

# Einangrun, kuldabryr og yfirborðshiti flata

Björn Marteinsson<sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Árleynir 2-8, 112 Reykjavík

<sup>b</sup> Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóli Íslands, Hjarðarhagi 2-6, 107 Reykjavík

## Fyrirsurnir:

Björn Marteinsson  
Bjorn.m@nmi.is

Greinin barst  
8. febrúar 2013.  
Samþykkt til birtingar  
12. júní 2013.

## ÁGRIP

Auknar kröfur til kólnunartalna og ákvörðun á hámarksgildi leiðnitaps bygginga í byggingarreglugerð hafa vakið talsverða umræðu um áhrif kuldabrua í hefðbundnum steiptum vegg, sem hérlendis hefur af hefð verið einangraður að innanverðu. Í greininni er fjallað um kuldabruargildi í slíkum vegg og hvaða leiðir eru færar til að uppfylla kröfur byggingareglugerðar varðandi hámarks leyft leiðnitap bygginga. Kuldabruargildi fyrir festivinkla í klæðningarkerfum utan á vegg eru reiknuð og sýnt fram á að einföldunaraðferðir í ÍST 66 henta illa til að ákvarða slík gildi.

**Lykilorð:** leiðnitap, einangrun, kólnunartölur, kuldabryr, yfirborðshiti.

## ABSTRACT

Increased requirements in the Icelandic building regulation regarding U-values of building components and determination of maximum allowed transmission losses in buildings have put increased weight on calculation of thermal bridges. This also has resulted in doubts about the future of the traditional Icelandic concrete wall, insulated on the inside. The article describes the necessary actions if the traditional wall is to be used and how the thermal bridge effect at the junction of floor slab and concrete wall can be diminished. The thermal bridge value for fasteners of cladding systems is calculated and it is shown that the simplified method in the thermal calculation standard IST 66 is not appropriate for such calculations.

**Key words:** transmission losses, insulation, U-value, thermal bridge, surface temperature.

## Inngangur

Í tengslum við gerð nýrrar byggingarreglugerðar hefur átt sér stað talsverð umfjöllun um einangrunarkröfur og hvort kröfur reglugerðar kæmu í veg fyrir svokallaðan íslenskan útvegg, þ.e. steiptan vegg sem er einangraður að innan. Í byggingareglugerð hafa um nokkurt skeið verið kröfur um hámarksgildi á veginni kólnunartölu útveggja og einskonar orkurammi sem skilgreinir hvert leiðnitap byggingar má mest vera. Hér verður fjallað um þessi atriði ásamt því hvað yfirborðshiti byggingarhluta má verða lægstur án þess að slíkt valdi hollustuvandamálum.

## Kröfur um einangrun bygginga

Nauðsynleg orkuþörf til húshitunar ræðst af leiðni- og loftskiptatapi annarsvegar og hinsvegar hversu mikill varmi berst húsinu vegna staðsetningar og notkunar, en sá varmi er iðulega nefndur gefins varmi. Gefins varminn fæst einkum frá íbúum, vegna inngeislunar frá sól og himinhvolfi, raftækjum og vegna lýsingar. Varmajafnvægi fæst í samræmi við jöfnu 1.

$$\text{leiðnitap} + \text{loftskiptatap} = \text{gefins varmi} + \text{varmi frá hitakerfi} \quad (1)$$

Erlendis tíðkast að setja í Byggingarreglugerðir kröfur um hámarks orkuþörf til hitunar á hvern fermetra gólfplat, og einangrun húss þá ákvörðuð með útreikningum sem taka tillit til allra ofanefndra þátta sem hafa áhrif á orkuþörf hússins. Hérlendis er orka til upphitunar núorðið svo til alfarið umhverfisvæn orka og verð orkunnar er lágt í samanburði við aðstæður hjá flestum öðrum þjóðum. Hvati til mikillar orkunýtni er því lítil og í vindasömu umhverfi hérlendis hefur því iðulega verið látið nægja að loftraesa byggingar um opnanlega glugga þar sem notandinn stýrir alfarið loftskiptum og þá um leið loftskiptatapinu. Í þessari stöðu er óraunhæft að ætlast til að gerðir séu ítarlegir orkuútreikningar fyrir einfaldari byggingar (t.d. íbúðarhús) og því valið að setja fram einfaldar kröfur í Byggingarreglugerð sem geta ekki miðast við hámarks leyfða orkunotkun eins og gert er erlendis.

