarreglum greinar 9.4.8 í byggingarreglugerð (nr. 112/2012). Samanlagt opunarflatarmál slíks búnaðar skal að minnsta kosti vera 0,5% af gólfleti. Skoða mætti möguleika þess ef vatnsúðakerfi væri í slíkum samkomusal hvort 0,1% reyklosun teljist ekki ásættanleg í samræmi við kjallararými með sjálfvirku vatnsúðakerfi.

Framkvæma má raunbrunaútreikninga og reikna þannig út lágmarksopunarflatarmál reyklosunar með forritum á borð við CFAST frá NIST (Peacock o.fl., 2021) og ARGOS frá DBI (Deibjerg o.fl., 2003). Í fyrrnefndum forritum er stuðst við að varmamyndun elds minnki með vatnsúðakerfi, sjá kafla 5.1. Slíkar lausnir eru jafngildar því að fylgja ákvæðum reglugerðar.

### 2.2.10. Samantekt

Þrátt fyrir að engin krafa sé um vatnsúðakerfi í íbúðabyggingum í notkunarflokk 3, að undanskildum háhýsum, mælir ýmislegt með því að slík kerfi séu sett upp. Til að mynda má lengja hámarksgöngulengd flóttaleiða um 30% í allt að átta hæða húsum sé vatnsúðakerfi til staðar. Í allt að fjögurra hæða húsi með einu stigahúsi má til að mynda lengja göngulengd úr 25 m í 32,5 m og í fimm til átta hæða húsi úr 15 m í 19,5 m sé vatnsúðakerfi til staðar. Flóttaleið í eina átt í göngum eða samsvarandi má sömuleiðis lengja úr 10 m í 13 m og í opnum svalagöngum úr 15 m í 19,5 m sé vatnsúðakerfi til staðar. Einungis það að lengja flóttaleiðir um marga metra opnar á aukna fjarlægð milli stigahúsa fjölbylishúss og þar með aukinn fermetrafjölda sem hvert stigahús getur þjónað. Sömuleiðis leyfir reglugerðin að hafa eingöngu eina flóttaleið úr notkunarflokk 3 sé vatnsúðakerfi til staðar. Það felur í sér að ekki er skylda að hafa svalir á íbúðum sé vatnsúðakerfi uppsett.

Svigrúm til tækniskipta í brunahönnun í klæðningum er ekki mikið í byggingarreglugerð nr. 112/2012. Fordæmi er fyrir því að hluti loft- og veggklæðningar séu í flokki 2 sem uppfyllir K10 D-s2,d0 sé vatnsúðakerfi til staðar og ef hönnun vatnsúðakerfisins tekur tillit til þess. Yfirborðsklæðningar útveggja mega vera í flokki 2 í einnar eða tveggja hæða bygginu sé það rökstutt. Í hærri byggingum skal yfirborðsklæðning útveggja vera í flokki 1. Skoða mætti möguleika þess að leyfa klæðningu í flokki 2 í hærri byggingar sé vatnsúðakerfi og jafnvel skoða á hvaða forsendum sænska byggingarreglugerðin býður upp á meiri sveigjanleika (sjá kafla 3.1.5). Þakklæðningum eru jafnframt settar fastar skorður. Kanna mætti möguleika á því að lækka kröfur um þakklæðningar og leyfa þá til að mynda torf á þak.

Brunahólfun milli íbúða og að sameign skal almennt vera EI 90 en EI 60 að stigahúsi. Sé vatnsúðakerfi til staðar má lækka brunamótstöðu brunahólfunar milli íbúða og sameigna í EI 60. Brunamótstöðu burðarvirkja má jafnframt lækka um eitt þrep í íbúðum þegar öryggi fólks er mikið eða mjög mikið.

Samkomusalir í fjölbylishúsum falla undir notkunarflokk 2. Sé salurinn gluggalaus og stærri en 200 m<sup>2</sup> skal vera sjálfvirk reyklosun í þaki eða upp fyrir þak og skal opunarflatarmál hans að minnsta kosti vera 0,5% af gólfleti. Í kjallararýmum sem búin eru sjálfvirku vatnsúðakerfi er opunarflatarmál til reyklosunar að lágmarki 0,1% af gólfleti talin nægjanleg, í stað 0,5% án vatnsúðakerfis.

Þessi atriði eru talin jafn örugg og ef fylgt væri meginreglum byggingarreglugerðar (nr. 112/2012) en bjóða mörg hver upp á ódýrari valkosti við byggingu eða endurnýjun bygginga. Án vafa má finna fleiri atriði sem beita mætti tækniskiptum við.

### 3. Erlent regluverk

Þrátt fyrir að flest ríki deili því markmiði að tryggja öryggi og lágt manntjón vegna bruna þá fara löndin ólíkar leiðir til að finna lausn á málu­num. Nýlega tók Östman (2021) meðal annars saman hversu háar byggingar megi reisa í ólíkum löndum heims með timbur sem burðarvirki sé byggingin varin með vatnsúðakerfi eða ekki. Samantekt á hámarkshæð bygginga á Norðurlöndunum með burðarvirki úr timbri má sjá í töflu 3.1.

Tafla 3.1: Hámarkshæð íbúðabygginga á Norðurlöndunum með burðarvirki úr timbri með eða án vatnsúðakerfis (Östman, 2021).

Land	Fjöldi hæða*	
	Án vatnsúðakerfis	Með vatnsúðakerfi
Danmörk	3	3
Finnland	2	8
Ísland	8	Ekkert hámark
Noregur	4	4
Svíþjóð	Ekkert hámark	Ekkert hámark

\* Hæð hve­rrar hæðar 3 m, nema ef annað var tekið fram í gagnaöflun Östman.

Sjá má í töflu 3.1 að mjög ólíkar kröfur eru gerðar á Norðurlöndunum. Þar eru Noregur og Danmörk með svipaðar hámarkshæðir, en Ísland og Svíþjóð með áberandi hæstan leyfilegan fjölda hæða sé burðarvirki mannvirkisins út timbri. Ólíkar kröfur geta verið í byggingarreglugerðum þessara landa sem geta stutt hámarksfjölda hæða, með eða án vatnsúðakerfis. Ógerlegt er að bera saman reglugerðir allra Norðurlandanna í þessu verkefni, því er sænska byggingarreglugerðin (s. Boverkets byggregler (BFS) 2011:6) skoðuð hér og borin saman við þá íslensku í lokin.

### 3.1. Sænska byggingarreglugerðin

Sænska byggingarreglugerðin (BFS 2011:6) notast við meginreglur og viðmiðunarreglur líkt og íslenska byggingarreglugerðin. Þá eru meginreglurnar frávikjanlegar með tækniskiptum við vissar aðstæður skerði þær ekki öryggi samkvæmt grein 1:21 í sænsku byggingarreglugerðinni.

Endurskoða má eftirfarandi atriði í sænsku byggingarreglugerðinni ef vatnsúðakerfi er til staðar (Jönsson, Bengtson og Frantzich, 2005):

- Brunamótstöðu burðarvirkja
- Brunamótstöðu aðskilda bygginga
- Stærð og fjölda hæða hvers brunahólfs
- Fjarlægð að næsta brunahólfi
- Fjarlægð milli bygginga

Hér verður farið gróflega yfir reglur um brunahönnun íbúðarhúsa samkvæmt sænsku byggingarreglugerðinni og þær helstu útfærslur sem boðið er upp á sé sjálfvirkir slökkvikerfi til staðar.

## 3.1.1. Almennt

Sambærilegt við íslensku byggingarreglugerðina (nr. 112/2012) þá styðst sænska byggingarreglugerðin (BFS 2011:6) við notkunarflokkana sem eru ákvarðaðir út frá þekkingu fólks á byggingunni, hvort fólk geti forðað sér sjálf, hvort fólk sé vakandi og ef það er aukin hættu á eldi eða ef eldur getur breiðst hratt út. Tafla 3.2 sýnir notkunarflokkana samkvæmt grein 5:2 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

Tafla 3.2: Notkunarflokkar samkvæmt grein 5:2 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

Flokkur	Undirflokkur	Dæmi um notkun	Þekkja flóttaleiðir	Geta bjargað sér	Sofið
1	-	lónaðarhúsnæði, lager og skrifstofur.	Já	Já	Nei
2	2A	Skólar, búðir, líkamsræktarstöðvar, fyrirlestrasalir, leikhús, kvikmyndahús o.fl. Færri en 150 manns.	Já	Já	Nei
	2B	Skólar, búðir, líkamsræktarstöðvar, fyrirlestrasalir, leikhús, kvikmyndahús o.fl. Fleiri en 150 manns.	Já	Já	Nei
	2C	Diskótek, stórir barir og næturklúbbar. Fleiri en 150 manns og áfengi haft um hönd.	Já	Já	Nei
3	3A	Einbýli, fjölbýli, íbúðir eldri borgara, sumarbústaðir, o.s.frv.	Já	Já	Já
	3B	Sambýli, vistheimili fyrir börn, hjúkunarheimili o.s.frv.	Já	Já	Já
4	-	Hótel, gistiheimili og aðrir tímabundnir gisti- staðir.	Nei	Já	Já
5	5A	Grunnskólar eða dagvistanir.	Nei	Nei	Nei
	5B	Stofnanir fyrir fólk með líkamleg eða andleg veikindi, með fötlun, vitglöp, o.s.frv.	Nei	Nei	Já
	5C	Sjúkrahús	Nei	Nei	Já
	5D	Mannvirki sem hýsa fangelsi og aðra staði þar sem fólk er lokað inni.	Nei	Nei	Já
6	-	Mannvirki þar sem unnið er með mjög eldfim efni eða þar sem eldur getur breiðst út hratt, t.d. timburverksmiðjur, blaðaverksmiðjur o.fl.	Já	Já	Nei

### 3. Erlent regluverk

Samhliða notkunarflokkum styðst sænska byggingarreglugerðin (BFS 2011:6) við byggingaflokka eftir þörf á vörn. Þar falla byggingar með mjög mikla þörf á bruna-vörnum, erfiðleika í rýmingu og/eða mannvirki þar sem afleiðingar af hruni yrðu alvarlegar í flokk Br0. Byggingar sem þurfa litla vörn falla hins vegar í flokk Br3 samkvæmt grein 5:22 í sænsku byggingarreglugerðinni. Sjá nánar um byggingaflokk-ana í töflu 3.3.

*Tafla 3.3: Lágmarks byggingaflokkar fyrir háþýli manna samkvæmt grein 5:22 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).*

Bygginga- flokkur	Dæmi um notkun
<b>Br0</b>	Mannvirki yfir 16 hæðum.
<b>Br1</b>	Mannvirki á þremur eða fleiri hæðum.
<b>Br2</b>	Lítið hús á færri en þremur hæðum. Mannvirki með a.m.k. tveimur íbúðum og þar sem unnið eða búið er í risi mannvirkja.
<b>Br3</b>	Önnur mannvirki.

Ein- og fjölbýli eru því í notkunarflokk 3A samkvæmt töflu 3.2 en geta verið í byggingaflokk Br0, Br1, Br2 eða Br3 samkvæmt töflu 3.3.



### 3.1.2. Hönnun vatnsúðakerfa

Samkvæmt grein 5:252 í sænsku byggingarreglugerðinni skal hönnun vatnsúðakerfa vera þannig að kerfið geti slökkt eða takmarkað útbreiðslu elds í ákveðinn tíma áreiðanlega. Kerfið skal virkjast hratt og örugglega og vera varið eldi. Þannig skal tryggja vatnsmagn, vatnsþrýsting, vatnsflæði o.fl. við hönnun kerfisins.

Hönnun sjálfvirkra vatnsúðakerfa skal vera í samræmi við staðlana SS-EN 12845 og SS-EN 12259 samkvæmt grein 5:2521 í sænsku byggingarreglugerðinni. Áreiðanleika og getu úðarana og vatnsflaumskerfis skal sannreyna samkvæmt CEN/TS 14816. Önnur kerfi skulu sannreynd samkvæmt SBF 120.

### 3.1.3. Heimilisúðakerfi

Fyrir mannvirki í notkunarflokk 3 skal fylgja SS EN 16925 samkvæmt grein 5:2522 í sænsku byggingarreglugerðinni. Þá gildir eftirfarandi í samræmi við staðalinn EN 16925:

1. Fyrir mannvirki á að hámarki tveimur hæðum skal nota vatnsúðakerfi af gerð 1.
2. Fyrir mannvirki á að hámarki 8 hæðum skal nota vatnsúðakerfi af gerð 2.
3. Fyrir mannvirki yfir 8 hæðum og mannvirki í notkunarflokk 5B skal nota vatnsúðakerfi af gerð 3.

Stjórnklefar fyrir vatnsúðakerfi af gerð 2 eða 3 skulu vera í eigin brunahólfi.

Fjallað er nánar um gerðir úðakerfis og hönnun í samræmi við EN 16925 í kafla 4.1.5.

### 3.1.4. Lengd flóttaleiða

Sambærilegt við íslensku byggingarreglugerðina má auka hámarks göngulengd flóttaleiða samkvæmt grein 5:331 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6). Göngulengdin er mæld eftir verstu leið, það er með fram veggjum að næsta útgangi.

Hámarksgöngulengd að næsta útgangi eða í næsta brunahólf fyrir íbúðir í notkunarflokki 3 er 45 m (tafla 5:331 í sænsku byggingarreglugerðinni, BFS 2011:6).

Ekki er boðið upp á að lengja flóttaleiðir í notkunarflokki 3, að undanskildum notkunarflokki 3B, í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

### 3.1.5. Klæðningar

Klæðningar á yfirborðsflötum útveggja fara eftir byggingaflokki mannvirkisins. Sænska byggingarreglugerðin (BFS 2011:6) notast við sömu tákni og sú íslenska, staðalinn EN 13501.

Kröfur um yfirborðsklæðningar útveggja má sjá í töflu 3.4.

Tafla 3.4: Yfirborðsklæðning útveggja eftir byggingaflokkum samkvæmt kafla 5:551 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

Flokkur	Skilyrði
Br1	Yfirborðsklæðning í flokki A2-s1,d0. Leyfilegt að hafa klæðningu í flokki D-s2,d2 ef byggingin er að hámarki tvær hæðir, klæðningin er eingöngu á jarðhæð byggingarinnar, byggingin er að hámarki 8 hæðir með vatnsúðakerfi og klæðningin á jarðhæð er A2-s1,d0 eða ef byggingin er að hámarki 8 hæðir en klæðningin þekur einungis hluta byggingarinnar.
Br2	Að lágmarki D-s2,d0.
Br3	Að lágmarki D-s2,d0.

Í mannvirkjum í byggingarflokki Br3 sem varin eru með vatnsúðakerfi má nota kapla af gerð  $E_{ca}$  í stað  $D_{ca-s2,d2}$ .

### 3.1.6. Brunahólfun

Fyrir mannvirki í byggingaflokki Br1 (samkvæmt töflu 3.3) skal brunamótstaða meginbrunahólfa aðskildra mannvirkja og hæða yfir jarðvegsyfirborði með brunaálag undir  $800 \text{ MJ/m}^2$  vera EI 60. Samkvæmt Eurocode 1 (2003) er brunaálag í íbúðum undir  $800 \text{ MJ/m}^2$  svo meginbrunahólfun íbúða skal vera EI 60. Lækka má brunamótstöðu meginbrunahólfa sé brunaálagið hærra en  $800 \text{ MJ/m}^2$ , sé vatnsúðakerfi til staðar (tafla 5:531 í sænsku byggingarreglugerðinni, BFS 2011:6).

Fyrir mannvirki í byggingaflokki Br2 eða Br3 fer brunamótstaðan eftir brunaálaginu í mannvirkinu, en skal þó að minnsta kosti vera EI 30 samkvæmt grein 5:532 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

Brunamótstaða dyra, hurða og hlera skal vera sama og brunamótstaða brunahólfsins. Sé sjálfvirkt vatnsúðakerfi til staðar má brunamótstaða hurða vera helmingur af brunamótstöðu brunahólfsins og án einangrunar, en þó að lágmarki E 30 samkvæmt grein 5:534 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6).

Íbúðir í notkunarflokki 3 skulu almennt vera sér brunahólf með EI 60 veggjum sé byggingin í byggingaflokki Br1, en að minnsta kosti EI 30 fyrir byggingaflokka Br2 og Br3.

### 3.1.7. Reyklosun

Getið er um reyklosun í grein 5:732 í sænsku byggingarreglugerðinni (BFS 2011:6). Stigahús í allt að 8 hæða byggingu í byggingaflokki Br1 skal vera búið  $1 \text{ m}^2$  reyklosun eða hafa opnanleg fög á að minnsta kosti annarri hverri hæð. Í risi bygginga sem er yfir 4 hæðir skal vera reyklosun sem er að minnsta kosti 1% af gólflatar máli eða sambærilegt.

Sé sjálfvirkt vatnsúðakerfi í brunahólfi með brunaálag að hámarki  $800 \text{ MJ/m}^2$  er gerð krafa um að flatarmál reyklúga sé að lágmarki 0,1% af gólflatar máli, í stað 0,5% sé ekki vatnsúðakerfi.

### 3.1.8. Samantekt

Sambærilegt við íslensku byggingarreglugerðina er byggingum skipt niður eftir notkun og öryggi.

Ólíkt íslensku byggingarreglugerðinni má ekki lengja hámarksgöngulengd í íbúðum fólks sé vatnsúðakerfi uppsett samkvæmt sænsku byggingarreglugerðinni. Þó eru gerðar sambærilegar kröfur til yfirborðsklæðninga bygginga í byggingarreglugerðunum tveimur.

Brunamótstaða brunahólfa íbúða í byggingaflokki Br1 skal vera EI 60, en EI 30 í byggingaflokkum Br2 og Br3. Lækka má brunamótstöðu meginbrunahólfa sé sjálfvirkt slökkvikerfi til staðar þegar brunaálagið er hærra en  $800 \text{ MJ/m}^2$ . Þar sem íbúðir eru með lægra brunaálag er ekki í boði að lækka brunamótstöðu meginbrunahólfa í íbúðarbyggingum. Þó má lækka brunamótstöðu dyra, hurða og hlera sé sjálfvirkt vatnsúðakerfi til staðar, en þó að lágmarki E30.

Í kjallarárymum sem búin eru sjálfvirku vatnsúðakerfi er opunarflatarmál til reyklosunar að lágmarki 0,1% af gólfleti talið nægjanleg, en 0,5% sé ekki sjálfvirkt vatnsúðakerfi. Ekki er þó boðið upp á minni reyklosun í öðrum tilfellum í stað vatnsúðakerfis.

Athuga ber að samkvæmt sænskri byggingarreglugerð má nota tregbrennanleg efni í klæðningar utanhúss undir vissum kringumstæðum, en mjög miklar takmarkanir eru á slíku samkvæmt íslenskum reglum

## 4. Vatnsúðakerfi

Vatnsúðakerfi eru sett upp við ólíkar aðstæður þar sem kerfin þjóna mismunandi tilgangi. Sífelld er verið að leita ódýrari leiða sem hafa sama öryggi eða eru öruggari en aðrar viðurkenndar lausnir (Hurley o.fl., 2015). Meginmarkmið vatnsúðakerfa er að hindra útbreiðslu elds með því að bleyta og kæla yfirborðið í kringum eldinn og halda þannig eldinum í skefjum þar til aðstoð frá slökkviliði berst. Vatnsúðakerfi er áhrifarík leið til að minnka líkur á yfirtendrun (Dyer, 2008). Þannig nær vatnsúðakerfi einnig að kæla niður burðarvirki húsa ásamt því að hindra dreifingu eiturgufa (Hurley o.fl., 2015).

Við hönnun vatnsúðakerfis þarf að tryggja að kerfið henti viðkomandi aðstæðum og hanna það með mögulegt brunaálag í mannvirkinu í huga. Á Íslandi getur veðurfar sett strik í reikninginn, bæði hvað varðar viðbragðstíma slökkviliðs sem og hvaða vatnsúðakerfi er hægt að nota við mismunandi aðstæður. Hér verður farið yfir flokkun úðara og úðakerfa, hönnun og líftíma þeirra. Lagaumhverfi vatnsúðakerfa er kannað, en hér á landi gilda reglur og leiðbeiningar um eftirlit, prófun og viðhald sjálfvirkra úðakerfa gefin út af Brunamálastofnun, nú Húsnaðis- og mannvirkjastofnun, uppfært árið 2010.