Kröfur til einangrunar bygginga eru gerðar annarsvegar til að tryggja að leiðnitap bygginga verði ekki óhóflegt og hinsvegar til að tryggja að yfirborðshiti verði nægur svo tryggja megi hollustu og þægileg íveruskilyrði. Yfirborðshiti flata í vistarverum hefur annarsvegar áhrif á skynjunarhita (þann hita sem íbúa finnst vera í vistarveru) og hinsvegar á hvaða hættu er á rakapéttingu eða háum hlutfallsraka lofts við yfirborð, þ.e. hættu á sveppavexti.

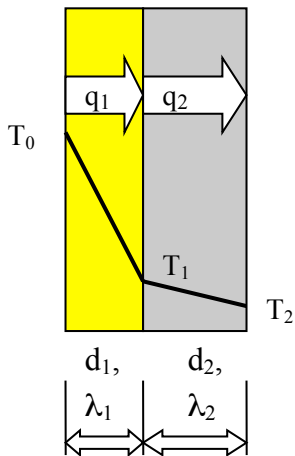
Í Byggingarreglugerðum allt frá 1984 (Rg. Nr. 152/1984) hafa kröfur til einangrunar húsa því verið settar fram á eftirfarandi hátt;

- gerð krafa um hámarks leyfð U-gildi byggingarhluta (háð innihita frá árinu 1998) og hvað vegið U-gildi veggja (veggfletir, gluggar og hurðir) má vera hæst.
- reiknað leiðnitap húss, að kuldabrum meðtöldum, má ekki verða hærra heldur en fæst þegar varmatap er ákvarðað út frá flatarstærðum húss og hámarks U-gildum byggingarreglugerðar; þ.e. einangra þarf umfram lágmarkskröfur þegar upphefja þarf áhrif kuldabrua ef einhverjar.

Á byggingarhluta sem er einangraður í samræmi við kröfur reglugerðarinnar verður yfirborðshiti að innan aldrei svo lágur að hættu sé á rakapéttingu eða óheppilega háum hlutfallsraka lofts. Þessi hættu er hinsvegar til staðar á kuldabrum þar sem einangrun er rýrð af öðrum betur varmaleiðandi efnum, þetta má sýna fram á með dæmi. Steiptur veggur sem er einangraður að innanverðu með 80 mm einangrun, umhverfisaðstæður þannig að innihiti er 20 °C og útihiti -10 °C, þá verður yfirborðshiti að innanverðu almennt 18,4 °C (sjá töflu 1) en í loftkerfi þar sem steipt milligólf gengur út í steiptan vegginn er hitastigið aðeins 11,0 °C. Reyndar getur yfirborðshitinn í kverkinni orðið ennþá lægri ef lofthreyfing þar er lítil.

Skaðlegar kuldabryr eru langalgengastar í uppbyggingu eins og sýnd er á mynd 2, og kröfum í byggingarreglugerð er ætlað að tryggja að þessi áhrif kuldabrua séu takmörkuð með einhverju móti. Það má hinsvegar ætla að í þessu skyni væri ennþá árangursríkara að setja kröfu um lægsta leyfðan yfirborðshita, en sú leið hefur ekki verið farin.

Almennt gildir fyrir byggingarhluta að uppbygging þeirra er regluleg, einangrunarlag þeirra er sem næst einsleitt, og varmaflutningur þá ótruflaður í einni vídd, sjá mynd 1. Fyrir slíkan byggingarhluta má auðveldlega ákvarða varmamótsstöður efnislaga og kólnunartölu byggingarhlutans með aðferðum sem t.d. eru sýndar í staðli ÍST 66, eða öllu heldur staðlinum sem hann vísar til; DS 418. Hitastig í slíku sniði má svo ákvarða út frá jöfnu 2 og þá sérstaklega yfirborðshita að innanverðu.



Mynd 1: Varmaflutningur og hitastigull í tveggja laga byggingarhluta.

$$T_k = T_0 + \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} (T_n - T_0)$$

(2)  
þar sem  $T_k$  hitastig í punkti  $k$   
 $T_0, T_n$  hitastig sitt hvoru megin við byggingarhluta  
 $n$  heildarfjöldi efnislaga og yfirborðsmótstaða  
 $R_i$  varmamótsstaða efnislags  $i$ ;  $R_i = d_i / \lambda_i$  ( $m^2 K/W$ )  
 $d_i$  þykkt efnislags  $i$  (m)  
 $\lambda_i$  leiðnitala efnislags  $i$  ( $W/mK$ )

Fyrir steiptan vegg, einangraðan að innan, og mismunandi einangrunarþykktir fást U-gildi<sup>1</sup> og yfirborðshiti eins og tafla 1 sýnir.

Tafla 1: Steiptur veggur einangraður að innan;  
U-gildi og yfirborðshiti inni fyrir mismunandi einangrunarþykktir.  
Lofthiti; úti -10 °C, inni 20 °C

Einangrunarþykkt (mm)	U-gildi (W/m <sup>2</sup> K)	Yfirborðshiti (°C)
60	0,51	18,0
80	0,40	18,4
100	0,33	18,7
120	0,28	18,9
140	0,24	19,1

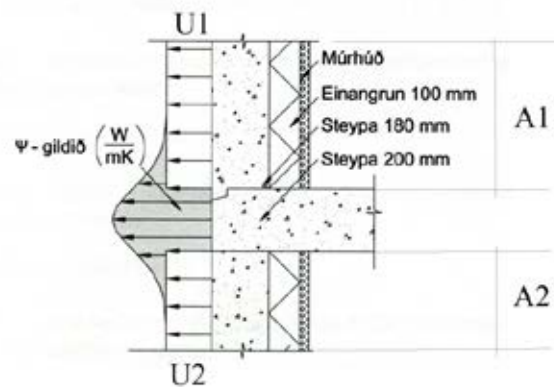
Forsendur; Múr úti 20 mm, leiðnitala 1,5 W/mK  
Steiptur veggur 180mm leiðnitala 1,95 W/mK  
Einangrun, leiðnitala 0,036 W/mK  
Múr inni 20 mm, leiðnitala 1,3 W/mK

<sup>1</sup> Umhverfisaðstæður hafa ekki áhrif á ákvörðun U-gildis

## Útreikningur kuldabráugildis

Pegar varmaflutningur er ekki reglulegur (einvíður) þá er ekki er lengur hægt að ákvarða varmaflutninginn með einföldum leiðum, eins og sýndar eru í ÍST 66, og eru slík staðbundin áhrif nefnd kuldabryr (e. *thermal bridge*). Til þess að ákvarða varmaflutning í slíku sniði þarf fyrst að ákvarða hitastigsdreifingu í sniðinu (ÍST EN ISO 10211:2007), en síðan má ákvarða varmaflutninginn byggt á lögmáli Fourier's. Í útreikningi á hitadreifingu þarf að skipta sniðinu upp í fjölda reiknieininga og þess þá gætt að heildarsvæðið nái vel útfyrir áhrifasvæðið þar sem truflunar í varmaflutningi gætir, og ýmist notaðar smábúta- (e. *finite element*) eða smámuna (e. *finite difference*) aðferðir. Íðulega eru reiknuð gildi varmaflutnings með slíkum aðferðum borin saman við handreiknuð gildi á jaðarsvæðum þar sem einvitt ástand gildir, til þess að sannreyna reiknilíkanið a.m.k að einhverju leiti. Útreikningur kuldabráa er frekar tímafrekur og því oftast sem notuð eru töflugildi kuldabráa í útreikningum varmaflutnings um byggingarhluta (nánar er fjallað um þessi atriði í t.d. Björn Marteinnsson, 2002).

Hér verður flatarmál byggingarhluta miðað við innri hlið einangrunar og til kuldabráugildis reiknast þá allur varmaflutningur sem er á skilum slíkra flata, mynd 2.



Mynd 2: Skilgreining kuldabráugildis (Byggt á mynd í ÍST 66:2008, bls.8).

Kuldabráugildið,  $\Psi$ , er fundið út frá heildarvarmaflutningi og reiknuðum U-gildum á jaðarsvæðum, jafna 3, reiknað á lengdarmetra í kuldabrá.

$$\Psi = L_D - U_1 \cdot A_1 - U_2 \cdot A_2 \quad (3)$$

þar sem  $\Psi$  kuldabráugildið, ( $W/m^2K$ )  
 $L_D$  varmaleiðni alls reiknisvæðisins, ( $W/K$ ) á lengdarmetra  
 $U_1, U_2$  kólnunartölur svæða 1 og 2, sjá mynd 1 ( $W/m^2K$ )  
 $A_1, A_2$  flatarmál svæða 1 og 2 ( $m^2$ ) á lengdarmetra

Áhrif kuldabráa eru annarsvegar þau að orkuflutningur verður meiri en annars væri en hinsvegar að yfirborðshiti að innan verður (staðbundin) lægri eða jafnvel mun lægri heldur en annars væri.

Inniloftraki í íbúðar- og skrifstofuhúsnæði er að vetrarlagi íðulega á bilinu 30-40 %HR og ef þetta loft kælist vegna snertingar við kalda yfirborðsfleti þá hækkar loftrakinn. Oft er miðað við að mygluveppur þurfi minnst 75 %HR til að dafna og því áhugavert að skoða hvað yfirborðshiti má verða lægstur áður en slík hættu er fyrir hendi, sjá töflu 2. Taflan sýnir í hvaða hitastig þarf að kæla 20 °C heitt inniloft með mismunandi hlutfallsraka svo hlutfallsrakinn hækki í annarsvegar 75 %HR og hinsvegar 100 %HR.