## 4.1. Úðarar og úðakerfi

Vatnsúðakerfi er net lagna þar sem úðahausum er komið fyrir með vissu millibili. Vatnsúðakerfin skiptast í sjálfvirk og handvirk vatnsúðakerfi. Munurinn felst í því hvort úðahausarnir séu sjálfvirkir eður ei, til sjálfvirkra úðara teljast úðarar með glerkúlu eða bræðivara. Sjálfvirkir úðarar fara af stað þegar hitavar úðaranna fer upp fyrir ákveðið hitastig en þá gefur hitavari sig, sem annað hvort getur verið glerkúla sem brotnar eða bræðivari sem bráðnar. Í flestum tilfellum er æskilegt að nota sjálfvirka úðara. Til eru mismunandi gerðir af kerfum og úðurum sem henta við mismunandi aðstæður. Á svæðum þar sem hætta er á að vatn frjósi í lögnum er gagnlegt að nota þurrt kerfi eða kerfi fyllt með frostlegi. Til eru úðarar sem mega snúa upp og niður og úðarar sem mega eingöngu snúa upp eða niður. Sömuleiðis eru til sérstakir úðarar sem henta við sérhæfðari aðstæður, í ris á húsum, gluggaúðarar, veggúðarar, á göngum og í geymslum.

### 4.1.1. Hitavar úðara

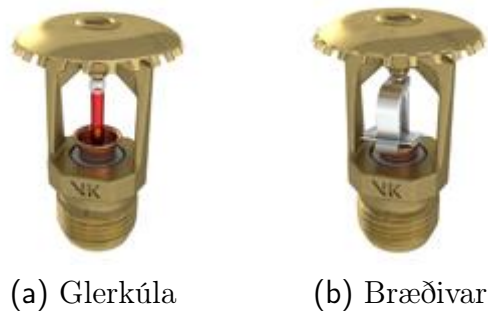
Hægt er að fá hitavar sem opnast við mismunandi hitastig, allt frá 68°C til 227°C með hitavar úr málmi, en 57°C til 204°C með hitavar úr gleri samkvæmt EN 12845 grein 14.4. Almennt eru valdir úðarar með opunarhitastig sem er um 30°C hærra en hæsti meðalhiti í rýminu. Mynd 4.1 sýnir úðara með mismunandi hitavara eftir því við hvaða hitastig glerið brotnar.



Mynd 4.1: Úðarar með mismunandi hitavara (Khalil og Khalil, 2020).

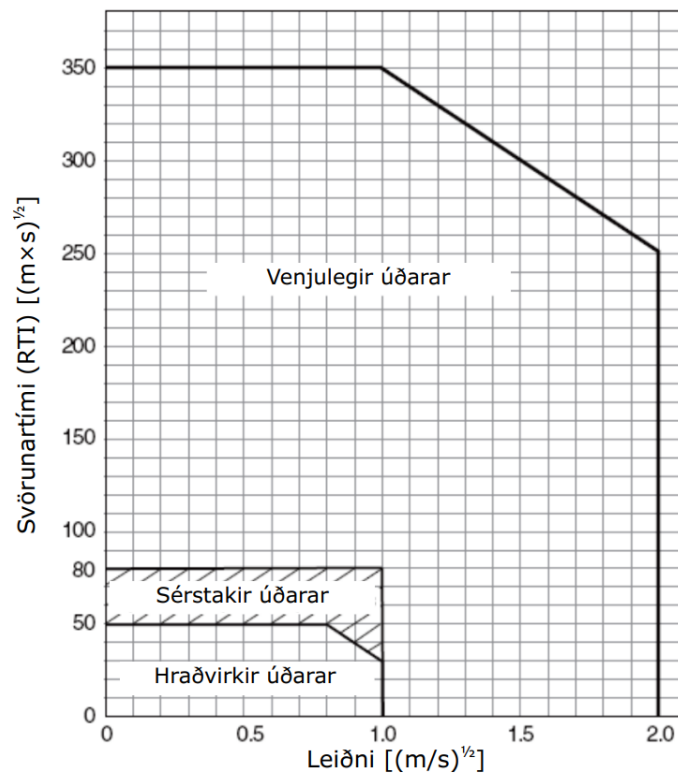
Hitavarar sem almennt eru notaðir eru annað hvort með glerkúlu sem brotnar eða bræðivara sem bráðnar við ákveðið hitastig. Glerkúlur eru mest notaðar í Evrópu (Nystedt, 2011). Þær eru fylltar með sér blöndu og lofti og þegar umhverfishitastig kúlanna hækkar þenst vökvinn út og veldur því að glerið brotnar. Við það losnar um loku og vatn streymir úr úðaranum. Bræðivar sem bráðnar eru úr auðbræðanlegum málmi sem aðskilur sig frá hluta úðarans og losar þannig um loku svo vatn

streymir út. Dæmi um úðara með glerkúlu og bræðivari má sjá á myndum 4.2(a) og 4.2(b).



Mynd 4.2: Úðara með glerkúlu (a) og bræðivar (b), báðir hraðvirkir (Viking, 2021).

Nauðsynlegt er að hafa í huga svörunartíma (e. Response Time Index, RTI) úðara við val á þeim. Samanburð á svörunartíma má sjá á mynd 4.3 sem fall af leiðni. Þar er litið á svörunartíma, eða næmni, þriggja mismunandi úðara, venjulegra, sérstakra (samkvæmt NFPA 13) og hraðvirkra úðara (e. standard, special og fast response).



Mynd 4.3: Svörunartími sem fall af leiðni (ISO 6182-1:2004).

#### 4. Vatnsúðakerfi

Allir úðarar eru litamerktir eftir því við hvaða hitastig glerkúla eða bræðivar þeirra opnar úðarann. Litamerking er á armi úðara með bræðivar, en inni í glerkúlu úðara sem brotna, og opunarhitastigið skal jafnframt stimplað á úðarana sjálfa. Litakvarðinn er nokkuð ólíkur eftir því hvort miðað er við bandaríska staðalinn NFPA 13 eða Evrópustaðalinn EN 12845 (Brunamálastofnun, 2010). Litamerkinguna samkvæmt EN 12845 má sjá í töflu 4.1

Tafla 4.1: Litamerking úðara (EN 12845:2015).

Opunarhitastig	Litur á glerkúlu	Opunarhitastig	Litur á armi
57°C	Appelsínugulur	68-74°C	Ólitaður
68°C	Rauður		
79°C	Gulur		
93°C	Grænn	93-100°C	Hvítur
141°C	Blár	141°C	Blár
182°C	Ljós fjólublár	182°C	Gulur
204-260°C	Svartur	227°C	Rauður



### 4.1.2. Flokkun úðara

Úðurum er almennt skipt í þrjá flokka. Það er hefðbundinn úðari sem má bæði vera uppréttur og niðurvísandi, dreifiúðari sem má vera uppréttur eða niðurvísandi og úðari á vegg sem getur verið lóðréttur eða láréttur. Þeir dreifa vatni á ólíkan hátt. Sjá nánar í töflu 4.2.

Tafla 4.2: Flokkun úðara (Brunamálastofnun, 2010).

	Merki	Notkun	Einkenni
Hefðbundinn	CU/P CONV	Bæði upprétt og niðurvísandi.	Dreifir vatni á loftflöt.
Dreifari	SSU SSP	Úðari í uppréttri stöðu. Niðurvísandi úðari.	Dreifir ekki vatni á loftflöt.
Á vegg	HSW VSW	Dreifir í lóðréttu stöðu. Dreifir í lárétta stöðu.	Dreifir vatni á veggflöt.

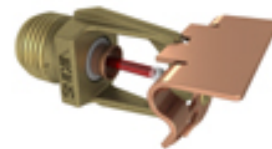
Hefðbundnum úðara má snúa bæði upp og niður (CU/P og CONV). Dreifiplatan á slíkum úðurum hleypir vatni bæði fram hjá plötunni og beinir því í gagnstæða stefnu. Jafnframt eru til úðarar með sléttri dreifiplötu sem hleypa vatni fram hjá plötunni (SSU og SSP). Platan beinir þá ekki vatni í gagnstæða stefnu. Úðarar við vegg hafa plötu sem hindrar að vatn fari í ákveðna átt og beinir því vatni á takmarkað svæði (HSW og VSW). Mynd 4.4 (a) sýnir úðara sem bæði má snúa upp og niður, (b) niðurvísandi úðara með sléttri dreifiplötu og (c) úðara á vegg.



(a) Uppréttur eða niðurvísandi, CONV (VK3541).



(b) Niðurvísandi, SSP (VK302).



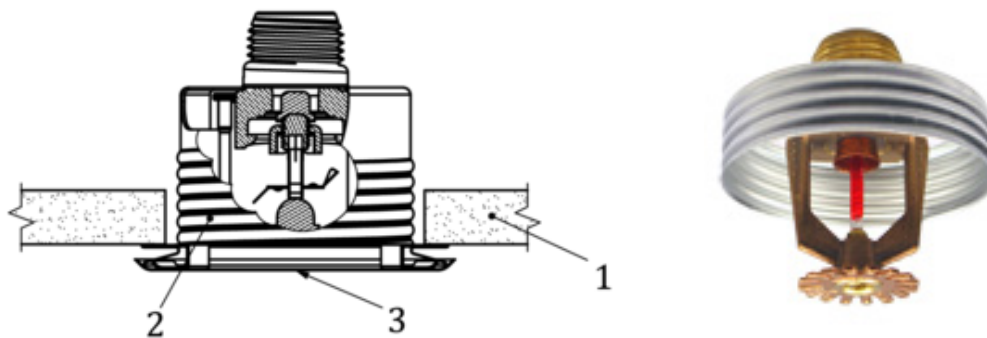
(c) Á vegg, HSW (VK333).

Mynd 4.4: Gerðir úðara, allir hraðvirkir með glerkúlu (Viking, 2021).

Jafnframt eru til sérhæfðir úðarar, til dæmis í glugga, ris húsa og á göngum.

### 4.1.3. Heimilisúðarar

Vatnsúðakerfi sem ætlað er í híbýli fólks eru heimilisúðarar. Þeim er fyrst og fremst ætlað að verja fólk og þar á eftir að verja eignir. Hitavarinn í heimilisúðurum er viðkvæmari og vatn dreifist hærra á vegg í þeim heldur en öðrum úðurum. Hægt er að fá heimilisúðara sem festast í loft eða á vegg og dreifa þá vatni lárétt. Algengasta útfærslan í mörgum löndum eru innbyggðir heimilisúðarar í lofti. Þá er lítið lok fest með bræðivari sem losnar um við lægra hitastig en bræðivar úðarans. Gæta þarf þess að ekki sé málað yfir lokin, slíkt getur valdið því að úðarinn virkar ekki. Innfelldir úðarar hafa virkni venjulegra úðara og flokkast því ekki sem hraðvirkir.



(a) Nr. 1: loftklæðning, nr. 2: húsið umhverfis, nr. 3: lokið á úðaranum (ISO 6182-1:2014).

(b) Viking VK352 úðari (Viking, 2021).

Mynd 4.5: Skematísk mynd af innfeldum úðara og hefðbundnum úðara frá Viking.

Vatnsúðakerfi er ætlað að fyrirbyggja yfirtendrun í híbýlum og tryggja þannig að fólk geti forðað sér út úr brunahólfinu. Þegar að hámarki tveir heimilisúðarar hafa farið af stað skal eftirfarandi tryggt (Nystedt, 2011):

1. Hitastig við loftklæðningu skal ekki fara yfir  $315^{\circ}\text{C}$
2. Hitastig í 1,6 m hæð yfir gólfi skal aldrei fara yfir  $93^{\circ}\text{C}$

Þegar fyrrnefnt er uppfyllt er öryggi fólks talið tryggt (Nystedt, 2011).

Ekki er ætlast til þess að úðarar séu settir í öll rými á heimilum fólks, sjá samantekt um staðalinn EN 16925 í kafla 4.1.5.

#### 4.1.4. Flokkun úðakerfis

Vatnsúðakerfi skiptast að mestu í fjóra flokka (Hurley o.fl., 2015 og Brunamálastofnun, 2010):

1. Blautkerfi (e. wet pipe system) er gjarnan talin einfaldasta og algengasta gerðin af vatnsúðakerfum. Í öllu kerfinu er vatni, eða frostlegi, haldið undir þrýstingi með einstefnuloka. Sé frostlögur í kerfinu hentar það þar sem hitastig getur farið undir frostmark líkt og á Íslandi. Það er sjálfvirkt og einungis flæðir úr þeim úðurum sem hafa opnast. Skilyrði samkvæmt EN 16925 tilgreina að hver stjórnloka (control valve set) megi einungis sinna einni notkunareiningu/íbúð fyrir vatnsúðakerfi af tegund 1, en að hámarki 5.000 m<sup>2</sup> þar sem vatnsúðakerfi 2 eða 3 er, sjá kafla 4.1.5.
2. Þurrkerfi (e. dry pipe system) getur hentað vel þar sem frosthætta er til staðar, til dæmis í opnum bílakjöllurum á Íslandi. Þar er kerfinu haldið þurru með varðloku (e. dry pipe valve) sem helst lokuð með lofti eða köfnunarefni (N). Þegar einn eða fleiri úðahauser opnast, losnar um þrýstinginn, þurrlokan opnast og vatn flæðir um kerfið. Þetta kerfi er seinvirkara en blautkerfi, þess vegna er gerð krafa um 30% meira vatn en í blautkerfi. Þetta kerfi er sjálfvirkt og vatn flæðir einungis úr þeim úðurum sem hafa opnast. Vatn skal vera komið út úr úðaranum innan 15 sek. samkvæmt EN 12845 og EN 16925 frá því að úðarinn opnast. Í íslensku leiðbeiningunum er tilgreint að vatn megi ekki vera lengur en í 60 sek. að berast að úðaranum sem er fjærst í kerfinu frá því að úðarinn opnast.
3. Forvirkt kerfi (e. preaction system) sameinar kosti blaut- og þurrkerfis. Undir venjulegum kringumstæðum eru allar lagnir kerfisins þurrar, að undanskildu inntaki að varðloka. Varðlokinn virkjast með boðum frá sérstöku viðvörðunarkerfi, en að lágmarki þurfa tveir reyk- og/eða hitaskynjarar í sama rými í húsinu að nema reyk eða eld, við það opnast varðlokinn og hleypir vatni inn á kerfið. Um leið og bræðivar opnar eftir það er kerfið tilbúið að úða vatni. Forvirkt kerfi er helst notað þar sem hætta er á miklu tjóni ef úðari eða vatnslögn úðakerfisins opnast óvart. Sjálfvirkir úðarar eru til staðar. Við brunaboð flæðir því vatn um kerfið og út um þá úðara sem hafa opnast.
4. Flóðkerfi (e. deluge system) er sambærilegt forvirku kerfi, þar með talið hagar varðlokan sér svipað. Þegar kerfið hefur þó verið ræst úða allir úðarar vatni samtímis þar sem úðarar kerfisins eru handvirkir. Þetta kerfi er hentugt á mjög eldfimum svæðum þar sem eldur getur breiðst hratt út, eins og í flugskýlum, olíufylltum háspennu spennum við raforkuver o.s.frv. Ásættalegt fyrir HHP4 samkvæmt EN 12845, sjá töflu 4.3 í kafla 4.1.5.

#### 4.1.5. Hönnun úðakerfis

Vatnsúðakerfi eru hönnuð út frá þeim eiginleikum sem úðakerfinu er ætlað að hafa þannig að virkni þess verði sem mest við tiltekna aðstæður. Þar er meðal annars átt við lágmarks hönnunarþéttleika samkvæmt EN 12845 í töflu 4.3 og samkvæmt EN 16925 í töflu 4.4 sem er ráðandi fyrir heimæð.

Sjálfvirk vatnsúðakerfi skulu hönnuð og þeim viðhaldið í samræmi við staðlana EN 12845, EN 12259 eða aðra staðla sem HMS viðurkennir. Hannað er eftir EN 16925 í rýmum þar sem fólk dvelst að staðaldri en EN 12845 í rýmum á borð við skrifstofuhúsnæði, geymslurými o.fl. Þó er bæði hægt að hanna sjálfvirkt vatnsúðakerfi í íbúðabyggingar samkvæmt EN 12845 og EN 16925. Sé notast við staðalinn EN 12845 skulu úðastútarnir vera hraðvirkir (byggingarreglugerð, nr. 112/2012). Úðakerfi sem er hannað í samræmi við staðalinn EN 12845 er harðgerðara en heimilisúðakerfi sem er hannað í samræmi við EN 16925. Þar að auki er gerð umtalsvert hærra krafa um hönnunarþéttleika samkvæmt EN 12845 en EN 16925 og hönnunarsvæðin ólík, sjá töflur 4.3 og 4.4.

Ekki er litið á líftíma vatnsúðakerfis sem tímann sem það endist, heldur hvenær það borgar sig ekki að fara í nauðsynlegt viðhald og því sé frekar skipt út. Sumir framleiðendur baktryggja sig og gefa út að glerkúlan í úðahausum endist í 15-20 ár. Að þeim tíma loknum skal skipta út úðaranum (Adolf Adolfsson hjá Vatni og veitum, munnleg heimild, 16. júlí 2021). Lagnir og aðrir hlutar úðakerfisins endast þó mun lengur sé viðhaldið gott (Egill Ásgrímsson hjá Sprinkler pípulögnum, munnleg heimild, 21. júlí 2021).

**Hönnun samkvæmt EN 12845**

Staðallinn EN 12845:2015 tekur fyrir sjálfvirkt úðakerfi, hönnun þess, uppsetningu, viðhald og prófanir í mannvirkjum á landi. Staðallinn skilgreinir mismunandi hættu- stig á sjálfvirkum vatnsúðakerfum í þrennt, þ.e. lítil hætta, venjuleg hætta og mikil hætta (e. light hazard, ordinary hazard og high hazard). Skiptingin er eftirfarandi:

- Lág hætta, LH: þar sem brunaálag er lágt og hvert brunahólf er minna en 126 m<sup>2</sup> með brunamótstöðu í a.m.k. 30 mín. Í frumhönnun skal miða við 225 l/mín. Vatnsbirgðir skulu endast í 30 mín.
- Almenn hætta, OH: þar sem miðlungs brunaálag og miðlungs eldfimi er, skipt í OH1, OH2, OH3 og OH4. OH4 tilgreinir hæsta brunaálagið í OH hópnun. Í frumhönnun skal miða við 1000 l/mín. Vatnsbirgðir skulu endast í 60 mín.
- Mikil hætta, HH: hátt brunaálag og mikil eldfimi. Skipt í vinnslu og geymslu (e. process og storage). Vinnsla með mikilli hættu skiptist í HHP1, HHP2, HHP3 og HHP4 og geymsla í HHS1, HHS2, HHS3 og HHS4. Geymslum er skipt nánar niður í ST1, ST2,... ST6. Vatnsbirgðir í HHP og HHS skulu endast í 90 mín.

Lágmarks hönnunarskilyrði fyrir LH, OH og HHP má sjá í töflu 4.3.

Tafla 4.3: Lágmarks hönnunarskilyrði fyrir hættuflokkana LH, OH og HHP (EN 12845:2015).

Hættu- flokkur	Hönnunar þéttleiki [mm/mín]	Svæði [m <sup>2</sup> ]	
		Blautt eða forvirkt kerfi	Purrt eða sambærilegt kerfi
LH	2,25	84	Ekki leyfilegt. Nota OH1.
OH1	5,0	72	90
OH2	5,0	144	180
OH3	5,0	216	270
OH4	5,0	360	Ekki leyfilegt. Nota HHP1.
HHP1	7,5	260	325
HHP2	10,0	260	325
HHP3	12,5	260	325

HHP4 þarf flóðkerfi sem ekki er tekið fyrir í EN 12845 og því ekki fjallað um hér.

Prýstingurinn í öllum úðurum skal vera að minnsta kosti 0,7 bar fyrir hættu í flokki LH, 0,35 í flokki OH, 0,5 í flokkum HHP og HHS fyrir utan úðakerfi í hillum, þar skal þrýstingurinn vera 2,0 bar samkvæmt EN 12845.

#### 4. Vatnsúðakerfi

Séu úðarar hafðir við aðstæður þar sem þeir gætu orðið fyrir hnjaski eru til sérstakar öryggishlifar fyrir þá. Sömuleiðis eru til varnir sem skal nota þegar hætta er á að húð myndist utan um hitavör úðara. Það er hlaupkennt efni sem ver þá fyrir til dæmis tæringu, sem og málningu í málningasprautuklefum samkvæmt EN 12845 grein 14.9.

Í viðauka A í staðlinum EN 12845 er tilgreint í hvaða hættuflokki rými eru. Nánar má lesa um hönnunarforsendur í staðlinum.

#### Hönnun samkvæmt EN 16925

Staðallinn EN 16925:2018 tilgreinir kröfur, hönnun, uppsetningu, vatnsbirgðir, viðhald og prófanir á sjálfvirku heimilisúðakerfi. Til viðbótar gefa sumar þjóðir út þjóðarviðauka sem tilgreinir frávik eða hertari kröfur sem gilda í landinu.

Við hönnun skal tilgreina gerð vatnsúðakerfisins samkvæmt töflu 4.4. Líkt og sjá má í fyrrnefndri töflu eru settar skorður á hönnun vatnsúðakerfa í fjölbýlishúsum samkvæmt staðlinum. Að hámarki má verja 4 hæða eða 18 m hátt hús í samræmi við staðalinn EN 16925.

*Tafla 4.4: Gerð af heimilsvatnsúðakerfi (EN 16925:2018).*

Gerð	Dæmi
1	Einbýli eða tvíbýli. Einingahús Gistiheimili
2	Fjölbýlishús* Byggingar með sameiginlegri aðstöðu eins og eldhúsi, baðherbergi og stofu* Hjúkrunarheimili fyrir að hámarki 10 einstaklingar* Dagvistun barna eða fullorðinna fyrir að hámarki 10 einstaklingar* Nemendaíbúðir*
3	Hjúkrunarheimili* Lítill hótell eða farfuglaheimili*

\* að hámarki 4 hæðir eða 18 m hátt.

Lágmarkskröfur fyrir úðarana samkvæmt EN 16925:2018 má sjá í töflu 4.5. Þar er fjöldi úðara ákvarðaður úr frá hámarksfjölda úðara í rými, með hámarksfjölda gefinn upp. Þar að auki tilgreina þjóðarviðaukar sumra landa um vanalegan þéttleika eða fjölda úðara af hverri gerð.

Tafla 4.5: Lágmarks hönnunarskilyrði fyrir heimilisúðara (EN 16925:2018).

Gerð	Lágmarks þéttleiki [mm/mín]	Fjöldi úðara [stk.]	Lágmarks ending vatnsbirgða [mín]
1	2,1	1-2	10
2	2,1-4,1	1-4	30
3	2,1-4,1	2-4	30

Stjórnloki í blautu kerfi getur að hámarki sinnt einni notendaeiningu ef úðakerfið er af gerð 1, en getur sinnt 5.000 m<sup>2</sup> sé kerfið af gerð 2 eða 3.

Þrýstingurinn við hvern úðara skal vera að minnsta kosti 0,5 bar, sé lágmarksþrýstingurinn hærri í upplýsingum frá framleiðanda úðarans skal fylgja framleiðandanum. Þrýstingurinn má ekki fara yfir 12 bar í neinum úðara. Í þurru kerfi skal vatn vera komið út úr fjærsta úðaranum 15 s eftir að hann opnast.

Þjalla sem fer af stað þegar úðari opnast skal vera tengd við vaktstöð sé úðakerfið af gerð 2 eða 3, en boðleið fyrir úðakerfi af gerð 1 skal ákvörðuð af eiganda mannvirkisins eða stjórnvöldum (grein 14.3)

Svæði á heimilum sem ekki þarf að verja með vatnsúðakerfi eru eftirfarandi:

- baðherbergi sem eru minni en 5 m<sup>2</sup> með óbrennanlegri klæðningu og þar sem ekki eru raftæki á borð við þvottavél og þurrkara,
- fataherbergi, skápar og búr með gólfplatarmál að hámarki 2 m<sup>2</sup> eða 1 m á breidd eða dýpt,
- herbergi sem varið er með öðru sjálfvirku slökkvikerfi sem samþykkt er af yfirvöldum,
- útskot sem auka eða auka ekki gólfplatarmál sé það að hámarki 1,6 m<sup>2</sup> (0,6 m að dýpt og 2,7 m að lengd), til dæmis gluggaútskot,
- skuggasvæði sem eru minni en 1,4 m<sup>2</sup> sem úðari nær ekki að, til dæmis vegna veggja,
- afmarkað rými á borð við ris, þar sem ekki er búíð, engin raftæki eru og rýmið með viðeigandi eldvörnum,

#### 4. Vatnsúðakerfi

- g. ris húsnæðis með heimilisúðakerfi af gerð 1 þar sem ekki er búið,
- h. skriðrými og önnur afmörkuð rými með takmörkuðu aðgengi sem ekki eru ætluð til íveru eða geymslu,
- i. lóðrétta stokka sem eru brunatæknilega aðskildir öðrum rýmum,
- j. tómarúm með brennanlegum efnum sé loft þess með brunamótstöðu í að minnsta kosti 30 mín.

Stór kostur við heimilisúðakerfi, umfram önnur kerfi, er hvernig hugað er að eftirliti með kerfinu. En sá aðili sem setur upp vatnsúðakerfi í íbúð skal afhenda eiganda íbúðarinnar leiðbeiningar um eftirlit, prófanir og viðhald á kerfinu. Lágmarksskoðun sem fara skal fram árlega er eftirfarandi (EN 16925:2018):

- a. athuga hvort byggingin sé enn notuð til búsetu,
- b. athuga hvort byggingunni hafi verið breytt, ef svo er hvort vatnsúðakerfið sé enn virkt og hvort úðarar séu rétt staðsettir,
- c. skoða hvern úðara til að tryggja að þeir séu ekki skaddaðir og að ekki hafi verið málað yfir þá,
- d. athuga hvort allir stjórnlokar séu opnir,
- e. prófun á öllum vatnsflæðibjölum þar sem búast má við lægsta rennslis hraða við úðara,
- f. prófun á brunaviðvörðunarkerfi þar sem við á,
- g. athuga hvort vatnsþrýstingur og rennslis hraði á aðflutningsæð sé að lágmarki það sem kerfið þarf,
- h. athuga hvort dæla sem tengd er aðflutningsæð fari sjálfvirkt af stað,
- i. athuga loftþrýsting í þurrkerfum,
- j. athuga hæð vatnsyfirborðs í safngeymi.



Langtímaskoðanir eiga sér stað eftir 25 ár fyrir blautkerfi en 12 ár fyrir þurrkerfi eða forvirkt kerfi. Þær fela í sér skolun á kerfinu, athugun á að minnsta kosti 1 m lögn á hverja 100 úðara (að minnsta kosti tvær 1 m lagnir skulu skoðaðar í hverju kerfi) og prófun á ákveðnum fjölda úðara í samræmi við töflu 4.6. Ef bræðivörn þeirra er farin að breytast eða hettan yfir opinu farin að festast skal skipta þeim öllum út. Þar að auki skal skoða minnst 10% stjórnloka ef þeir eru margir.

*Tafla 4.6: Fjöldi úðara sem skal prófaður (EN 16925:2018).*

Heildarfjöldi úðara	Fjöldi úðara til skoðunar
$\leq 100$	3
$\leq 500$	6

Þetta fyrirkomulag takmarkar mjög rekstrarkostnað. Líkt og fram kom í töflu 4.4 má eingöngu verja 4 hæða, eða 18 m hátt fjölbýlishús í samræmi við staðalinn EN 16925. Þetta setur miklar skorður, því þá má ekki hanna til að mynda háhýsi með staðlinum.

## 4.2. Stofn- og rekstrarkostnaður

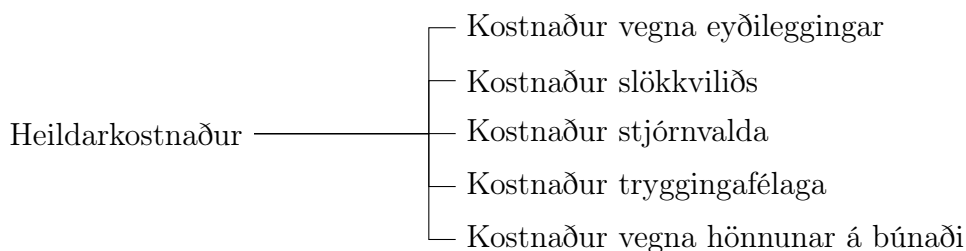
Erfiðlega getur reynst að meta stofnkostnað vatnsúðakerfis þar sem það fer að miklu leyti eftir gerð kerfis, húsnæðis, hversu stórt það er og hvaða búnað þarf. Vatnsúðakerfi sem hægt er að tengja inn á stofnlagnir byggingarinnar er til að mynda ódýrara heldur en ef leggja þarf sér lagnir fyrir kerfið. Almennt má þó gera ráð fyrir að byggingakostnaður aukist um 5-10% eftir gerð húsnæðis sé sett upp vatnsúðakerfi (Róbert Ísleifsson hjá Vatni og veitum, munnleg heimild, 4. september 2021). Til einföldunar er hér stuðst við 3.000.000 kr. stofnkostnað á búnaði og öðru slíku fyrir heimilisúðakerfi samkvæmt EN 16925:2018 og 7.000 kr. á hvern fermetra af lögnum og úðurum. Vegna skorda sem EN 16925 setur um hæð bygginga verður eingöngu skoðað að deila stofnbúnaði með að hámarki 12 íbúðum, það er til að mynda þrjár íbúðir á hæð.

Eftirlit og almennt viðhald er mjög takmarkað þar sem eigandi íbúðar getur gert það sjálf/ur. Samkvæmt reglugerð nr. 270/2017 um fasteignalán til neytenda er árlegur rekstrarkostnaður á fasteign að lágmarki 1,5% af kaupverði fasteignar. Rekstrarkostnaður á vatnsúðakerfi er lægri þar sem eigandi húsnæðisins getur framkvæmt skoðanir sjálfur. Því verður tekið 1% af stofnkostnaði vatnsúðakerfis á hverja íbúð og litið á þann kostnað sem árlegan rekstrarkostnað á íbúð, sem þó er vel í lagt.

Til einföldunar verður stuðst við 100 m<sup>2</sup> íbúð í öllum tilfellum, sjá nánar í töflu A.1 í viðauka.

## 5. Tölfræði

Hægt er að skipta heildarkostnað samfélags af eldsvoða og forvörnum í fimm flokka, mynd 5.1 (Ramachandran, 1998).



Mynd 5.1: Skipting heildarkostnaðar samfélags vegna bruna samkvæmt Ramachandran (1998).

Það fyrsta sem fólk hugsar til þegar það veltir fyrir sér kostnaði vegna eldsvoða er vissulega beini kostnaðurinn vegna eyðileggingar. Ekki má gleyma óbeina kostnaðnum eins og það að stjórnvöld verða að halda uppi lögum og reglum á landinu og að rekstur og búnaður slökkviliðs sé dýr. Sömuleiðis greiða tryggingafélög háar fjárhæðir fyrir tjón af völdum eldsvoða á hverju ári. Kostnaður slökkviliðs af eldsvoða stjórnast helst af því hve mikill eldurinn er og hvernig aðgengið er að honum. Með reyskynjurum og brunaviðvörðunarkerfi er oft hægt að gera slökkviliði fyrr viðvart og með vatnsúðakerfi er gjarnan hægt að halda eldinum í skefjum. Á sama tíma gefa fyrrnefnd kerfi stundum falsboð sem er kostnaður fyrir slökkviliðið (Ramachandran, 1998).

Hér verður byrjað á að skoða áhrif vatnsúðakerfis á brunuferil og staðsetningu fólks sem lætur lífið í eldsvoða til að átta sig á í hvaða rýmum manntjón verður helst. Farið verður í kostnað samfélags af eldsvoða og bætt brunatjón tryggingafélaganna, hlutfall kynjanna og líkur á manntjóni, bæði á Íslandi og í Bandaríkjunum og þessi atriði borin saman. Velt er fyrir sér hvort það væri skynsamlegt að auka kröfur um vatnsúðakerfi í byggingum á Íslandi miðað við eldsvoða og manntjón í eldsvoðum síðan árið 1981. Hér er ekki verðmetin möguleg lækkun á mengun vegna bruna eða áhrifa sem hlutar í vatnsúðakerfi hafa á umhverfið. Á 50 ára líftíma einbýlishúss er gert ráð fyrir  $701 \pm 193$  tonnum lægri útblæstri koltvísýrings ( $\text{CO}_2$ ) sé vatnsúðakerfi til staðar, en  $250 \pm 69$  tonnum fyrir fjölbýlishús (Fraser-Mitchell og Williams, 2013).

## 5.1. Brunaferill

Til eru nokkrar aðferðir við að lýsa varmamyndun elds. Algengasta leiðin er með jöfnu 5.1 (Karlsson og Quintiere, 1999):

$$\dot{Q} = \alpha \times t^2 \quad (5.1)$$

Þar sem  $\dot{Q}$  er varmamyndun (kW),  $\alpha$  er vaxtarstuðull (kW/s<sup>2</sup>) og  $t$  er tími frá upptökum bruna (s). Vaxtarstuðullinn er ákvarðaður eftir vaxtarhraða brunans, sjá töflu 5.1.

Tafla 5.1: Vaxtarstuðull eftir vaxtarhraða bruna (NFPA 204M, 1985).

Vaxtarhraði bruna	Vaxtarstuðull $\alpha$ [kW/s <sup>2</sup> ]
Mjög hraður	0,190
Hraður	0,047
Meðalhraður	0,012
Hægur	0,003

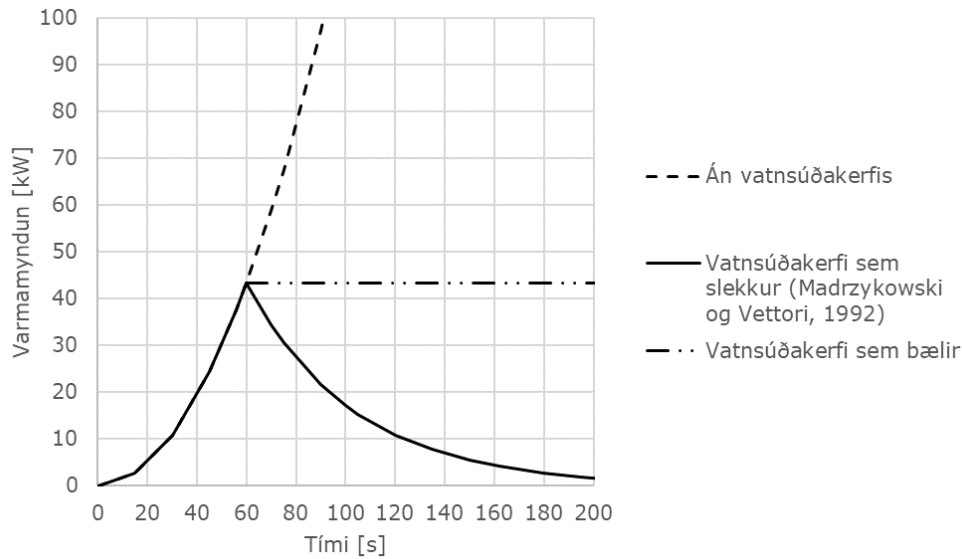
Madrzykowski og Vettori (1992) settu fram jöfnu fyrir lækunarstuðul á varmamyndun elds vegna vatnsúðakerfis. Miðað var við skrifstofurými og bruna í húsgögnum, sjá jöfnu 5.2.

$$\dot{Q}(t) = \dot{Q}_{act} \times e^{-0,023\Delta t} \quad (5.2)$$

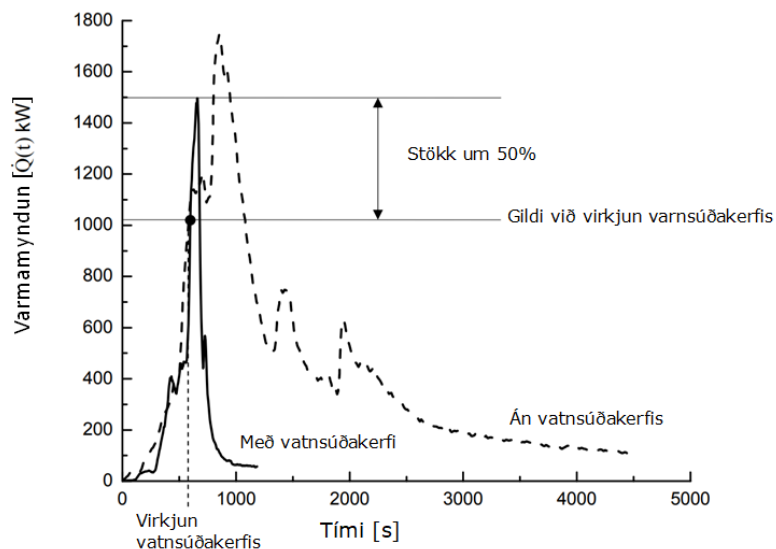
Þar sem  $\dot{Q}(t)$  er varmamyndun (kW) á tíma  $t$  (s),  $\dot{Q}_{act}$  er varmamyndun þegar vatnsúðakerfið virkjast og  $\Delta t$  er tímamismunurinn á tíma  $t$  og  $t_{act}$  þegar kerfið virkjast, það er  $t - t_{act}$  (s). Hér er miðað við lága hættu (LH) með 4,2 mm/mín eða meiri vatnsþéttleika. Samkvæmt Madrzykowski og Vettori (1992) eru þetta efri mörk fyrir bruna sem úðararnir ná til, það er að ekki skyggi mikið á dreifingu vatns á brunafliótinn.

Sé miðað við meðalhraðan bruna ( $\alpha = 0,012$  kW/s<sup>2</sup>) og úðara sem virkjast eftir 60 s má sjá þróun varmamyndunar bruna á mynd 5.2 fyrir bruna án vatnsúðakerfis, bruna með vatnsúðakerfi sem bælar og með vatnsúðakerfi sem nær tókum á brunanum og slekkur því eldinn.

Chow (2005) gerði tvenns konar prófanir, með og án vatnsúðakerfis fyrir hönnunarbruna í skrifstofurými. Í skrifstofurýminu var gert ráð fyrir stól, borði, blöðum og bókum á borðinu, tölvu og kómmóðu. Kveikt var í brennanlegum hlutum til að fá yfirtendrun (e. flashover) og ákvarða þannig varmamyndunina. Prófunin var síðan endurtekin með vatnsúðakerfi með þrýstingnum 0,52 bar og 60 l/mín flæði (Chow, 2005). Niðurstöður prófunarinnar má sjá á mynd 5.3. Notast var við lítinn eld með varmamyndun að hámarki 1,8 MW í 30 mín.



Mynd 5.2: Varmamyndun elds með og án vatnsúðakerfis (Madrzykowski og Vettori, 1992).



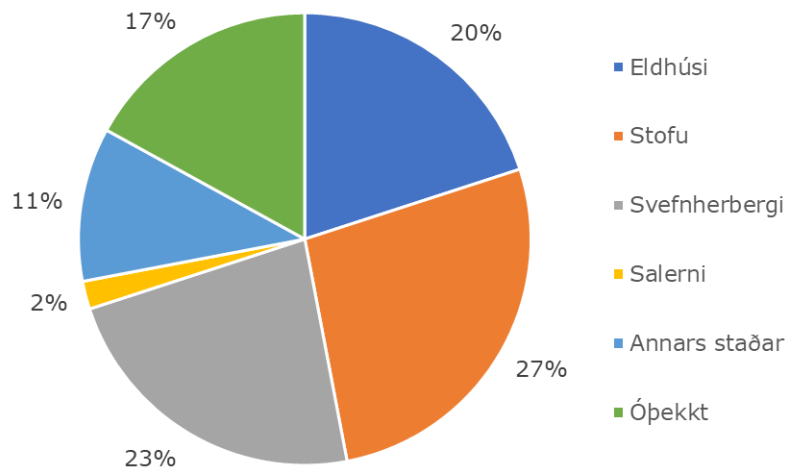
Mynd 5.3: Raunveruleg varmamýndun elds með og án vatnsúðakerfis (Chow, 2005).

Sjá má á mynd 5.3 að vatnsúðakerfið hægir á varmamýnduninni eftir að það virkjast, en tekur síðan stökk upp um 500 kW, sem er 50% hækkun frá því þegar kerfið virkjaðist. Stuttu síðar hríðfellur varmamýndunin og slekkur nánast eldinn. Nálgunin fyrir vatnsúðakerfi sem bælir eld á mynd 5.2 skilar því mun meiri heildarvarmaorku en rannsókn Chow (2005). Því er ásættanlegt að áætla að varmamýndun elds standi í stað eftir virkjun vatnsúðakerfis.

## 5.2. Staðsetning manntjóns og brunatjóns

Af þeim sem létu lífið á heimilum sínum á árunum 1983-1994 í Svíþjóð létust 70% af völdum reyks en 30% vegna beinnar snertingar við eld (Östman o.fl., 2002).

Staðsetningu fólks sem lætur lífið innan íbúðar vegna bruna má sjá á mynd 5.4 (Jonsson, 2018).