Tafla 2: Hitastig við 75 og 100 %HR rakamörk lofts sem byrjar sem 20°C og með mismunandi hlutfallsraka

Hlutfallsraki eftir kælingu (%HR)	Hlutfallsraki %HR innilofts við 20 °C			
	30	35	40	45
75	5,3	7,6	9,7	11,5
100	1,0	3,2	5,3	7,0

Af töflunni sést t.d. að inniloft sem er 20 °C og hefur hlutfallsraka 40 % nær 75 %HR ef það er kælt niður í 9,7 °C. Yfirborðshiti kulda-brúar, eða annarra illa einangraðra flata, þarf því að vera hærri en sem þessu nemur svo tryggt sé að myglusveppur þrífist ekki á yfirborðinu við þessar inniáðstæður.

Til útreikninga kulda-brúargildis og yfirborðshita var skrifað forrit í Matlab© sem notar smámunaaðferð til að ákvarða hitastig í nægjan- legum fjölda reiknipunkta svo hægt sé að ákvarða varmaflutninginn með nægri nákvæmni. Í tvívíðum útreikningum (einfalt snið sbr. mynd 3) þá reyndist nauðsynlegur fjöldi reiknieininga verða 50x50 en í þrí- víðu dæmi um vinkil, og notuð samhverfa um miðjan vinkil, þá var fjöldi eininga 50x50x20.

**Kulda-brú í steiptum útvegg sem einangraður er að innan**

Yfirborðshiti á kulda-brú verður alltaf eitthvað lægri heldur en þar sem kulda-brúar gættir ekki, í kverk veggjar- loftaplötu að neðanverðu getur ennfremur verið kyrrstæður loftpoki af röku lofti (rakt loft er léttara en þurrt) og yfirborðshiti þar orðið enn lægri af þeim sökum. Í niðurstöð- um útreikninga sem hér er fjallað um er þó ekki tekið tillit til áhrifa slíks loftpoka.

Niðurstöður kulda-brúargilda fyrir steiptan útvegg, einangraðan að innan, og gólfplötu eru sýndar í töflu 3 fyrir mismunandi einangrunar- og plötuþykktir. Af töflunni sést að vaxandi plötuþykkt eykur kulda-brú- aráhrif en vaxandi einangrunarþykkt dregur úr þeim.

Tafla 3: Kulda-brú á plötuskeytum veggur (einangraður að innan)-steipt gólf- plata; Ψ-gildi (W/mK)

Einangrunarþykkt (mm)	Plötuþykkt (mm)		
	120	160	200
80	0,88	0,94	1,04
100	0,84	0,90	1,00
120	0,80	0,87	0,96

Forsendur og skýringar;

- Loftshiti (°C); úti -10, inni 20
- Múr úti 20mm, leiðnitala 1,5 W/mK
- Steypa 180 mm, leiðnitala 1,95 W/mK
- Einangrun, leiðnitala 0,036 W/mK
- Múr inni 20 mm, leiðnitala 1,3 W/mK

Munur í áður birtum kulda-brúargildum (Björn Marteinsson, 2002)<sup>1</sup> og töflugildum nú liggur að hluta í breyttum forsendum á leiðnitölu steypu; áður tíðkaðist að reikna með leiðnitölunni 1,7 en nú skal sam- kvæmt ÍST 66 reikna með leiðnitölunni 1,95 sem gefur hærri kulda- brúargildi.

Kulda-brúargildin í töflu 3 eru í öllum tilvikum mun hærri heldur en U-gildi útveggjarins (tafla 1) og ljóst að áhrif kulda-brúar á varmaflut- ning verður umtalsvert.

<sup>1</sup> Þessi kulda-brúargildi voru síðar tekin upp í ÍST 66:2008, án endurútreikninga vegna breytinga á leiðnitölu steypu.

Til þess að draga úr áhrifum kulda-brúar á mótum veggjar sem einangr- aður er að innanverðu og steyptrar plötu þá má hugsa sér mismunandi leiðir;

- einangra neðan í loftplötu eins og tíðkaðist á árum áður
- einangra ofan á plötu (t.d. samfara geislahitun)
- steypa inn einangrun í vegg á mótis við gólfplötuna

Áhrif slíkra aðgerða á kulda-brúargildi og lægsta yfirborðshita neðan á plötu fyrir nokkur tilvik, mynd 3, eru sýnd í töflu 4 og dæmigerðar hitastigsdreifingar mismunandi frágangs á mynd 4.