Mynd 5.4: Staðsetning fólks við andlát af völdum bruna í Svíþjóð á árunum 1999-2007 samkvæmt (Jonsson, 2018).

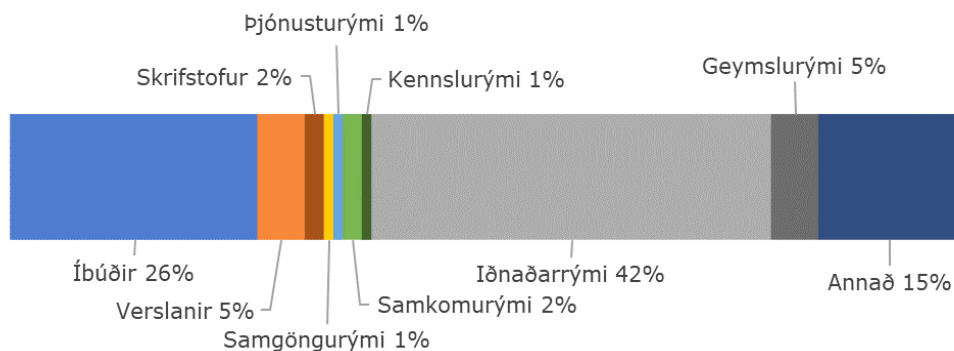
Á mynd 5.4 má sjá að 23% láta lífið í svefnherbergi á heimilum sínum, 27% í stofu og 20% í eldhúsi. Gera má ráð fyrir að stór hluti þeirra sem létu lífið í svefnherbergi sínu hafi verið sofandi og hluti fólks í stofum. Velta má fyrir sér hvort stór hluti þessa hóps hefði náð að forða sér ef þau hefðu orðið eldsins var, til dæmis ef þau hefðu vaknað við reykskynjara. Hefði vatnsúðakerfi verið til staðar má sömuleiðis gera ráð fyrir að eldsvoðarnir hefðu ekki orðið jafn stórir og þar af leiðandi minni reykmyndun sem var helsta dánarorsök fyrri ára í Svíþjóð (Östman o.fl., 2002).

Brunatjón var þó ekki hæst í íbúðum fólks í Finnlandi á árunum 1996-1999 (Tillander, 2004). Mynd 5.5 sýnir skiptingu heildar brunatjóns í þessum árum. Á þessum árum voru brunar í iðnaðarrýmum rúmlega 40% af heildar bættu brunatjóni, en íbúðir 26%.

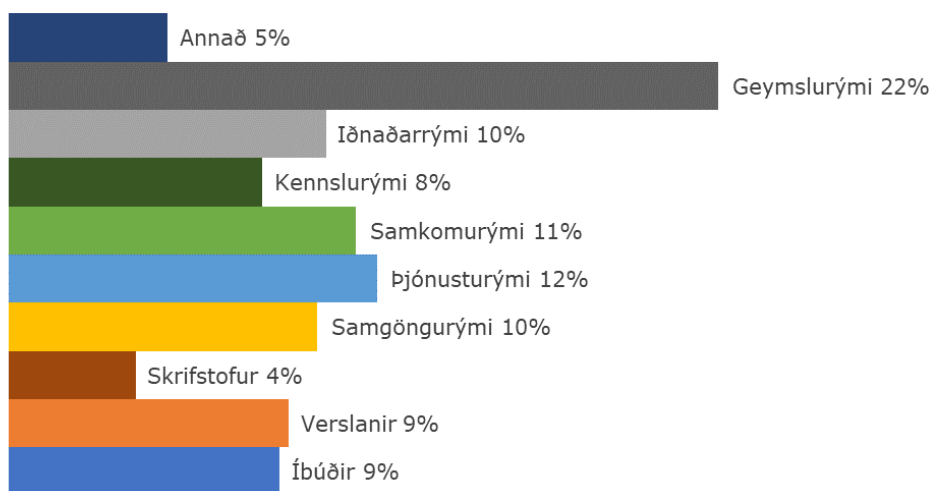
Það skýrist einna helst af því að iðnaðarrými eru mörg hver stærri og minna bruna-hólfuð en íbúðarhúsnæði svo áhugavert er að líta á bætt brunatjón sem hlutfall á fermetra, sjá mynd 5.6. Komi upp jafn stór eldur í geymslurými og í íbúð er ljóst að brunatjónið í geymslurýminu væri meira en helmingi hærra en í íbúðinni. Það

## 5.2. Staðsetning manntjóns og brunatjóns

skýrist af því að meiri verðmæti séu geymd á hvern fermetra í geymslurými en að meðaltali í íbúðum fólks.



Mynd 5.5: Skipting bætts brunatjóns eftir gerð húsnæðis í Finnlandi á árunum 1996-1999 (Tillander, 2004).



Mynd 5.6: Bætt brunatjón sem hlutfall á fermetra á árunum 1996-1999 í Finnlandi (Tillander, 2004).

Bætt brunatjón á hvern fermetra eru örlítið hærrí í iðnaðarrýmum en í íbúðum á árunum 1996-1999 í Finnlandi. Það er því ljóst að mun fleiri fermetrar af iðnaðarrými hafi orðið eldi að bráð í Finnlandi á þessum árum heldur en íbúðir samkvæmt myndum 5.5 og 5.6.

Ef hægt væri að koma í veg fyrir manntjón í svefnherbergjum og stofum á heimilum fólks myndi manntjón minnka um 50% samkvæmt mynd 5.4 sem myndi leiða til lægra bætts brunatjóns.

### 5.3. Virkni

Þar sem erfitt getur reynst að mæla virkni vatnsúðakerfa í raunverulegum brunum er meðal annars litið til þess hvernig eldurinn dreifði sér, fjöldi úðara sem fór af stað, áhrif brunans á burðarvirki og mannvirki, nauðsynlegur mannaflí, tæki og tól sem þurfti til að ráða niðurlögum eldsins og hversu margir hafi slasast eða látið lífið í eldsvoðanum (Frank o.fl., 2013). Aðrar aðferðir sem hafa verið notaðar eru einna helst líkindatré og það sem tölvuforrit nota, að vatnsúðakerfi hafi lækkandi áhrif á varmamyndun (e. heat release rate). Í tölvuforritum er litið svo á að varmamyndun annað hvort lækki eða standi í stað eftir virkjun vatnsúðakerfis, sjá kafla 5.1.

Virkni vatnsúðakerfa er hér skipt upp í áreiðanleika og árangur vatnsúðakerfa á bruna. Áreiðanleiki vatnsúðakerfa er skilgreindur sem líkurnar á því að vatnsúðakerfi opnist og beini vatni á eldinn en árangur vatnsúðakerfa eru líkurnar á því að vatnsúðakerfið hafi áhrif á þróun eldsins, gefið að úðari opnist. Litið er á virkni vatnsúðakerfa sem bæði áreiðanleika og árangur kerfanna við bruna, sem skarast þó að mörgu leyti (Frank o.fl., 2013).

Í skýrslu Ahrens (2017) um virkni vatnsúðakerfa í heild sinni við bruna á árunum 2010-2014 í Bandaríkjunum voru um 91% vatnsúðakerfa sem virkuðu í íbúðarhúsum, 6% sem virkuðu ekki og 3% kerfanna báru ekki árangur (e. failed to operate og operated ineffectively).

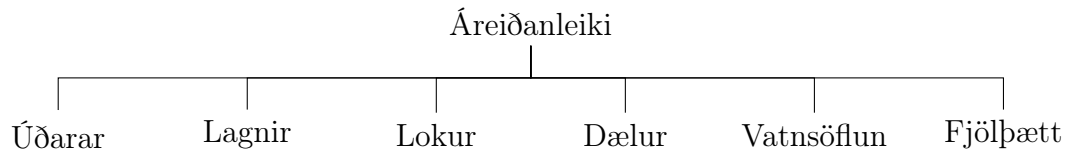
Virkni vatnsúðakerfis ræðst meðal annars af (Frank o.fl., 2013 og Gravestock, 2008):

- eiginleikum vatnsúðakerfis og úðaranna
- stöðlum og tækni sem var þekkt við hönnun kerfisins
- aldri og rýrnun kerfisins ásamt viðhaldi, prófunum og eftirliti
- breytingum á kerfinu eða breyttri notkun byggingar
- hönnun byggingar
- öðrum kerfum í byggingu, svo sem hitun og loftræsikerfi
- breytingu á vatnsöflun eða brunnum
- fyrirstöðu svo vatn nái takmarkað eða ekki að eldi
- hvort eldur logi í glóðum



### 5.3.1. Áreiðanleiki

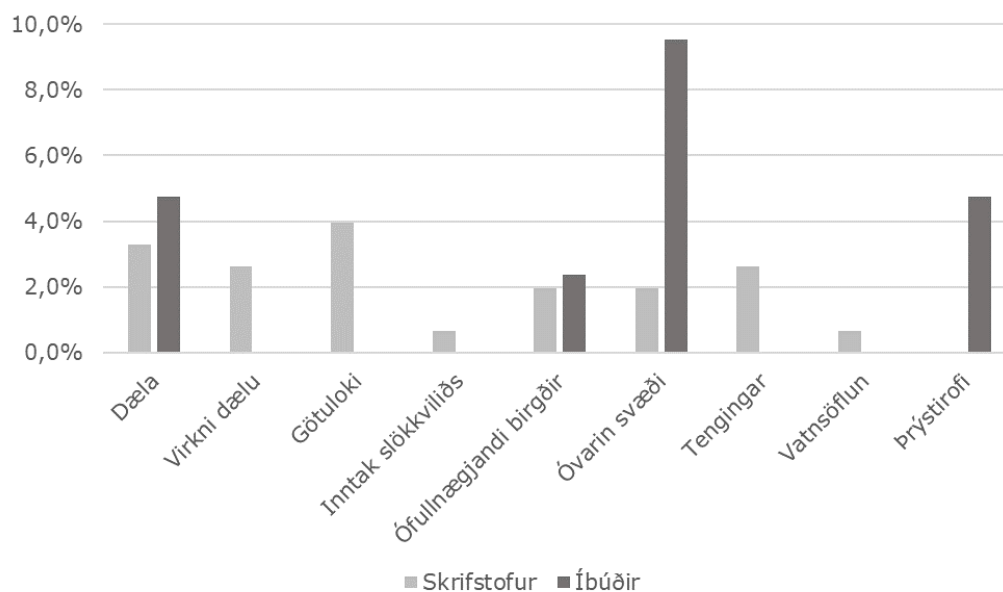
Þau atriði sem hafa áhrif á áreiðanleika vatnsúðakerfa má sjá á mynd 5.7 (Frank o.fl., 2013).



Mynd 5.7: Atriði sem hafa áhrif á áreiðanleika (Frank o.fl., 2013).

Áreiðanleiki vatnsúðakerfa er því mestur þegar fyrrnefnd atriði eru í lagi í kerfinu.

Gravestock (2008) mat 1293 vatnsúðakerfi á árunum 1999 til 2007. Þar kemur fram að í 94% af skrifstofubyggingum, 76% af íbúðarbyggingum og 89% af öllum byggingum var lítið eða ekkert fundið að kerfinu. Í íbúðarbyggingum voru það helst dælur og óvarin svæði sem kom niður á áreiðanleika kerfisins. Þá voru hlutfallslega fleiri óvarin svæði í íbúðarbyggingum heldur en í skrifstofubyggingum. Líkleg skýring á því er að fólk á það til að huga ekki að staðsetningu úðara þegar það hengir skrautmuni í loft á íbúðum sínum, setur upp bókahillur sem gætu skyggt á önnur svæði eða setur upp falska vegg. Hlutfallslega færri íbúðarbyggingar voru skoðaðar sem skekkir þó niðurstöðurnar, sjá mynd 5.8 (sjá töflur A.2 og A.3 í viðauka).

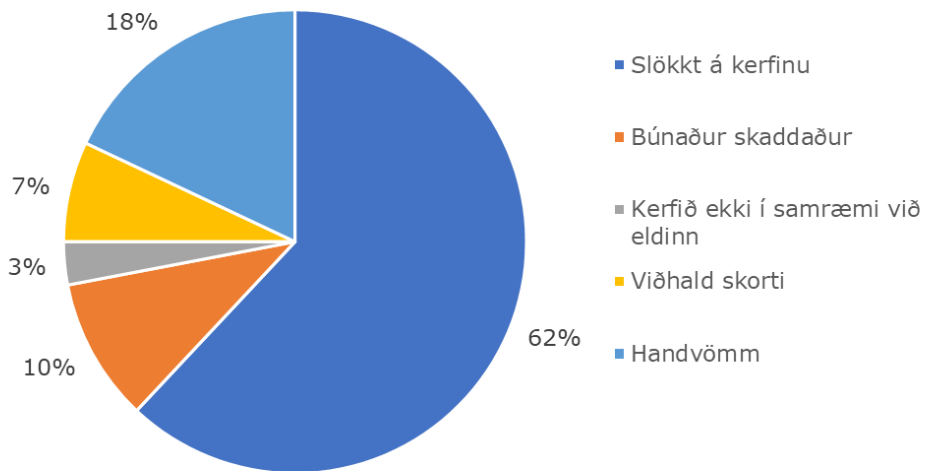


Mynd 5.8: Vandamál í kerfum á árunum 1999-2007 í rannsókn Gravestock (2008).

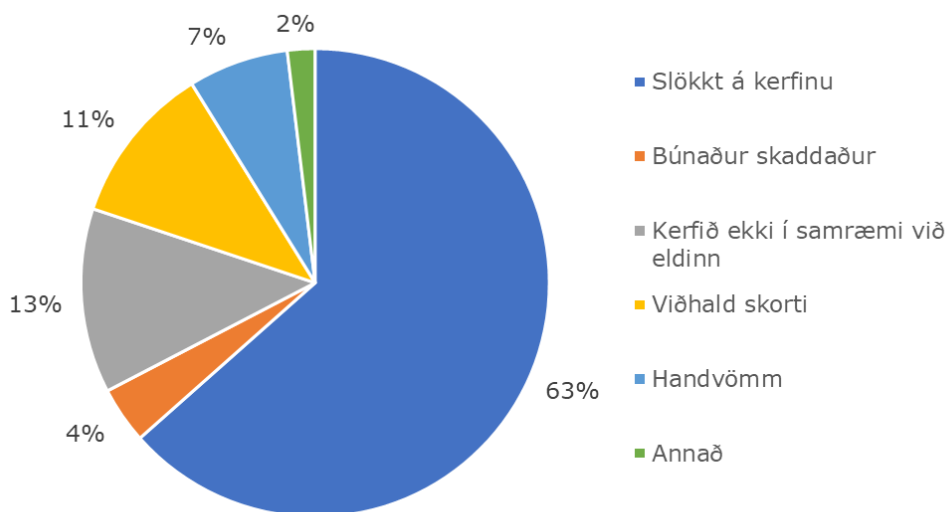
Þá reyndust 8% svarenda hafa upplifað leka eða vandamál í vatnsúðakerfi á heimili sínu í Scottsdale á 20 ára tímabili í rannsókn Upham (2008).

## 5. Tölfræði

Í rannsókn Ahrens (2017) um vatnsúðakerfi í Bandaríkjunum á árunum 2010-2014 var helsta ástæða þess að kerfið virkaði ekki á heimilum að slökkt hefði verið á kerfinu, eða í 62% tilfella, sjá mynd 5.9. Þar á eftir var búnaður skaddaður í 10% tilfella en mannlegi hlutinn sem olli handvömm (e. manual intervention) var 18%.



Mynd 5.9: Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki áreiðanlegt í samantekt Ahrens (2017).



Mynd 5.10: Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki áreiðanlegt í samantekt Frank o.fl. (2013).

Ástæður fyrir því að vatnsúðakerfið hafði ekki áhrif á brunann þrátt fyrir að hafa farið í gang má sjá á mynd 5.10 samkvæmt Frank o.fl. (2013), skalað með heildarfjölda bruna sem voru skoðaðir í hverri rannsókn. Helsta ástæða þess að kerfið virkaði ekki var einfaldlega að það hefði verið slökkt á því. Samkvæmt Ahrens (2017) virkjuðust úðarar í 94% af brunum í Bandaríkjunum árin 2010-2014, en 91% í íbúðabyggingum.

Á myndum 5.9 og 5.10 má sjá að algengasta ástæða þess að vatnsúðakerfið reynist ekki áreiðanlegt er vegna þess að slökkt hafði verið á því. Það má auka áreiðanleika kerfanna um að minnsta kosti 80% sé viðurkenndur aðili hafður í því að sinna vatnsúðakerfinu. Með því væri tryggt að kveikt sé á kerfinu, búnaðurinn í lagi, viðhald verið gott og óprúttir aðilar ættu ekki að hafa valdið handvömm á kerfinu.

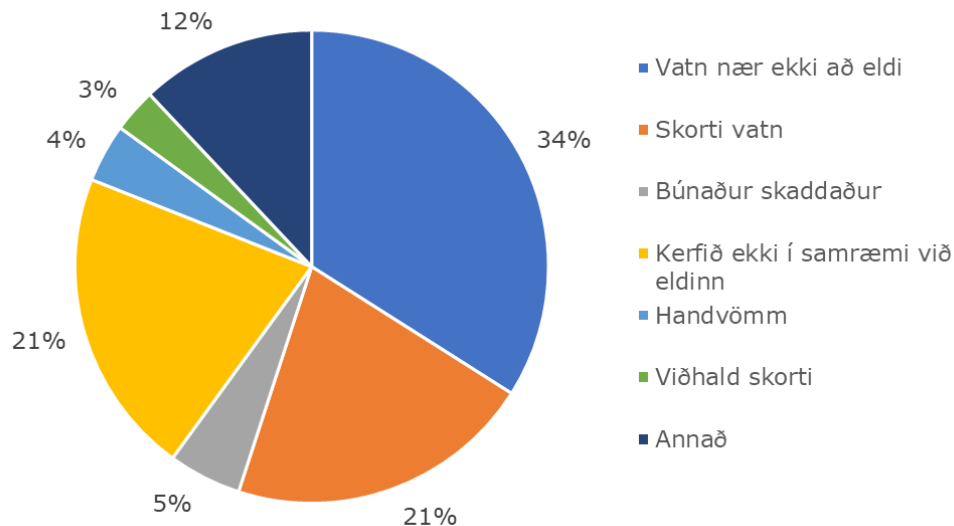
### 5.3.2. Árangur

Árangur vatnsúðakerfis verður mestur þegar vatnsúðakerfið nær að bæla eða slökkva eldinn. Til þess að eiga möguleika á því þarf vatn að ná að eldinum. Helstu ástæða þess að vatn nær ekki að eldi við bruna er að úðari hefur ekki opnast. Samkvæmt Frank o.fl. (2013) eru helstu ástæður fyrir því að:

- hiti frá eldsvoða er ekki nógu mikill til að úðari opnist,
- eldurinn er nógu stór til að virkja vatnsúðakerfið en úðari er ekki á svæðinu sem eldurinn kom upp á,
- eldurinn er nógu stór til að virkja vatnsúðakerfið og einn eða fleiri úðarar til staðar, en virkaði þó ekki sem skyldi.

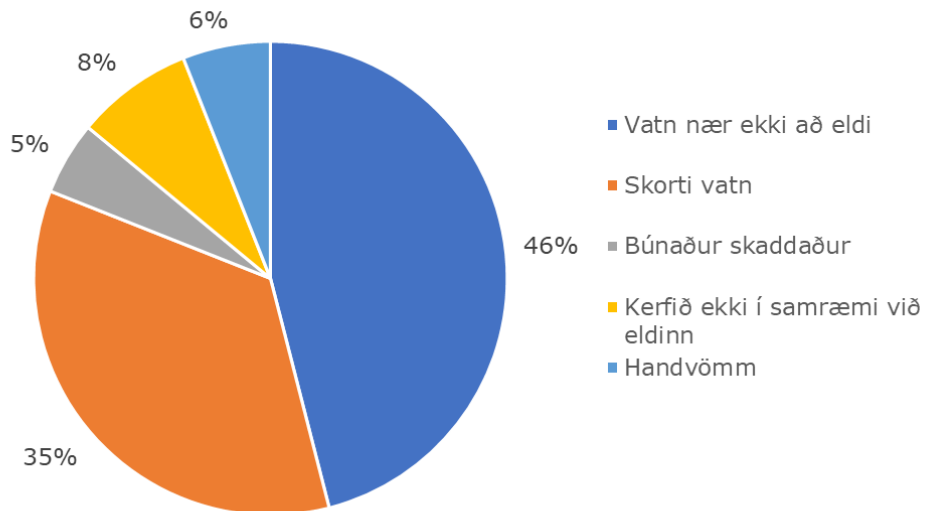
Marryatt (1988) útilokaði þessi atriði úr rannsókn sinni og fékk þá 49 eldsvoða sem rannsakaðir voru nánar. Þá reyndist virkni vatnsúðakerfisins vera 99,5%.