Grunngerð veggjar;

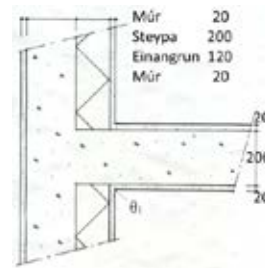
Eins og lýst er í töflu 1, einangrunarþykkt 120 mm, U-gildi = 0,28 W/m²K

Grunngerð plötu;

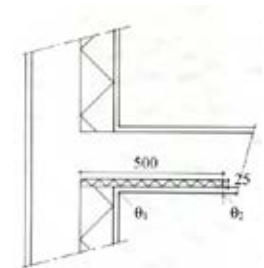
Plötuþykkt 200mm

Tafla 4: Kulda-brúargildi og yfirborðshiti (sjá einnig mynd 3)

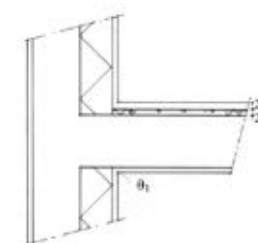
Gerð	Lýsing	Kulda-brúargildi Ψ (W/mK)	Yfirborðshiti Θ <sub>1</sub> (°C) Θ <sub>2</sub> (°C)	
			Θ <sub>1</sub> (°C)	Θ <sub>2</sub> (°C)
K1, mynd 3a	Grunngerð; veggur- plata	0,99	12,0	
K2, mynd 3b	Gerð K1 og innsteipt einangrun neðan í loft	0,84	17,5	19,8
K3, mynd 3c	Gerð K1 og gólfhiti með 30 °C í rörum	0,95	12,1	
K4	Gerð K3 auk einangrunar neðan í loft (sbr. K2)	0,78	17,5	20,8
K5, mynd 3d	Gerð K1 með 30mm lóðréttri einangrun utarlega í vegg mótis við plötuskil	0,52	15,0	



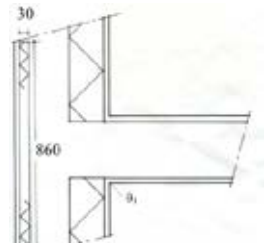
3 a Hefðbundinn frágangur



3 b Innsteipt einangrun í loft



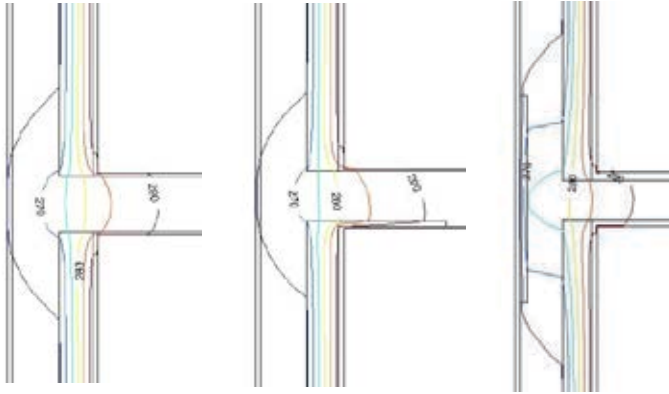
3 c Gólfhiti; 10mm einangrun undir lög



3 d Innsteipt einangrun í vegg

Mynd 3: Steiptur útveggur og steipt milligólf; snið í mismunandi frágang (kulda-brú)

Töflugildin (tafla 4) sýna að með mismunandi aðgerðum má lækka kuldabrárgildið þar sem saman koma steypdur útveggur, einangraður að innan, og steyppt plata; og er þar vænlegast að einangra í útvegginn eins og mynd 3d sýnir. Í öllum tilvikunum er kuldabrárgildið þó enn umtalsvert, en lægsti yfirborðshiti hækkar nægjanlega til þess að rakavandamál ættu ekki að verða til staðar. Það er því full ástæða til að skoða fleiri möguleika heldur en hér er gert til að draga úr kuldabrá á mótum veggjar og milligólfs, það gæti verið vænlegt til árangurs að sameina lausnir 3b, c og d í eina.



4a Hefðbundinn frágangur 4b Viðbótareinangrun neðan í loftplötu við útvegg 4c Viðbótareinangrun utarlega í vegg

Mynd 4: Hitastigsdreifing í sniði (Kelvingráður); Steypdur útveggur sem einangraður er að innan og steyppt gólfplata. Útihiti  $-10^{\circ}\text{C}$ , innihiti  $20^{\circ}\text{C}$ .

Kröfur Byggingareglugerðar (Byggingarreglugerð, gr. 13.2.3) fyrirskrifa að þegar kuldabráyr eru til staðar, þá skuli viðbótareinangra byggingu nægjanlega svo áhrif kuldabráa séu upphafin.

Í þeim tilgangi þarf að fara ólíkar leiðir fyrir mismunandi tegundir bygginga;

- Fjölbýli á nokkrum hæðum: vegg- og gluggafletir eru ráðandi og þak- og gólfletir vega svo lítið að leiðnitap lækkar hlutfallslega lítið þó svo einangrun í þessum byggingarhlutum sé aukin. Hægt er að skoða útvegginn sem sjálfstæða einingu.
- Einnar hæðar bygging; þak og gólfletir vega nægjanlega mikið svo áhugavert er að auka einangrun þar til að lækka heildarleiðnitap.

Þegar reiknað er afmarkað tilvik fyrir útvegg með kuldabrá, nokkurra hæða fjölbýli með steyptum gólfplötum sem ná út í steyppta útveggi, þá má stilla upp eftirfarandi jöfnu 4 til að meta samspil vegg- og gluggaflata; jafnframt þarf krafa um hámarksgildi vegins U-gildis veggja (kuldabráyr meðtaldar) að vera uppfyllt.

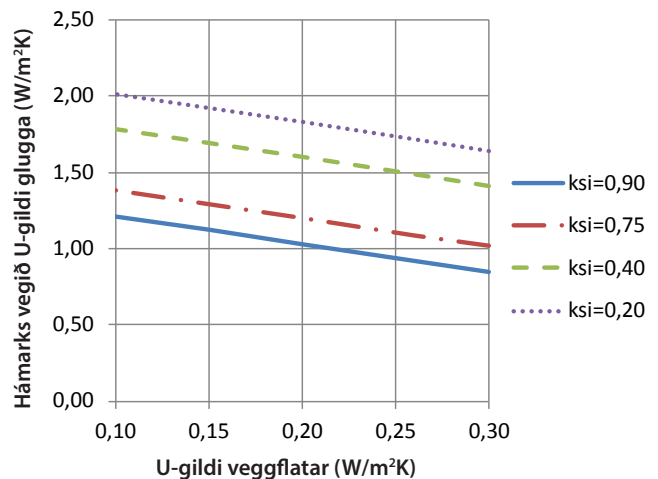
$$A_v \cdot U_{B,v} + A_g \cdot U_{B,g} = A_v \cdot U_v + A_g \cdot U_g + \Psi \quad (4)$$

þar sem	$A_v$	veggflatarmál, $\text{m}^2$
	$U_{B,v}$	U-gildi veggjar; lágmarkskrafa Byggingarreglugerðar, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
	$A_g$	gluggaflatarmál, $\text{m}^2$
	$U_{B,g}$	vegið U-gildi glugga; lágmarkskrafa Byggingarreglugerðar, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
	$U_v$	U-gildi veggjar; raungildi, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
	$U_g$	vegið U-gildi glugga; raungildi, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
	$\Psi$	kuldabráráhrif, $\text{W}/\text{K}$

Fyrir ofangreindar forsendur þá má reikna fyrir einn lengdarmetra í vegg, lofthæð 2,5m og gert er ráð fyrir að kuldabrá sé til staðar bæði í gólfi og lofti; hálf kuldabrárgildi á hvorum stað. Miðað verður við eftirfarandi hámarks U-gildi byggingarhluta;  $U_{B,v}=0,3$ , vegið gildi fyrir glugga  $U_{B,g}=2,0$  og heildar vegið U-gildi útveggjar sem 0,85. Út frá jöfnu 4 sést strax að ekki er hægt að einangra steyptan útvegg með kuldabráum einan og sér nægjanlega að innanverðu svo kuldabrárgildin séu upphafin fyrir þau gildi sem sýnd eru í töflu 3. Það er hinsvegar viðráðanlegt að bæta einangrun veggjar eitthvað frá kröfum reglugerðar og taka svo mismuninn sem þá er eftir upp með bættum- eða verulega bættum gluggafrágangi þegar um slíkt er að ræða. Nokkur dæmi til skýringar á þessu eru sýnd á mynd 5. Sýndar niðurstöður eru fyrir hlutfall múropa glugga af veggfleti sem 35%, sem er nokkuð eðlilegt gluggahlutfall í fjölbýli (endastigagangur), og litid framhjá áhrifum útidryra.

Af mynd 5 sést að með vaxandi áhrifum kuldabráar (hækkandi  $\Psi$ -gildi) þá þarf að velja glugga með lægra vegið U-gildi svo ákvæði Byggingarreglugerðar séu uppfyllt, hversu mikla áherslu þarf að leggja á gluggana fer eftir því hversu mikil einangrun veggflata er valin.