Samkvæmt Frank o.fl. (2013) eru helstu ástæður þess að vatnsúðakerfi virkar ekki sem skyldi að vatn hafi ekki náð að eldinum eða að það skorti vatn til að ráða niðurlögum eldsins. Mynd 5.11 sýnir nánar ástæður þess að vatnsúðakerfi virkaði ekki þegar á reyndi, skalað með heildarfjölda bruna sem voru skoðaðir í hverri rannsókn.



Mynd 5.11: Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki árangursríkt á bruna samkvæmt Frank o.fl. (2013).

Í rannsókn Ahrens (2017) um vatnsúðakerfi í Bandaríkjunum á árunum 2010-2014 reyndist helsta ástæða þess að kerfið reyndist ekki árangursríkt á heimilum að vatn náði ekki að eldinum, eða í um 46% tilfella. Þar á eftir var ekki nægjanlega mikið vatn, eða í 35% tilfella. Aðrar ástæður voru meðal annars að hlutir í kerfinu væru ónýtir eða að kerfið hentaði ekki eldinum, sjá mynd 5.12.



Mynd 5.12: Ástæður þess að vatnsúðakerfið reyndist ekki árangursríkt á bruna samkvæmt Ahrens (2017).

Sé litið á myndir 5.11 og 5.12 er áberandi að helstu ástæður þess að vatnsúðakerfi virkuðu ekki í rannsóknum Ahrens (2017) og Frank o.fl. (2013) að vatn náði ekki að eldinum eða að vatn skorti. Því er nauðsynlegt við hönnun að tryggja vatnsbirgðir og að hönnuðir geri ráð fyrir að fólk setji hluti inn í hífýli sín sem gæti skyggt á fleti.

### 5.3.3. Samantekt

Árangur vatnsúðakerfa ræðst helst af því hvort vatn nái að brunanum og að nægjanlegt vatn hafi verið til staðar (Ahrens, 2017, Frank o.fl., 2013 og Marryatt, 1988). Sömuleiðis er stór áhrifaþáttur að kerfið hafi ekki verið í samræmi við eldinn (Frank o.fl., 2013). Það er því mikilvægt að hönnun kerfisins sé ávallt í samræmi við notkun byggingarinnar og þegar farið er í breytingar á húsnæði sé vatnsúðakerfið yfirfarið og hannað í samræmi við nýja notkun húsnæðisins.

Dæmi er um að heimilisúðarar á sjúkrahúsum hafi aukið lífslíkurnar til muna í þeim tilfellum þar sem eldur getur orðið stór. Í minni brunum var munurinn ekki jafn greinilegur (Hostikka o.fl., 2021).

Samkvæmt rannsóknum Gravestock (2008) og Ahrens (2017) er ljóst að á einfaldan hátt er hægt að tryggja meiri virkni. Með því að hafa kveikt á kerfinu, tryggja vatnsbirgðir og láta eingöngu viðurkenndan aðila sinna eftirliti með öllum búnaði er hægt að auka áreiðanleika kerfanna til muna.

Gravestock (2008) fullyrðir að virkni vatnsúðakerfa í íbúðabyggingum sé 90% og 95% í skrifstofubyggingum.

Þrátt fyrir að margar ástæður hafi verið fyrir því að kerfin virkuðu ekki sem skyldi, þá var virknin að meðaltali 94,7% í þeim tíu rannsóknum sem Frank o.fl. (2013) tóku saman, 99,5% í rannsókn Marryatt (1988) og 90% í rannsókn Gravestock (2008) í íbúðarbyggingum, sjá töflu 5.2.

*Tafla 5.2: Samantekt á virkni á vatnsúðakerfi á heimilum.*

	<b>Virkni</b>	<b>Heimild</b>
Samantekt	94,7%	Frank o.fl. (2013)
Samantekt	99,5%	Marryatt (1988)
Samantekt	90,0%	Gravestock (2008)
Árin 2010-2014 í USA	91,0%	Ahrens (2017)

Virkni vatnsúðakerfa er því að minnsta kosti 90%, en er að meðaltali um 94% samkvæmt töflu 5.2.

## 5.4. Fjárhagslegt tjón samfélags af eldsvoða og neyð

Árlega tekur Húsnæðis- og mannvirkjastofnun saman mann- og eignatjón í eldsvoðum og bætt brunatjón tryggingafélaganna. Lokatölur fyrir árið 2020 hafa ekki verið staðfestar, en bætt brunatjón íslenskra tryggingafélaga árið 2019 var 2.948 milljónir króna sem er yfir meðaltali undanfarna áratugi. Meðaltal bætts brunatjóns íslenskra tryggingafélaga frá árinu 1981 er 2.660 milljónir kr. miðað við verðlag 1. júní 2021 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Samkvæmt reglugerð nr. 747/2018 um starfsemi slökkviliða ber slökkviliðsstjóra að færa útköll í rafrænan gagnagrunn, Bjargir. Í gagnagrunninn eiga því öll útköll slökkviliða á Íslandi að vera skráð. Slíkum skráningum sé ekki alltaf sinnt af slökkviliðum og því einhver útköll óskráð. Meðal þeirra atriða sem skráð eru má nefna fjölda útkalla, slys á almennum borgurum eða liðsmönnum slökkviliðs, manntjón, mannskap og tæki slökkviliðs sem tóku þátt í útkalli og fleira. Tafla 5.3 sýnir fjölda skráðra bruna í byggingum og utan bygginga í Bjargir á árunum 2011-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Tafla 5.3: Fjöldi útkalla vegna bruna í byggingum, utan bygginga og heildarfjöldi útkalla á Íslandi 2011-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Ár	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Í byggingum	192	197	164	174	158	237	271	198	238	219*
Utan bygginga	324	360	254	271	324	391	445	295	362	338*
<b>Heild:</b>	1.685	1.609	1.362	1.399	1.375	1.991	2.364	2.275	2.353	2.236*

\* áætlað

Þjóðskrá Íslands heldur utan um heildarfjölda íbúða í sérbýli og fjölbýli, sumarhúsa og atvinnuhúsnæðis. Skiptingu húsnæðis árið 2020 eftir fyrrnefndum flokkum má sjá á mynd 5.4. Sjá má að stærsti hluti húsnæðis eru híbýli fólks, það er fjölbýli með tæplega 48% en sérbýli tæplega 31% allra skráðra bygginga á Íslandi.

Tafla 5.4: Skipting húsnæðis á Íslandi árið 2020 (Lilja Bjarklind Kjartansdóttir hjá Þjóðskrá, munnleg samskipti, 15. júlí 2021).

Húsnæði	Fjöldi	Hlutfall
Sérbýli	58.451	30,6%
Fjölbýli	91.393	47,8%
Atvinnuhúsnæði	26.786	14,0%
Sumarbústaðir	14.546	7,6%

## 5. Tölfræði

Hlutfall bygginga sem skráðar eru í útkallsgrunn slökkviliðs (Bjargir) vegna bruna frá árinu 2011 má sjá í töflu 5.5.

Tafla 5.5: *Hlutfall bygginga þar sem eldur kemur upp í eftir árum (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Lilja Bjarklind Kjartansdóttir hjá Þjóðskrá, munnleg samskipti, 15. júlí 2021).*

Ár	Fjöldi bygginga*	Fjöldi útkalla slökkviliðs	Hlutfall bygginga
2011	170.002	192	0,11%
2012	172.924	197	0,11%
2013	173.977	164	0,09%
2014	174.822	174	0,10%
2015	176.761	158	0,09%
2016	178.287	237	0,13%
2017	181.435	271	0,15%
2018	184.322	198	0,11%
2019	188.658	238	0,13%
2020	191.176	219	0,12%

\* Fjöldi íbúða í sér- og fjölbýli ásamt sumarbústöðum og atvinnuhúsnæði.

Að meðaltali eru útköll í 0,11% allra bygginga, það er í sérbylí, fjölbýli, sumarbústaði og atvinnuhúsnæði samkvæmt töflu 5.5. Með öðrum orðum má búast við einu útkalli í hverja byggingu á 909 ára fresti.

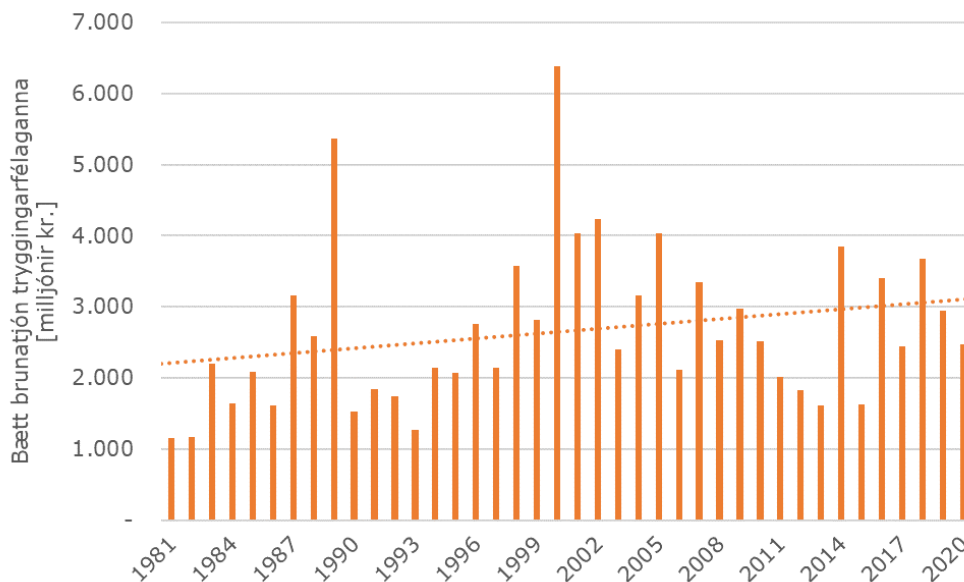
Í ársskýrslu Mannvirkjastofnunar (2014) fyrir árið 2013, nú HMS, er tilgreint að algengast er að fólk farist inni á heimilum í notkunarflokk 3, eða 88,7% andláta. Um 60% allra útkalla vegna elds í byggingum er í íbúðir manna, þar af eru 75% tilfella eldsvoði í fjölbýli (Mannvirkjastofnun, 2014).

Síðastliðna áratugi hafa yfirleitt fáir brunar, gjarnan einstaka stórbrunar í iðnaðarhúsnæði, verið stór hluti af bættu brunatjóni tryggingafélaganna ár hvert.



### 5.4.1. Brunatjón á Íslandi

Á árunum 1981-2020 greiddu tryggingafélögin á Íslandi út að meðaltali 2.660 milljónir kr. árlega vegna brunatjóna (miðað við verðlag 1. júní 2021, núvirt með byggingarvísitölu), sjá mynd 5.13.

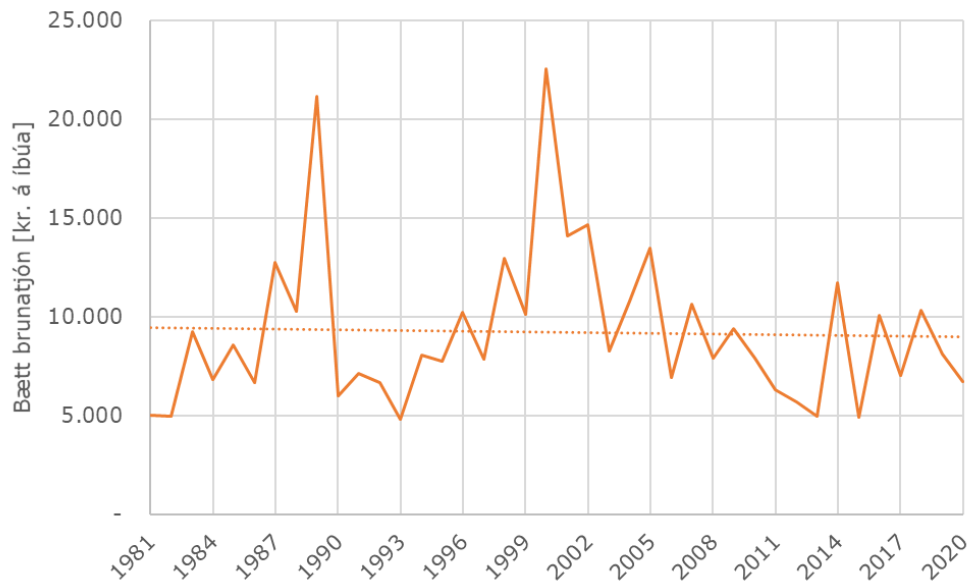


Mynd 5.13: Bætt brunatjón íslenskra tryggingafélaga á árunum 1981-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Mynd 5.13 sýnir að bætt brunatjón fer hækkandi með árunum, þó búið sé að núvirða tölurnar miðað við byggingarvísitölu. Í kringum aldamótin má sjá að bætt brunatjón var almennt frekar hátt. Á árunum 1994 til og með 2010 fór bætt brunatjón til að mynda ekki niður fyrir 2 milljarða á ári núvirt. Síðastliðinn áratug gerðist það hins vegar þrisvar sinnum. Tveir toppar sjást á mynd 5.13, árið 1989 þegar Krossanes verksmiðjan brann og árið 2000 þegar hús Ísfélagsins í Vestmannaeyjum brann.

Ef tekið er tillit til fjölda íbúa ár hvert má sjá að bætt brunatjón var að meðaltali 9.200 kr. á hvern íbúa á árabílinu 1981-2020, sé miðað við íbúafjölda 1. janúar ár hvert, sjá mynd 5.14 og töflu A.4 í viðauka (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a).

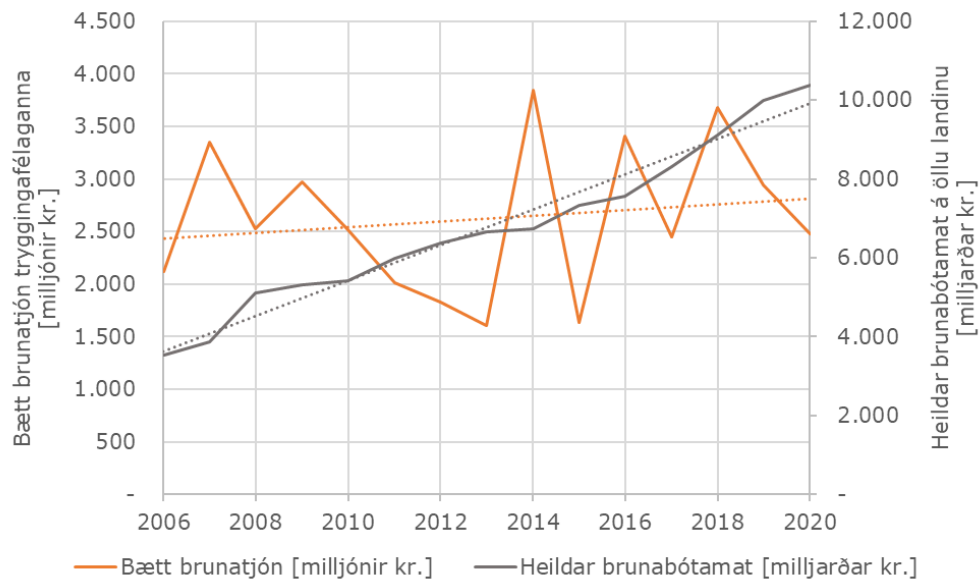
## 5. Tölfræði



Mynd 5.14: Bætt brunatjón á hvern íbúa á árunum 1981-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a).

Sé litið á meðaltal bætts brunatjóns á hvern íbúa frá árinu 1981 má sjá að það stendur nánast í stað, en fer þó ögn lækkandi, sjá mynd 5.14.

Heildar brunabótamat alls húsnæðis á Íslandi vex hraðar en bætt brunatjón á árunum 2006-2020, líkt og sjá má á mynd 5.15.



Mynd 5.15: Bætt brunatjón og brunabótamat á Íslandi á árunum 2006-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Þjóðskrá, 2021).

### 5.4.2. Brunatjón í Bandaríkjunum

Kostnaður vegna bruna á heimilum í Bucks sýslu í Pennsylvaníu er metinn á að meðaltali \$14.000 í húsnæði með vatnsúðakerfi, en \$179.896 þar sem ekki er vatnsúðakerfi til staðar (Jakubowski o.fl., 2011). Kostnaður vegna bruna á heimili án vatnsúðakerfis er því 12,8 sinnum hærri en ef vatnsúðakerfi væri til staðar.

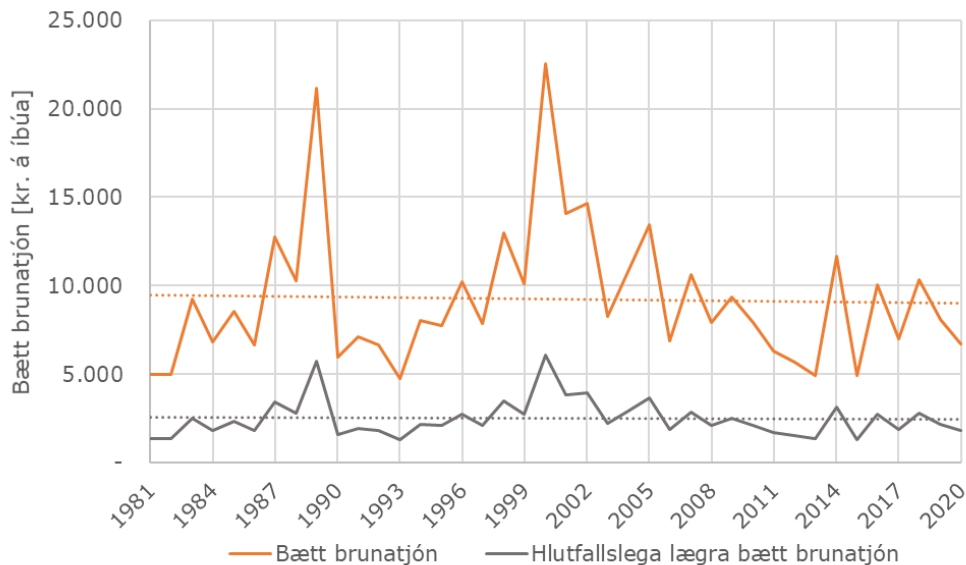
Í Scottsdale í Arizona er kostnaður vegna bruna að meðaltali \$7,31 á hvern íbúa, en á landsvísi í Bandaríkjunum er það að meðaltali \$27 á hvern íbúa. Það má því áætla að brunatjón sé 3,7 sinnum minna á hvern íbúa sé vatnsúðakerfi til staðar (Ford, 2016).

Mikill munur er á hlutföllunum tveimur frá Jakubowski o.fl. (2011) og Ford (2016). Þar sem hlutfallið hjá Ford (2016) er lægra er það metið raunhæfara og varpað yfir á Ísland í kafla 5.4.3.

Sömuleiðis þarf að meðaltali 17,6 sinnum minna vatn til slökkvistarfs sé vatnsúðakerfi til staðar samkvæmt Jakubowski o.fl. (2011). Í samantekt London Fire Brigade (2015) er tilgreint að vatnsúðakerfi noti 15 sinnum minna vatn en slöngur slökkviliðsins nota. Vatnsmagnið sem notað er á bruna er því mun minna frá vatnsúðakerfi en vegna hefðbundins slökkvistarfs þegar vatnsúðakerfi er ekki til staðar. Það má því gera ráð fyrir að vatnsskemmdir væru mun minni af völdum vatnsúðakerfis heldur en slöngum slökkviliðs.

### 5.4.3. Samantekt á brunatjóni

Frá árinu 1981 hefur bætt brunatjón verið að meðaltali 9.200 kr. á ári á hvern íbúa á Íslandi, miðað við verðlag 1. júní 2021. Mynd 5.16 sýnir bætt brunatjón á hvern íbúa frá árinu 1981 og mögulegt brunatjón væri vatnsúðakerfi til staðar sé hlutfallinu um lægra brunatjón á heimilum með vatnsúðakerfi í Scottsdale varpað yfir á Ísland (Frank, 2016). Sjá má að stökkin milli ára verða mun minni og að bætt brunatjón væri að meðaltali 2.500 kr. á íbúa á ári.



Mynd 5.16: Bætt brunatjón á Íslandi og mögulegt brunatjón væri vatnsúðakerfi til staðar frá árinu 1981 ásamt meðaltalslínunum (Ford, 2016; Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a).

Fjárhagslegur ávinningur af lægra bættu brunatjóni væri því að meðaltali 6.700 kr. á hvern íbúa árlega, eða að meðaltali tveir milljarðar króna á ári miðað við árin 1981-2020 og verðlag 1. júní 2021. Það eru því miklir fjármunir í húfi og ætti að vera hægt að lækka iðgjald til brunatrygginga sé vatnsúðakerfi til staðar.

## 5.5. Manntjón og virði mannlífs

Margir hafa leitast við að verðleggja mannlíf sem tapast. Notast er við tvennskonar aðferðir, það er (Haraldur Sigþórsson og Vilhjálmur Hilmarrsson, 2014):

- Mannauðsaðferðin tekur aðeins tillit til kostnaðar sem metinn er á markaði og gengur út á að verðmeta skaðann út frá beinum kostnaði í hagkerfinu. Þar með talinn kostnað heilbrigðiskerfis, lögreglu, slökkviliðs og fleira, ásamt óbeinum kostnaði vegna tapaðrar framleiðslu einstaklings.
- Greiðsluviljaaðferðin tekur tillit til greiðsluvilja einstaklings fyrir minnkun á áhættu og metur þannig virði þess að koma í veg fyrir dauða, þjáningu, sorg og missi. Einstaklingar sem taka þátt í slíkri rannsókn svara því spurningalista. Aðferðin leitast við að meta breytur sem ekki er hægt að verðmeta beint á markaði, það er töpuð lífsgæði, sársauka, þjáningu og missi. Þessu til viðbótar er beinn kostnaður metinn, það er kostnaður sjúkrastofnana, lögreglu og slökkviliðs, ásamt óbeinum kostnaði vegna tapaðrar framleiðslu einstaklings.

Tapað framleiðsluframlag einstaklings til samfélagsins er sú upphæð sem fer forgörðum vegna skertrar hæfni einstaklings til að taka þátt á vinnumarkaði eða þegar einstaklingur getur ekki haldið áfram að vera virkur þjóðfélagsþegn. Framleiðslutap er reiknað þannig að áætlað er hve mörg vinnuár tapast og sú tala margfölduð með meðallaunum og núvirt. Aðstandendur verða einnig oft fyrir áhrifum ef geta þeirra til vinnu skerðist vegna aukins álags sem felst í umönnun og skyldum gagnvart ástvinum.

Í skýrslu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands (1996) var virði tölfræðilegs mannlífs, það er án framleiðslutaps, metið á 570 milljónir króna, metið með greiðsluviljaaðferðinni og framreiknað með launavísitölu til 1. maí 2021. Rannsóknir sýna að virði tölfræðilegs mannlífs er háð launastigi. Í samantekt Haralds og Vilhjálms (2014) sem byggir á skýrslu Hagfræðistofnunar Háskóla Íslands (1996) var hvert mannlíf metið á 810 milljónir króna með framleiðslutapi einstaklinga, en framleiðslutap einstaklinga er metið á tæplega 95 milljónir króna, framreiknað með launavísitölu til 1. maí 2021.

Hultkrantz og Svensson (2012) tóku saman virði mannlífs í Svíþjóð. Þar reyndist miðgildið vera 590 milljónir ísl. kr., en meðaltalið 880 milljónir ísl. kr. framreiknað með launavísitölu til 1. maí 2021. Það eru svipaðar upphæðir og Hagfræðistofnun Háskóla Íslands (1996) og Haraldur og Vilhjálmur (2014) tóku saman.

Hvert tapað mannlíf, með framleiðslutapi, er hér metið á 810 milljónir króna.

### 5.5.1. Manntjón á Íslandi

Frá árinu 1968 hafa að meðaltali 2,83 einstaklingar farist á ári í eldsvoða á Íslandi, en frá árinu 2001 hafa það að meðaltali verið 1,95 einstaklingar. Sé eingöngu litið á fjölda sem hefur farist í húsum samkvæmt skilgreiningu HMS, það er andlát í ein- eða fjölbýli, atvinnuhúsnæði, sumarhús og þess háttar, eru það að meðaltali 2,43 einstaklingar á ári síðan 1968, en 1,75 einstaklingar frá árinu 2001, sjá töflu 5.6 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021). Skilgreining Landlæknis á því að láta lífið í eldsvoða er sú að látist einstaklingur innan 30 daga frá eldsvoða og ef dánarorsökina má rekja til brunans telst það vera manntjón vegna eldsvoða.

Tafla 5.6: Meðalmanntjón á ári í eldsvoðum á Íslandi samkvæmt skilgreiningu HMS (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Ár	Í eldsvoðum	Í eldsvoðum í húsum
1968-2020	2,83	2,43
2001-2020	1,95	1,75
2011-2020	2,00	1,90

Manntjón í sér- og fjölbýlishúsum á Íslandi á árunum 2011-2020, það er manntjón að undanskildu manntjóni í atvinnuhúsnæði, ferðavögnum og í kjölfar sprengingar, þannig fórust árlega að meðaltali 1,6 einstaklingar frá árinu 2011, sjá töflu 5.7 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

Tafla 5.7: Manntjón í eldsvoðum á Íslandi 2011-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

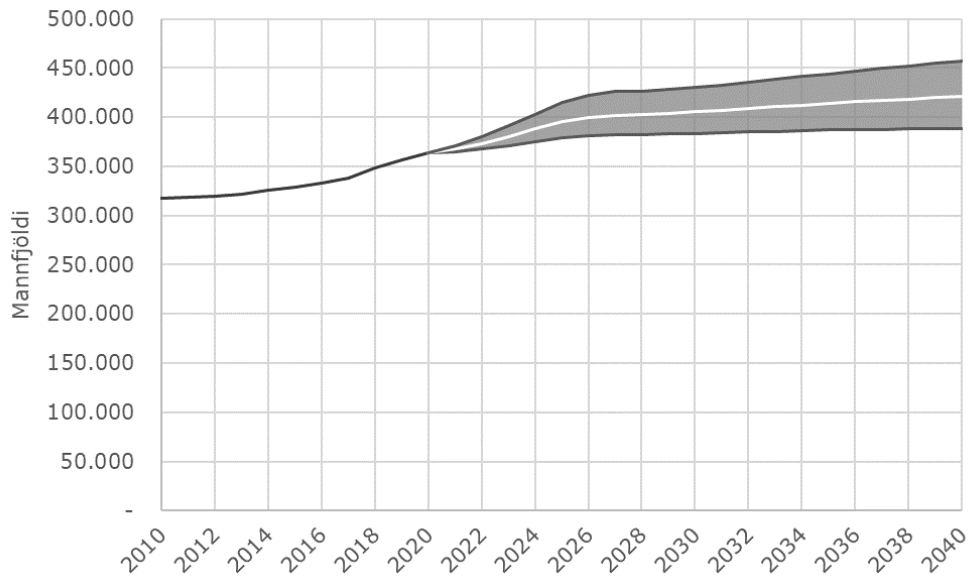
Ár	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Manntjón*	0	4	1	1	0	2	2	3	1	6
Manntjón**	0	3	0	1	0	1	2	3	1	5

\* í öllum eldsvoðum á árunum, þar með talið í byggingum, ferðavögnum og andlát í kjölfar sprengingar.

\*\* í ein- og fjölbýli.

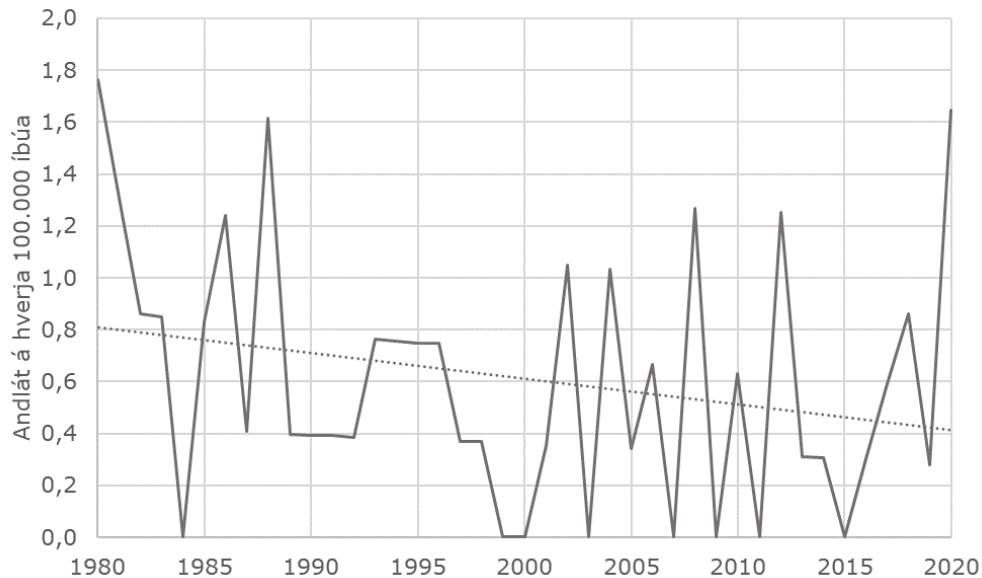
Líkt og sjá má í töflu 5.7 voru fjórir einstaklingar af 20 sem létust vegna eldsvoða í ferðavagni eða í kjölfar sprengingar. Það er einn einstaklingur sem lætur lífið í ferðavagni eða í kjölfar sprengingar á tveggja og hálfis árs fresti, eða tveir á fimm árum.

Íbúum Íslands hefur fjölgað síðastliðin ár og spá Hagstofu Íslands (2021b) tilgreinir áframhaldandi fólksfjölgun með há-, lág- og miðspá, sjá mynd 5.17.



Mynd 5.17: Mannfjöldi síðan 2010 og há-, lág- og miðspá um mannfjölda fram til ársins 2040 (Hagstofa, 2021a og 2021b).

Með fólksfjölgun er vert að líta á hlutfall andláta í húsbunnum (samkvæmt skilgreiningu HMS) á hverja 100.000 íbúa síðan 1980, sjá mynd 5.18.



Mynd 5.18: Hlutfall andláta í húsbunnum á hverja 100.000 íbúa á árunum 1980-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Hagstofa, 2021a).

## 5. Tölfræði

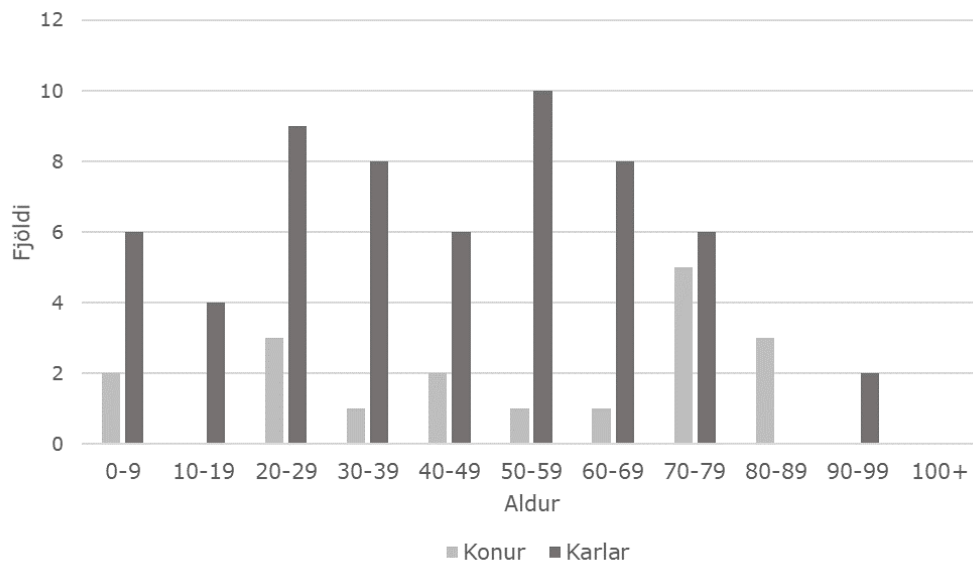
Manntjón fer lækkandi í húsbrunum frá árinu 1980 á hverja 100.000 íbúa samkvæmt mynd 5.18, en á síðustu fjórum áratugum var manntjón að meðaltali 0,6 einstaklingar árlega á hverja 100.000 íbúa (sjá töflu A.4 í viðauka). Áhugavert er að velta fyrir sér sveiflum í manntjóni síðastliðin 20 ár miðað við 20 árin áður.

Skráð útköll vegna bruna í byggingum á Íslandi árin 2011-2020 voru 2.048 talsins. Í þeim voru 20 andlát skráð. Líkurnar á að manneskja láti lífið við útkall vegna elds í byggingu er því tæplega 1% (sjá töflu 5.8 og töflu A.4 í viðauka).

Tafla 5.8: Hlutfall andláta í skráðum brunum í byggingum á Íslandi (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).

	Fjöldi bruna í byggingum	Manntjón	Líkur á manntjóni
Árin 2011-2020 á Íslandi	2.048	20	0,98%

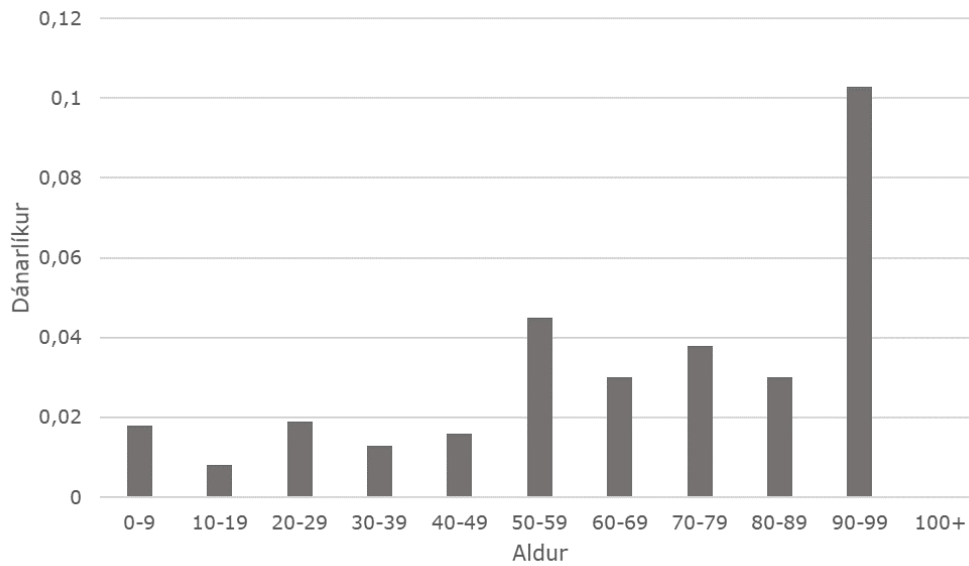
Sé litið á hlutfall kynjanna og aldur þeirra sem létu lífið í eldsvoðum á Íslandi á árunum 1979-2020 má sjá að mun líklegra er að karlar láti lífið, sjá mynd 5.19 og töflu A.5 í viðauka.



Mynd 5.19: Skipting látinna í brunum eftir kyni og aldri árin 1979-2020 (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021).



Mynd 5.20 sýnir hlutfallslegar dánarlíkur í bruna eftir aldri á árunum 1979-2010. Sjá má að líkur á því að láta lífið í bruna tvöfaldast eftir fimmtugt.



Mynd 5.20: Hlutfallslegar dánarlíkur í brunum eftir aldri allra einstaklinga á árunum 1979-2010 (*Brunamálastofnun, 2011*).

Ávinningur af auknu brunaöryggi er því áberandi meiri á heimilum fólks yfir fimmtugu á Íslandi.

### 5.5.2. Manntjón í Bandaríkjunum

Samtök Eldvarnabandalags Bandaríkjanna (NFPA, National Fire Protection Association) taka saman tölur yfir skráð atvik á fimm ára fresti. Í skýrslu þeirra fyrir árin 2010-2014 er meðal annars tekinn saman fjöldi bruna í íbúðarhúsnæði með og án vatnsúðakerfis og hversu margir létust og slasaðust í brunum (Ahrens, 2017), sjá töflu 5.9.

Tafla 5.9: Fjöldi skráðra bruna, fjöldi andláta og slasaðra í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017).

	Fjöldi bruna	Hlutfall af heild	Manntjón	Hlutfall af heild	Fjöldi slasaðra	Hlutfall af heild
Vatnsúðakerfi	25.700	7%	36	1%	650	5%
Ekkert slökkvikerfi	329.460	92%	2.471	98%	11.979	94%
Óþekkt	1.580	0,4%	7	0,3%	55	0,4%
<b>Samtals</b>	<b>356.740</b>	<b>100%</b>	<b>2.514</b>	<b>100%</b>	<b>12.684</b>	<b>100%</b>

Hægt er að líta svo á samkvæmt töflu 5.9, að í hverjum 1.000 brunum í íbúðarhúsnæði séu 1,4 einstaklingar sem láta lífið sé vatnsúðakerfi til staðar, en 7,5 einstaklingar sé ekkert sjálfvirkt slökkvikerfi. Í hverjum 1.000 brunum í íbúðarhúsnæði með vatnsúðakerfi eru 25,3 einstaklingar sem slasast, en 36,4 einstaklingar sé ekkert sjálfvirkt slökkvikerfi (Ahrens, 2017).

Sé tekið saman hlutfall bruna og manntjóns í brunum í íbúðarhúsnæði má sjá að lendi fólk í brunum eru 0,14% líkur á manntjóni sé vatnsúðakerfi til staðar, en 0,75% líkur sé ekkert slíkt í húsnæðinu, sjá töflu 5.10. Líkur á andláti eru rúmlega fimmfalt hærri sé ekki vatnsúðakerfi til staðar.

Tafla 5.10: Hlutfall andláta í skráðum brunum í íbúðarhúsnæði í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017).

	Fjöldi bruna	Manntjón	Líkur á manntjóni
Vatnsúðakerfi	25.700	36	0,14%
Ekkert slökkvikerfi	329.460	2.471	0,75%

Hlutfall bruna og slasaðra einstaklinga í brunum í íbúðarhúsnæði má sjá í töflu 5.11. Rúmlega 2,5% einstaklinga í vatnsúðavörðu íbúðarhúsnæði slasast, en 3,6% í óvörðu íbúðarhúsnæði.

Tafla 5.11: Hlutfall slysa í skráðum brunum í íbúðarhúsnæði í Bandaríkjunum, 2010-2014 (Ahrens, 2017).

	Fjöldi bruna	Fjöldi slasaðra	Líkur á slysi
Vatnsúðakerfi	25.700	650	2,53%
Ekkert slökkvikerfi	329.460	11.979	3,64%

Mikill munur er á slysum liðsmanna slökkviliða við slökkvistörf sé vatnsúðakerfi í íbúðarhúsnæði eður ei. í hverjum 1.000 brunum eru 62 einstaklingar sem slasast sé ekkert sjálfvirkt slökkvikerfi til staðar, en eingöngu 13 einstaklingar sé vatnsúðakerfi í húsinu. Það eru því hátt í fimm sinnum fleiri í slökkviliðinu sem slasast í eldsvoðum þar sem ekki er vatnsúðakerfi.

Í rannsókn Jakubowski o.fl. (2011) um reynslu af vatnsúðakerfum á heimilum í Bucks-sýslu í Pennsylvaníu í Bandaríkjunum á árunum 1988-2010 voru 90 einstaklingar sem létust í einbýlis- eða raðhúsum þar sem ekki var vatnsúðakerfi til staðar, en enginn þar sem var vatnsúðakerfi var uppsett. Samkvæmt þeirra rannsókn er mesta manntjón í eldsvoðum á heimilum fólks, eða 88% af öllum sem látast í eldsvoða, sem er sambærilegt við Ísland.

Ný reglugerð tók gildi árið 1986 í Scottsdale í Arizona í Bandaríkjunum. Sú reglugerð er með þeim fyrstu í heiminum sem skyldar öll ný mannvirki, þar með talin hóbýli fólks, til að vera varin með úðakerfi. Á 15 ára tímabili, frá gildistöku reglugerðarinnar til ársins 2000, var enginn sem lét lífið í bruna þar sem vatnsúðakerfi var til staðar, en 13 í óvörðu húsnæði. Árið 2015 voru rúmlega helmingur allra íbúðamannvirkja í Scottsdale varin með vatnsúðakerfi en, 85-90% almenningsmannvirkja (Ford, 2016).