Dæmi: Fyrir kuldabrárgildið  $\Psi=0,90$  og U-gildi veggflatar sem  $0,30 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , þá þarf að velja glugga þannig að vegið meðal U-gildi þeirra sé um 0,84.



Mynd 5: Nauðsynleg U-gildi glugga fyrir mismunandi U-gildi veggjar og kuldabrárgildi. Gluggahlutfall 35% af veggfleti.

Það er því hægt að ná kröfum byggingarreglugerðar fyrir fjölbýlishús með steypum veggjum einangruðum að innanverðu ef valdir eru gluggar með nægjanlega lágt vegið U-gildi. Alltaf þarf þó að gæta þess að yfirborðshiti flata verði ekki svo lágur að hætta sé á rakapéttingu. Með því að draga eitthvað úr kuldabráráhrifum þá minnkar krafa á kólnunartölur veggja og glugga. Í þessu sambandi má nefna að í Evrópu er nú víða gerð krafa til hámarks vegins U-gildis glugga (gler og karmar) sem 0,8 það má því vera ljóst að gluggar með nægjanlega lágt vegið U-gildi eru til.

### Veggur einangraður að utanverðu

Einangrun innan á steyptan útvegg krefst þess þannig að dregið sé úr áhrifum kuldabráa, einangrun veggjar aukin umfram reglugerðarkröfur og sérvelja þarf glugga með lágt vegið U-gildi. Einangrun utan á vegg leysir málið á annan og sennilega einfaldari máta þar sem þannig má alfarið losna við kuldabráyr sem fjallað er um að ofan, en ef veggir eru klæddir utan á einangrun koma þó kuldabráyr samfara upphengju

klæðningar. Hérlandis hafa loftræstar klæðningar verið festar upp með málmvinklum sem boltast í vegg utanverðan og stendur vinkillinn út í gegnum einangrunina. Vinkillinn er því punkt-kuldabrá og kuldabrá-aráhrifin,  $\Delta U_f$ , munu hafa áhrif á reiknað U-gildi veggjar. Þessi áhrif hafa verið metin með nálgunaraðferð samkvæmt ÍST 66 (Annex A í DS 418), og er U-gildi veggjar að meðreiknuðum áhrifum kuldabráa vegna tengja ákveðið í samræmi við jöfnu 5.

$$U = U' + \Delta U_f \quad (5)$$

þar sem U U-gildi veggjar að punkt-kuldabráum meðtöldum ( $W/m^2K$ )  
 U' U-gildi án kuldabráaráhrifa ( $W/m^2K$ )  
 $\Delta U_f$  viðbót vegna punkt-kuldabráa ( $W/m^2K$ )

Niðurstöður útreikninga fyrir stálvinkla með þverskurðarflatarmál  $2 \times 100$  mm og fjöldann 1,8 stk/ $m^2$  eru í staðlinum sýnd (í dæmi 10) sem  $\Delta U_f = 0,12$   $W/m^2K$ , en samkvæmt breytingu á DS 418 (frá 2005) fæst gildið nú sem  $\Delta U_f = 0,07$   $W/m^2K$ . Hér eru iðulega notaðir álvinklar með þversniðsstærðina  $3 \times 80$  mm og fjöldann 3,3 stk/ $m^2$ ; leiðnitala áls er miklu hærri heldur en gildir fyrir stál og álið jafnframt veikara, því efnismeiri og fleiri festingar á  $m^2$ . Ef þessar stærðir eru settar inn í nálgunarfjöfnuna í staðlinum þá fæst mjög hátt leiðréttingargildi  $\Delta U_f$  eða um 0,7 sem getur bent til þess að nálgunarfafnan henti ekki í slíku tilviki. Til að skoða áhrif punkt-kuldabráa sem stálvinklar valda í klæðningarkerfum þá voru nokkrar slíkar kuldabrár reiknaðar í þrívíðu reiknilíkani fyrir hitastigsdreifingu<sup>1</sup>.