Á þriggja ára tímabili (júlí 2005 til júlí 2008) var slökkvilið Scottsdale kallað út í 33 bruna í íbúðarbyggingum. Í öllum tilfellum var vatnsúðakerfið virkt við komu slökkviliðs. Á sama tímabili voru þrjár sem létust í bruna í Scottsdale, tveir í íbúðarbyggingum sem ekki voru varðar með vatnsúðakerfi og einn sem hafði óvart hellti kveikjaralegi á sig og kveikt í. Vatnsúðakerfið náði að slökkva þann eld en viðkomandi lét lífið síðar sökum áverka sem hann hlaut við brunann. Á sama tíma týndi enginn úr slökkviliðinu lífi í eldsvoða (Upham, 2008).

### 5.5.3. Samantekt á tölum um manntjón

Á síðastliðnum áratug hafa 20 einstaklingar látið lífið á Íslandi vegna eldsvoða. Hlutfallslega fara líkur á manntjóni þegar eldsvoði verður í byggingu á Íslandi lækkanði á hverja 100.000 íbúa, en frá árinu 1980 hefur manntjón verið 0,6 á hverja 100.000 íbúa. Frá árinu 2011 hafa líkur á manntjóni í bruna í byggingu á Íslandi verið nálægt 1%, en 0,75% í óvörðu íbúðarhúsnæði í Bandaríkjunum og 0,14% í vörðu húsnæði. Séu gögnum frá NFPA (Ahrens, 2017) varpað yfir á Ísland þannig að rúmlega fimmfalt færri hefðu látið lífið í bruna á Íslandi á árunum 2011-2020 má sjá að líklega væru tæplega fjórir einstaklingar sem hefðu látið lífið í öllum þeim húsum sem kviknaði í á þessum árum, sjá töflu 5.12.

Tafla 5.12: Hlutfall andláta í skráðum brunum í byggingum á Íslandi og líklegur fjöldi andláta í sama fjölda skráðra bruna ef vatnsúðakerfi hefði verið (Grétar Þór Þorsteinsson, 2021 og Ahrens, 2017).

	Fjöldi bruna í byggingum	Manntjón	Líkur á manntjóni
Árin 2011-2020 á Íslandi	2.048	20	0,98%
Manntjón árin 2011-2020*	2.048	3,7	0,18%

\* Líklegt manntjón í samræmi við hlutfall manntjóns við eldsvoða í rannsókn Ahrens (2017) væru öll mannvirki varin með vatnsúðakerfi.

Á árunum 2011 til og með 2020 hefðu því sparast tæplega 13 milljarðar miðað við að fjórir hefðu látið lífið í stað 20 manns og ef áætlað er að hvert mannlíf væri 810 milljón króna virði samkvæmt kafla 5.5. Það gera 1,3 milljarða króna á ári.

## 6. Kostnaðarábatagreining

Hér að framan hefur verið lagt mat á þann samfélagslega kostnað sem hlýst af eldsvoða og samfélagslegan ábata þess að auka brunavarnir, til að mynda með vatnsúðakerfi. Byggingafyrirtæki sjá ekki hag í uppsetningu vatnsúðakerfa þar sem það eykur byggingarkostnað sem skilar sér ekki beint í hærra íbúðarverði. Sé ákveðnum tækniskiptum beitt er möguleiki á að byggingarkostnaður verði sambærilegur við hús án vatnsúðakerfis, en í staðinn er auknum rekstrarkostnaði velt yfir á kaupendur eignanna. Slíkt getur minnkað áhuga fólks á að kaupa þær eignir. Það er raunverulega samfélagið allt sem græðir á auknu öryggi þar sem meiri fjármunir myndu skila sér inn til ríkissjóðs, færri andlát myndu leiða til aukinnar framlegðar í hagkerfinu og tap samfélagsins vegna efnahagslegs brunatjóns yrði minna. Á meðan byggingafyrirtæki sjá sér ekki hag í lægra brunatjóni eða manntjóni getur það reynst samfélaginu erfitt að fá byggingafyrirtæki með í slíka leiðangra. Þó fer íbúðafélögum sem leigja út íbúðir fjölgandi um þessar mundir og slík félög gætu séð sér hag í uppsetningu vatnsúðakerfis, þar sem þau tapa til lengri tíma á eldsvoðum. Einnig ber að nefna að arkitektastofur gætu haft áhuga á að skoða uppsetningu vatnsúðakerfis í fjölbýlishúsi þar sem frelsi arkitektsins til að beita ýmsum óhefðbundnum lausnum getur aukist þó nokkuð.

Hér verður kostnaðarábatagreining framkvæmd fyrir almennar íbúðir. Í kjölfarið eru gerðar næmnigreiningar á dæmigerðri íbúð þar sem forsendubreytingar eru gerðar á útreikningum á þeim þáttum sem þörf er að skoða.

## 6.1. Forsendur og greining

Markmið þessarar kostnaðarábatagreiningar er að komast að því hvort það hljótist hagrænn ábati af aukinni uppsetningu á vatnsúðakerfi í híbýlum fólks á Íslandi og við hvaða forsendur ábati verður. Verðmiða þarf að setja á allan þann kostnað og ábata sem hlýst af verkefnum. Að því loknu er heildarkostnaðurinn dreginn frá heildarábatanum. Kostnaðarábatagreiningin sem hér er framkvæmd er gerð út frá sjónarhorni samfélagsins miðað við 4,5% afvöxtunarstuðul. Kostnaðurinn fellur til yfir rekstrartíma kerfisins og uppsetningartíma þess. Þar sem líftími vatnsúðakerfa er heldur óljós spannar núvirðingin annars vegar 25 ár og hins vegar 50 ár, sjá nánar í kafla 4.1.5.

Að framan hafa verið fengnar ýmsar niðurstöður sem nú eru settar fram sem forsendur í töflu 6.1. Líkt og fram kom í kafla 4.2 fer bæði uppsetningar- og rekstrarkostnaður að miklu leyti eftir eðli mannvirkis sem það er sett upp í, en til einföldunar er sæst á þessar upphæðir.

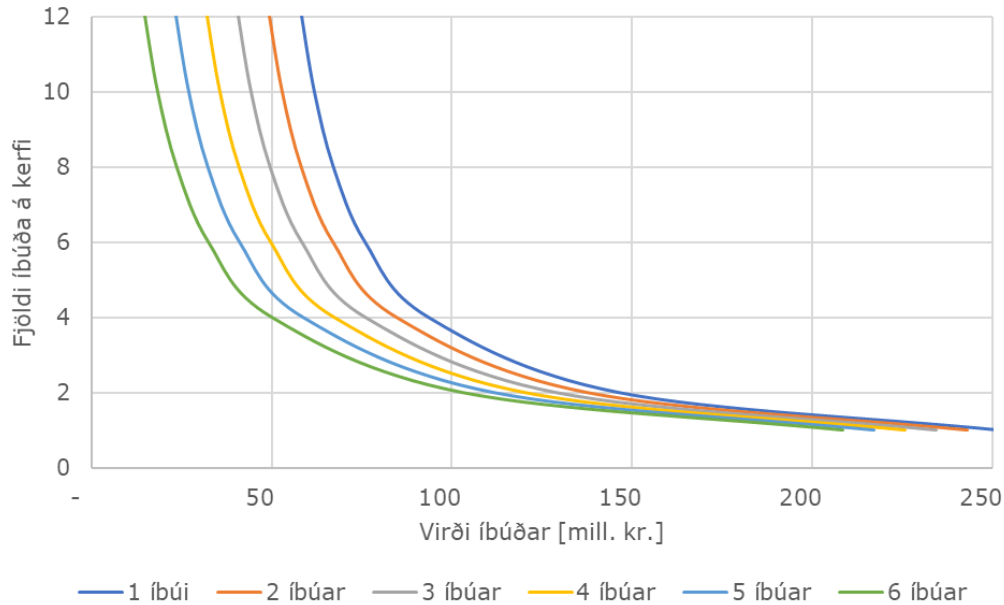
*Tafla 6.1: Forsendur fyrir kostnaðarábatagreiningu.*

Virði mannlífs	810.000.000 kr.
Hlutfall bygginga þar sem eldur kemur upp	0,11%
Líkur á manntjóni í skráðum brunum	0,98%
Líkur á manntjóni á hvern íbúa	0,000612%
Stærð íbúðar	100 m <sup>2</sup>
Stofnkostnaður á kerfi	3.000.000 kr.
Stofnkostnaður á fermetra íbúðar	7.000 kr./m <sup>2</sup>
Árlegur rekstrarkostnaður sem % af stofnkostnaði úðakerfis á íbúð	1%
Afvöxtunarstuðull	4,5%
Stiglækkandi manntjón	-1%

Með virði íbúðar er átt við þann kostnað sem hlytist af því að standsetja íbúðina aftur í kjölfar alþjóns. Ekki er tekinn inn ábati sem gæti hlotist með tækniskiptum á borð við að sleppa svölum og/eða hafa vegg með EI 60 brunamótstöðu á milli íbúða og að sameign í stað EI 90 í samræmi við kafla 2.2.

### 6.1.1. Vatnsúðakerfi með 25 ára endingartíma

Miðað við vatnsúðakerfi með 25 ára endingartíma og forsendur í samræmi við töflu 6.1 má sjá hvenær það telst þjóðhagslega hagkvæmt að setja upp vatnsúðakerfi í íbúðum á mynd 6.1 og í töflu A.6 í viðauka.



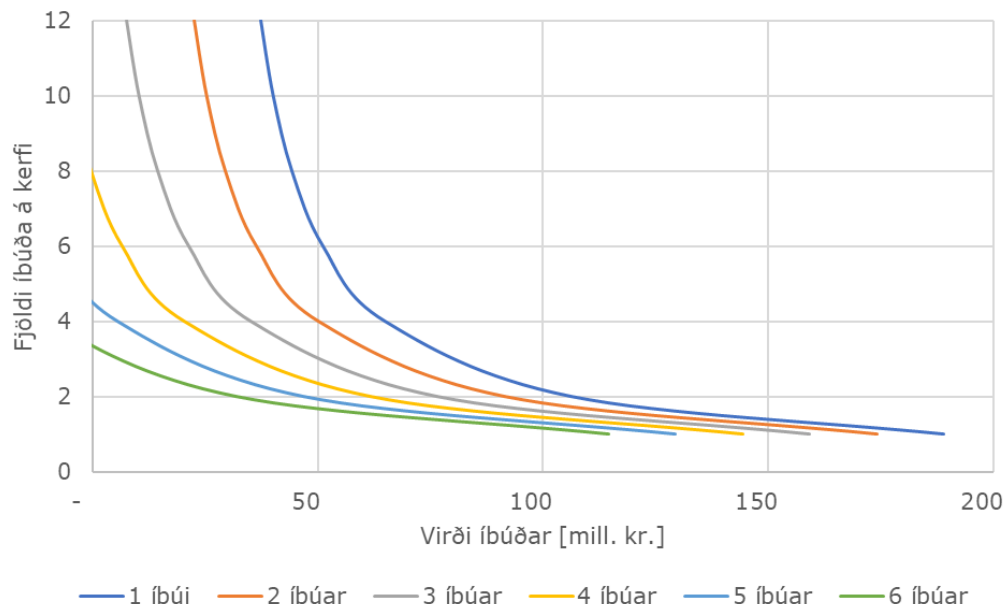
Mynd 6.1: Þjóðhagsleg hagkvæmni vatnsúðakerfis með 25 ára líftíma miðað við virði íbúðar, fjölda íbúða á kerfi og fjölda íbúa.

Fyrir 50 milljón króna íbúð með fjórum íbúum telst það þjóðhagslega hagkvæmt að setja upp vatnsúðakerfi í íbúðunum ef 6 íbúðir eru á sama kerfinu. Búi einungis tveir í 50 milljón króna íbúð væri það ekki þjóðhagslega hagkvæmt fyrr en 12 íbúðir væru tengdar inn á kerfið.

Fyrir íbúð að virði 75 milljóna króna með þremur öðrum íbúðum á kerfi telst það þjóðhagslega hagkvæmt flytja að minnsta kosti fjórir íbúar í íbúðina ef líftími kerfisins er 25 ár. Sé íbúðin 100 milljón króna virði við sömu forsendur telst vatnsúðakerfi þjóðhagslega hagkvæmt ef einungis einn eða fleiri flytja í íbúðina.

### 6.1.2. Vatnsúðakerfi með 50 ára endingartíma

Miðað við vatnsúðakerfi með 50 ára endingartíma og forsendur í samræmi við töflu 6.1 má sjá hvenær það telst þjóðhagslega hagkvæmt að setja upp vatnsúðakerfi í íbúðum á mynd 6.2 og í töflu A.7 í viðauka.



Mynd 6.2: Þjóðhagsleg hagkvæmni vatnsúðakerfis með 50 ára líftíma miðað við virði íbúðar, fjölda íbúða á kerfi og fjölda íbúa.

Fyrir 50 milljón króna íbúð með fjórum íbúum telst það þjóðhagslega hagkvæmt að setja upp vatnsúðakerfi í íbúðunum ef þrjár íbúðir eru á sama kerfinu. Búi einungis einn í 50 milljón króna íbúð væri það ekki þjóðhagslega hagkvæmt fyrr en 7 íbúðir væru tengdar inn á kerfið.

Fyrir íbúð að virði 75 milljóna króna með þremur öðrum íbúðum á kerfi telst það þjóðhagslega hagkvæmt flytja að minnsta kosti tveir íbúar í íbúðina ef líftími kerfisins er 50 ár. Sé íbúðin 100 milljón króna virði við sömu forsendur telst vatnsúðakerfi þjóðhagslega hagkvæmt ef einungis einn eða fleiri flytja í íbúðina.

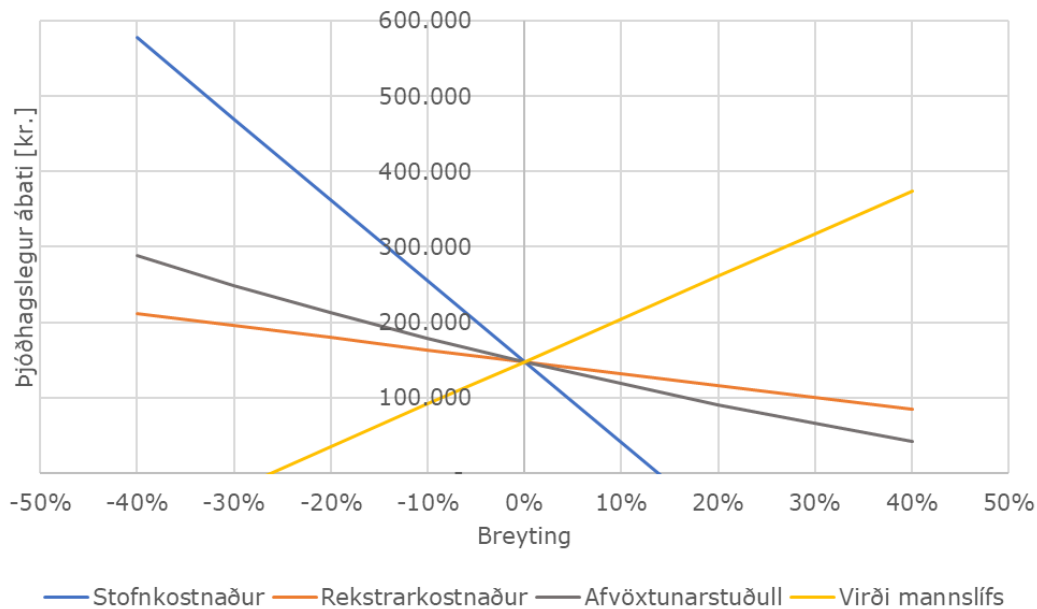
Sjá má úr myndum 6.1 og 6.2 að þjóðhagslegur ábati fer að miklu leyti eftir líftíma vatnsúðakerfa. Með hærri líftíma þarf umtalsvert færri íbúðir á sama kerfið ef margir búa í íbúðinni til að það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja íbúðina.



## 6.2. Næmnigreining

Við gerð kostnaðargreiningarinnar hefur verið nauðsynlegt að áætla ýmsar forsendur við útreikninga. Til að geta upplýst um hversu mikil áhrif einstaka gefnar forsendur hafa á ætlaðan þjóðhagslegan ábata þarf að framkvæma næmnisgreiningar. Hér er litið á áhrif stofnkostnaðar, rekstrarkostnaðar, virði mannlífs og afvöxtunarstuðuls á þjóðhagslegan ábata, sjá gildi í töflu A.8 í viðauka.

Gerð er næmnigreiningarstjarna fyrir íbúð að virði 50 milljón kr., þar sem fjórir íbúar búa en íbúðin tengd 7 öðrum íbúðum í sama kerfi. Miðað er við stofnkostnað vatnsúðakerfisins sem 8.600.000 kr. á kerfið en árlegur viðhaldskostnaður sé 1% af stofnkostnaðnum, eða 86.000 kr. á kerfið. Stuðst er við líftímann 25 ár. Næmnigreiningarstjörnuna má sjá á mynd 6.3.

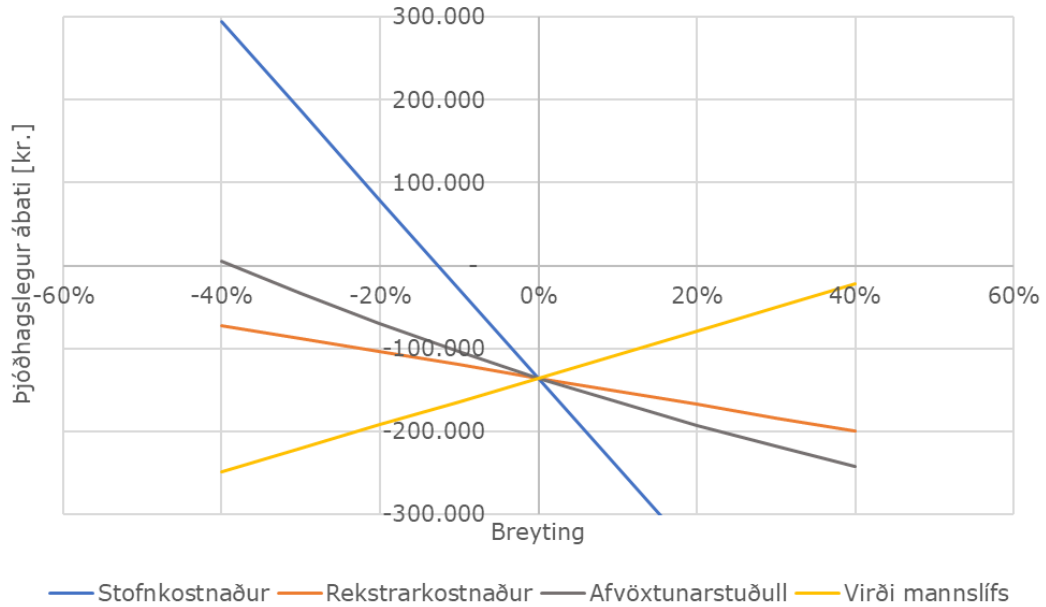


Mynd 6.3: Næmnigreiningarstjarna fyrir gefnar forsendur með fjórum íbúum í íbúð.

Við fyrrnefndar aðstæður er ljóst að þjóðhagslegur ábati vatnsúðakerfis er næmastur fyrir breytingum á stofnkostnaði og virði mannlífs. Afvöxtunarstuðull er ekki mjög næmur fyrir breytingum með fyrrnefndum forsendum, né rekstrarkostnaður kerfisins. Það er þó svo að aðrar niðurstöður gætu fengist með öðrum forsendum.

## 6. Kostnaðarábatagreining

Fækki íbúum niður í tvo við sömu forsendur, reynist ekki þjóðhagslega arðbært að setja upp vatnsúðakerfi í þeirra íbúð samanber mynd 6.1. Sé litið á næmnigreiningarstjörnu þeirrar íbúðar fæst að þjóðfélagslegur ábati er ekki jafn næmur fyrir virði mannlífa og þegar íbúar voru fleiri eins og við var að búast, sjá mynd 6.4.



Mynd 6.4: Næmnigreiningarstjarna fyrir gefnar forsendur með tveimur íbúum í íbúð.

## 7. Samantekt og lokaorð

Síðastliðna áratugi hefur landsmönnum fjölgað til muna og spár benda til frekari fólksfjölgunar. Stefna margra bæjarfélaga hefur verið að þétta byggð. Með þéttingu byggðar þarf að gæta vel að brunavörnum, þar sem kröfur til brunavarna fara meðal annars eftir hæð bygginga og fjarlægð á milli þeirra.

Íslensk byggingarreglugerð nr. 112/2012 býður ekki upp á mikið svigrúm til tækniskipta. Breytingar hafa þó orðið til hins betra á síðustu árum, til að mynda möguleiki þess að beita tækniskiptum og sleppa svölum sé vatnsúðakerfi í íbúðum. Skoða mætti möguleika þess að leyfa heimilisúðakerfi í samræmi við staðalinn EN 16925 í hærri byggingar líkt og hefur verið gert í Svíþjóð.

Vatnsúðakerfi hafa sýnt góðan árangur að bæla niður eða slökkva alveg eld á stuttum tíma. Með vatnsúðakerfi væri hægt að bæta öryggi á afskekktum stöðum og í dreifbýli þannig að það teljist jafngott og í þéttbýli. Nú er jafnframt hægt að fá innfellda úðara í híbýli fólks sem líkjast helst rafmagnsdós í lofti. Rannsóknir hafa sýnt að virkni vatnsúðakerfa er að minnsta kosti 90%, en að meðaltali um 94%. Ein helsta ástæða þess að virknin er ekki meiri er vegna þess að slökkt hefur verið á kerfinu eða að vatn ekki náði að eldinum, hvort sem svæðið hefur verið óvarið, kerfið illa hannað eða hlutum hafi verið komið svo fyrir að það hindraði dreifingu vatns. Sé tryggt að eingöngu viðurkenndur aðili sinni viðhaldi á vatnsúðakerfum má komast hjá slíkum atvikum og auka virkni þeirra umtalsvert.

Kostnaður vegna eldsvoða er mikill árlega og fer hækkandi með fjölgun útkalla. Þrátt fyrir það fer manntjón í húsbruna á hverja 100.000 íbúa lækkandi og bætt brunatjón á hvern íbúa stendur nánast í stað. Hægt væri að gera enn betur og fækka ótímabærum dauðsföllum til muna og lækka bætt brunatjón um þriðjung. Sömuleiðis verða mun færri slys innan slökkviliðs í eldsvoðum þar sem vatnsúðakerfi er til staðar.

Leitast var við að verðleggja mannlíf og framkvæmd kostnaðarábatagreining. Athugað var hvort það teldist þjóðhagslega hagkvæmt að setja upp vatnsúðakerfi miðað við fjölda íbúða í sama kerfi, fjölda íbúa og virði íbúðarinnar. Niðurstöðurnar voru skoðaðar fyrir bæði 25 og 50 ára líftíma vatnsúðakerfis og gáfu til kynna að það væri þjóðhagslega hagkvæmt að verja margar íbúðarbyggingar með vatnsúðakerfi. Í kjölfar kostnaðarábatagreiningar var framkvæmd næmnigreinin sem tilgreindi að

## 7. Samantekt og lokaorð

Þjóðhagslegi ábatinn væri helst næmur fyrir breytingum á stofnkostnaði og virði mannlífs. Fækki íbúum í hverri íbúð verður ábatinn ekki jafn næmur fyrir virði mannlífa.

Í framhaldinu væri áhugavert að framkvæma tilviksrannsóknir (e. case studies) á nokkrum mismunandi hönnunardæmum fyrir fjölbýlishús, setja fram nákvæmari kostnaðarútreikninga og bera hinar ýmsu hönnunarlausnir og áætlaðan kostnað saman. Kanna mætti hvernig hægt væri að fá byggingafyrirtæki og arkitektastofur til að skoða nánar þennan kost sem og íbúðareigendur. Áhugavert væri að skoða betur hvert ábatinn ratar og út frá því hvenær það væri hagkvæmt fyrir íbúðafélög eða leigufélög að verja sínar eignir. Tryggja þyrfti að uppsetning vatnsúðakerfis í fjölbýli leiði ekki til aukins byggingarkostnaðar. Takist það ekki er ljóst að vatnsúðakerfi keppa við aðrar lausnir sem gætu skilað svipuðu öryggi.

Það er von mín að þessi umfjöllun um vatnsúðakerfi í íbúðarhúsnæði verði til þess að vekja máls á lausnum sem gætu mögulega minnkað tjón og aukið sveigjanleika, hagkvæmni og ábata við byggingu íbúðarhúsnæðis, landsmönnum til heilla þegar til lengri tíma er litið.

## 8. Heimildir

Ahrens, M. (2017). *U.S. Experience with Sprinklers*. NFPA Research, Data and Analytics Division.

Brunamálastofnun. (2010). Reglur og leiðbeiningar um eftirlit, prófun og viðhald sjálfvirkra úðakerfa. [http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Byggingar\\_svid/Leidbeiningarblod/MVS%20162\\_1%20Reglur\\_og\\_leidbeiningar\\_eftirlit\\_-\\_prufun\\_og\\_vidhald\\_sjalfvirkra\\_udakerfa\\_2010\\_02.pdf](http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Byggingar_svid/Leidbeiningarblod/MVS%20162_1%20Reglur_og_leidbeiningar_eftirlit_-_prufun_og_vidhald_sjalfvirkra_udakerfa_2010_02.pdf)

Brunamálastofnun. (2011). *Ársskýrsla 2010*. [http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Mannvirkjastofnun/arsskyrslur/MVS\\_Arsskyrsla\\_2011\\_Netutgafa.pdf](http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Mannvirkjastofnun/arsskyrslur/MVS_Arsskyrsla_2011_Netutgafa.pdf)

Byggingarreglugerð nr. 112/2012, með áorðnum breytingum, síðast með reglugerð nr. 977 útg. 2020.

Chow, W. K. (2005). Comment on estimating heat release rate for a design fire in sprinkler protected area. *International Journal on Engineering Performance-Based Fire Codes*, 7(1), 1-5.

Deibjerg, T., Husted, B. P., Bygbjerg, H. og Westman, D. (2003). *Argos User's Guide*. Danish Institute of Fire and Security Technology (DIFT).

Dyer, J. W. (2008). *Effectiveness of Automatic Fire Sprinklers in High Ceiling Areas the Impact of Sprinkler Skipping* [meistararitgerð]. University of Caterbury.

EN 12845:2015. *Fixed firefighting systems - Automatic sprinkler systems - Design, installation and maintenance*. (2020). Staðlaráð Íslands.

EN 13501:2005. *Fire classification of construction products and building elements*. (2010). Staðlaráð Íslands.

EN 16925:2018. *Fixed firefighting systems - Automatic residential sprinkler systems - Design, installation and maintenance*. (2019). Staðlaráð Íslands.

## 8. Heimildir

- Eurocode 1: Actions on structures: 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. (2003). Staðlaráð Íslands.
- Frank, K., Gravestock, N., Spearpoint, M. og Fleischmann, C. (2013). A review of sprinkler system effectiveness studies. *Fire science reviews*, 2(1), 1-19.
- Fraser-Mitchell, J. og Williams, C. (2013). Cost benefit analysis of residential sprinklers for Wales – Report of cost benefit analysis.
- Ford, B. (2016). *Desert Success*.  
<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-Media/nfpa-journal/2016/home-fire-sprinkler-edition/features/the-scottsdale-ordinance-at-30>
- Gravestock, N. (2008). *Effectiveness of fire safety systems for use in quantitative risk assessments*. New Zealand Fire Service Commission.
- Grétar Þór Þorsteinsson. (2021, 3. febrúar). *Morgunverðarfundur BTÍ – Tölfræði yfir bruna* [PowerPoint glærur]. Húsnæðis- og mannvirkjastofnun.
- Hagfræðistofnun Háskóla Íslands. (1998). Kostnaður vegna umferðarslysa á Íslandi. Heilbrigðisskýrslur, Fylgirit 1998 Nr. 6. Landlæknisembættið.
- Hagstofa. (2021a). *Lykiltölur mannfjöldans 1703-2021*. Sótt 26. maí 2021 af [https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar\\_mannfjoldi\\_1\\_yfirlit\\_Yfirlit\\_mannfjolda/MAN00000.px](https://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar_mannfjoldi_1_yfirlit_Yfirlit_mannfjolda/MAN00000.px)
- Hagstofa. (2021b). *Spá um mannfjölda eftir kyni og aldri 2020-2069*. Sótt 30. júní 2021 af [http://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar\\_mannfjoldaspa/MAN09010.px/?rxid=f093bd13-1f69-4065-ac4c-0b10526afddd](http://px.hagstofa.is/pxis/pxweb/is/Ibuar/Ibuar_mannfjoldaspa/MAN09010.px/?rxid=f093bd13-1f69-4065-ac4c-0b10526afddd)
- Haraldur Sigbórsson og Vilhjálmur Hilmarsson. (2014). *Kostnaður umferðarslysa* [rannsóknarverkefni]. Háskólann í Reykjavík.
- Hopkin, D., Spearpoint, M., Arnott, M. og Van Coile, R. (2019). Cost-benefit analysis of residential sprinklers–Application of a judgement value method. *Fire safety journal*, 106, 61-71.
- Hostikka, S., Veikkanen, E., Hakkarainen, T., Kajolinna, T., og Kling, T. (2021). Effect of sprinklers on the patient's survival probability in hospital room fires. *Fire Safety Journal*, 120, 103092.
- Hultkrantz, L. og Svensson, M. (2012). The value of a statistical life in Sweden: A review of the empirical literature. *Health Policy*, 108(2-3), 302-310.

- Hurley, M.J., Gottuk, D.T., Hall Jr., J.R., Harada, K., Kuligowski, E.D., Puchovsky, M., Torero, J.L., Watts Jr., J.M. og Wieczorek, C.J. (ritstjórar). (2015). *SFPE handbook of fire protection engineering* (5. útgáfa). Springer.
- ISO 6182-1:2004. *Automatic sprinkler systems*. (2004). The International Organization for Standardization.
- Jakubowski, G., Kostrubiak, E. og Worthington, J. W. (2011). *Communities with home fire sprinklers: The Experience in Bucks County, Pennsylvania*. Fire Planning Associates.
- Jonsson, A. (2018). *Dödsbränder i Sverige* [doktorsritgerð]. Karlstad University.
- Jönsson, R., Bengtson, S. og Frantzich, H. (2005). *Brandskyddshandboken*. Lund Universitet.
- Karlsson, B. og Quintiere, J. (1999). *Enclosure fire dynamics*. CRC.
- Khajehzadeh, I. og Vale, B. (2015). How do people use large houses. *In Living and Learning: Research for a Better Built Environment: Proceeding of the 49th International Conference of the Architectural Science Association 2015*, 153-162.
- Khalil, D. E. og Khalil, E. E. (2020). *Sprinklers and Smoke Management in Enclosures*. CRC.
- Leiðbeiningar HMS nr. 6.042. (2020). Leiðbeiningar um efni og gerð brunavarnaráætlana.
- London Fire Brigade. (2015). *Think Sprinkler – Automatic Water Fire Suppression System Information Toolkit*.
- Lög um brunavarnir nr. 75/2000.
- Lög um mannvirki nr. 160/2010.
- Madrzykowski, D. M., og Vettori, R. (1992). *Sprinkler Fire Suppression Algorithm for the GSA Engineering Fire Assessment System (NISTIR 4833)*. U.S. Department of Commerce.
- Mannvirkjastofnun. (2019). *Ársskýrsla 2018*. Sótt 26. maí 2021 af <http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Mannvirkjastofnun/arsskyrslur/NM94352%20A%CC%81rssky%CC%81rsla%202018%20HQ.pdf>

## 8. Heimildir

- Mannvirkjastofnun. (2014). *Ársskýrsla 2013*. Sótt 26. maí 2021 af [http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Mannvirkjastofnun/arsskyrslur/NM63337%20%C3%A1rssk%C3%BDrsla%202013\\_2.pdf](http://www.mannvirkjastofnun.is/library/Skrar/Mannvirkjastofnun/arsskyrslur/NM63337%20%C3%A1rssk%C3%BDrsla%202013_2.pdf)
- Marryatt, H. W. (1988). *Fire, a century of automatic sprinkler protection in Australia and New Zealand, 1886-1986*. Australian Fire Protection Association.
- NFPA 204M – Guide for Smoke and Heat Venting*. (1985). National Fire Protection Association.
- Nystedt, F. (2011). *Verifying Fire Safety Design in Sprinklered Buildings* [rannsóknarverkefni] (LUTVDG/TVBB-3150-SE; Vol. 3150). Lund University.
- Peacock, R. D., Reneke, P. A. og Forney, G. P. (2021). *NIST Technical Note 1889v2. CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport*. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Ramachandran, G. (1998). *The Economics of Fire*. Routledge.
- Reglugerð um fasteignalán til neytenda nr. 270/2017.
- Reglugerð um starfsemi slökkviliða nr. 747/2018.
- Staðlaráð Íslands. (e.d.). Reglur um þátttöku í staðlastarfi á vegum Staðlaráðs Íslands.
- Sænska byggingarreglugerðin (s. Boverkets byggregler) BFS 2011:6, með áorðnum breytingum, síðast með reglugerð BFS 2020:4.
- Tillander, K. (2004). Utilisation of statistics to assess fire risks in buildings [doktorsritgerð]. Helsinki University of Technology.
- Upham, R. (2008). Scottsdale Sprinkler Reliability.
- Viking. (2021). *Viking Fire Sprinklers*. Sótt 14. júní 2021 af <https://www.vikinggroupinc.com/products/viking-fire-sprinklers/standard-coverage/quick-response/fusible-element>
- Þjóðskrá. (2021). *Heildarfasteigna- og brunabótamat um áramót*. Sótt 26. maí 2021 af <https://www.skra.is/gogn/fast eignagattin/fjoldatolur-ur-fast eignaskra/heildar-fast eigna-og-brunabotamat-um-aramot/>



Östman, B., Arvidson, M. og Nystedt, F. (2002). *Boendesprinkler räddar liv*. AB Stjärntryck.

Östman, B. (2021). National fire regulations for the use of wood in buildings – worldwide review 2020. *Wood Material Science Engineering*, 1-4.



## A. Viðauki

*Tafla A.1: Áætlaður stofn- og rekstrarkostnaður vatnsúðakerfis á hverja íbúð.*

Fjöldi íbúða á kerfi	Gólfflatarmál íbúðar [m <sup>2</sup> ]	Verð á heildar m <sup>2</sup> [kr./m <sup>2</sup> ]	Stofnkostnaður á íbúð [kr.]	Árlegur rekstrar-kostnaður á íbúð [kr.]
1	100	700.000	3.700.000	37.000
2	100	1.400.000	2.200.000	22.000
4	100	2.800.000	1.450.000	14.500
6	100	4.200.000	1.200.000	12.000
8	100	5.600.000	1.075.000	10.750
10	100	7.000.000	1.000.000	10.000
12	100	8.400.000	950.000	9.500

Tafla A.2: Fjöldi bruna í skrifstofu- og íbúðabyggingum í rannsókn (Gravestock, 2008).

Ár	Fjöldi bruna	Fjöldi í skrifstofubygg.	Fjöldi í íbúðabygg.
1999	53	14	1
2000	112	10	0
2001	73	12	2
2002	83	11	2
2003	124	18	3
2004	163	16	7
2005	272	30	8
2006	288	30	11
2007	124	11	8
<b>Heildarfjöldi</b>	<b>1292</b>	<b>152</b>	<b>42</b>

Tafla A.3: Vandamál í kerfum á árunum 1999-2007 í rannsókn (Gravestock, 2008).

Annamark	Skrifstofu- byggingar	Hlutfall í skrifstofub.	Íbúða- byggingar	Hlutfall í íbúðab.
Boð berst ekki	2	1,3%	1	2%
Dæla	5	3,3%	2	5%
Virgni dælu	4	2,6%	0	0%
Götuloki	6	3,9%	0	0%
Inntak slökkviliðs	1	0,7%	0	0%
Ófullnægjandi birgðir	3	2,0%	1	2%
Óvarin svæði	3	2,0%	4	10%
Tengingar	4	2,6%	0	0%
Vatnsöflun	1	0,7%	0	0%
Þrýstirofi	0	0,0%	2	5%

Tafla A.4: Gögn um mannfjölda, manntjón, fjölda útkalla, bætt brunatjón og brunabótamat (Brunamálastofnun, 2011; Hagstofa, 2021a og HMS, 2021).

Ár	Mannfjöldi	Manntjón í húsbruna	Fjöldi útkalla*	Bætt brunatjón [mill. kr.]	Heildar brunabótamat [mill. kr.]
1979	224.522	6	–	–	–
1980	226.948	4	–	–	–
1981	229.327	3	–	1.158	–
1982	232.182	2	–	1.171	–
1983	235.537	2	–	2.204	–
1984	238.416	–	–	1.642	–
1985	240.606	2	–	2.079	–
1986	242.203	3	–	1.620	–
1987	244.157	1	–	3.157	–
1988	247.561	4	–	2.587	–
1989	251.919	1	–	5.368	–
1990	253.785	1	–	1.525	–
1991	255.866	1	–	1.844	–
1992	259.727	1	–	1.749	–
1993	262.386	2	–	1.266	–
1994	265.064	2	–	2.145	–
1995	266.978	2	–	2.078	–
1996	267.958	2	–	2.758	–
1997	269.874	1	–	2.141	–
1998	272.381	1	–	3.578	–
1999	275.712	–	–	2.819	–
2000	279.049	–	–	6.393	–
2001	283.361	1	–	4.040	–
2002	286.575	3	–	4.233	–
2003	288.471	–	–	2.406	–
2004	290.570	3	–	3.164	–
2005	293.577	1	–	4.040	–
2006	299.891	2	–	2.120	3.541.344
2007	307.672	–	–	3.352	3.876.248
2008	315.459	4	–	2.526	5.106.484
2009	319.368	–	–	2.975	5.322.787
2010	317.630	2	–	2.518	5.413.172
2011	318.452	–	192	2.010	5.985.322
2012	319.575	4	197	1.829	6.382.182
2013	321.857	1	164	1.607	6.666.273
2014	325.671	1	174	3.847	6.728.457
2015	329.100	–	158	1.633	7.323.245
2016	332.529	1	237	3.406	7.571.656
2017	338.349	2	271	2.445	8.318.236
2018	348.450	3	198	3.682	9.105.494
2019	356.991	1	238	2.948	9.991.292
2020	364.134	6	219	2.474	10.376.989

\* fjöldi útkalla, eldur í byggingu

Tafla A.5: Látnir í brunum eftir kyni og aldri (Brunamálastofnun, 2011 og HMS, 2021).

Aldur [ára]	Árin 1979-2010		Árin 2011-2020	
	Konur	Karlar	Konur	Karlar
0-9	2	5	0	1
10-19	0	4	0	0
20-29	2	6	1	3
30-39	1	4	0	4
40-49	1	4	1	2
50-59	1	10	0	0
60-69	1	5	0	3
70-79	3	2	2	4
80-89	2	0	1	0
90-99	0	1	0	1
100+	0	0	0	0

Tafla A.6: Lágmarksvirði íbúðar í milljónum króna svo það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja íbúðina miðað við 25 ára líftíma kerfisins, fjölda íbúða og fjölda íbúa í henni.

	1 íbúi	2 íbúar	3 íbúar	4 íbúar	5 íbúar	6 íbúar
1 íbúð	252	243	234	226	217	208
2 íbúðir	146	138	129	120	111	103
4 íbúðir	93	85	76	67	59	50
6 íbúðir	76	67	58	50	41	32
8 íbúðir	67	58	50	41	32	24
10 íbúðir	62	53	44	36	27	18
12 íbúðir	58	50	41	32	23	15

Tafla A.7: Lágmarksvirði íbúðar í milljónum króna svo það teljist þjóðhagslega hagkvæmt að verja íbúðina miðað við 50 ára líftíma kerfisins, fjölda íbúða og fjölda íbúa í henni.

	1 íbúi	2 íbúar	3 íbúar	4 íbúar	5 íbúar	6 íbúar
1 íbúð	189	174	159	144	129	115
2 íbúðir	106	91	77	62	47	32
4 íbúðir	65	50	35	20	5	0
6 íbúðir	51	36	21	7	0	
8 íbúðir	44	29	15	0		
10 íbúðir	40	25	10	0		
12 íbúðir	37	23	8	0		

Tafla A.8: Breytileg gildi fyrir næmnigreiningu á rekstrar- og stofnkostnaði, afvöxtunarstuðli og virði mannlífs. Ein breyting tekin fyrir í einu, sjá kafla 6.2.

Breyting	Rekstrar- kostnaður [kr.]	Stofn- kostnaður [kr.]	Afvöxtunar- stuðull	Virði mannlífs [kr.]
-40%	51.600	645.000	2,70%	486.000.000
-30%	60.200	752.500	3,15%	567.000.000
-20%	68.800	860.000	3,60%	648.000.000
-10%	77.400	967.500	4,05%	729.000.000
0%	86.000	1.075.000	4,50%	810.000.000
10%	94.600	1.182.500	4,95%	891.000.000
20%	103.200	1.290.000	5,40%	972.000.000
30%	111.800	1.397.500	5,85%	1.053.000.000
40%	120.400	1.505.000	6,30%	1.134.000.000