Það er þekkt erlendis að punktkuldabrár vegna vinkla geta sett stífar kröfur á einangrun veggja svo vegið U-gildi uppfylli kröfur reglugerða, en þessar kröfur til einangrunar verða erfiðari og erfiðari eftir því sem kröfur til U-gildis veggjar eru auknar. Það eru því reyndar ýmsar lausnir til að draga úr kuldabráaráhrifum festivinklanna. Erlendis þekktist t.d. að nota vinkla úr gerfiefnum sem leiða mun ver varma heldur en málmvinklar, en þeir eru taldir nokkuð dýr lausn miðað við málmvinkla. Hér verða skoðuð nokkur tilvik af punkt-kuldabráum vegna vinkla svo betur megja meta hvort nauðsynlegt sé að gjörbreyta festikerfunum. Skoðuð verða tilvik fyrir steiptan vegg, einangraðan að utan með 180 mm einangrun og loftræst klæðning hengd upp á vinklum;

- V1 stálvinkill, skoðuð þrjú mismunandi þversniðsflatarmál, leiðnitala  $\lambda = 55$   $W/mK$
- V2 eins og í V1, en til viðbótar er sett 5 mm fóðring innan í boltagat og 10 mm undir vinkil, leiðnitala fóðringar  $\lambda = 0,04$   $W/mK$
- V3 vinkill endar 33 mm inni í einangrunarlagi, og þá gert ráð fyrir að bolta annað leiðarakerfi í gegnum einangrun og í vinkil (eða leiðara á vinkli)- punktkuldabrá slíkra millifestinga ekki reiknuð

## Heimildir

Björn Marteinsson (2002) *Efnis- og orkunotkun vegna fjölbýlis í Reykjavík: Efnisframleiðsla, flutningur, byggingarstarfsemi og rekstur í 50 ár*, meistara-ritgerð frá iðnaðar- og vélaverkfræðideild Háskóla Íslands, 127 síður, Björn Marteinsson, Reykjavík í október 2002.  
 Byggingarreglugerð 112/2013, með breytingum nr. 1173/2012, Umhverfisráðuneytið

Niðurstöður útreikninga eru í töflu 5.

Tafla 5: Kuldabráargildi  $\Psi$  og leiðrétting á kólnunartölu,  $\Delta U$ , vegna festivinkla fyrir klæðningu.

Tilvik	Efni og þversnið vinkils (mm x mm)	$\Psi$ (W/K)	Fjöldi vinkla (stk/ $m^2$ )	$\Delta U_f$ ( $W/m^2K$ )
V1 Vinkill út í gegnum einangrun	Stál; 1x100	0,0097	1,8	0,02
	Stál; 2x100	0,0106	1,8	0,02
	Stál; 3x100	0,0125	1,8	0,02
V2 Vinkill með fóðringum	Stál; 1x100	0,0073	1,8	0,01
V3 Einangrað utan við vinkil með 33 mm einangrun	Stál; 1x100	0,0054	1,8	0,01

Í öllum tilvikum er reiknuð viðbót vegna punktkuldabráa lægri heldur en nálgunarfafna í ÍST 66 gefur. Jafnframt kemur í ljós að efnisþykkt í vinkli vegur lítið og með þeim fjölda marktækra tölustafa sem staðall ætlast til að U-gildi sé gefið upp með þá næst sami árangur með fóðringu undir vinkil eins og fæst með því að einangra utan við vinkil. Í síðarnefnda tilvikinu þarf að nota tvöfalda grind undir klæðninguna sem gefur kost á betri þéttingu gagnvart slagregni, en það er sennilega talsvert dýrari leið.

## Niðurlagsorð

Niðurstöður sem hér hafa verið ræddar benda til þess að þó svo kröfur Byggingareglugerðar væru hertar eins og lagt var til í reglugerðinni sem var sett í janúarlök 2012 (Byggingareglugerð 112/2012, fyrir breytingar nr. 1173/2012) þá útilokar slíkt ekki að einangra steiptan vegg fjölbýlishúsa að innan. Hinsvegar þyrfti þá að nota glugga með lægra U-gildi heldur en hér hefur tíðkast til þessa. Jafnframt virðist sýnt að staðallinn ÍST 66 ofmeti punkt-kuldabráargildi vegna vinkla í klæðningarkerfum og því tæpast ástæða til að velja dýrari lausnir á vinklum útaf kuldabráaráhrifum einum og sér.

## Þakki

Könnunin sem hér greinir frá er liður í skoðun á sjálfbærari þróun bygginga, í verkefninu Betri borgarbragur sem fékk þriggja ára Öndvegisstyrk frá Tækniþróunarsjóði RANNÍS.

ÍST 66:2008 *Varmatap húsa - Útreikningar*, Staðlaráð Íslands  
 DS 418:2011 *Beregning av bygningers varmetab*, Dansk standard  
 ÍST EN ISO 10211:2007 *Thermal bridges in building construction-Heat flows and surface temperatures-Detailed calculations*, Staðlaráð Íslands

<sup>1</sup> Í gangi er tilraun til að sannreyna reiknilíkanið, reiknað hitastig á vinkli innanverðum virðist bera allvel saman við mælt gildi en tilraun er ekki lokið. Álvinklar verða reiknaðir síðar ef reiknilíkanið telst vera í lagi.