



MANNVIT



Reykjavíkurborg

SAMANTEKT Á ERLENDUM  
HÖNNUNARLEIÐBEININGUM FYRIR HÁGÆÐA  
ALMENNINGSSAMGÖNGUR

## SKÝRSLA

RANNSÓKNARVERKEFNI UNNIÐ MEÐ STYRK FRÁ  
VEGAGERÐINNI OG REYKJAVÍKURBORG

VERKNÚMÉR:7.009.328 - SKJALANÚMÉR: 7009328-000-CRP-0001						
NÚGILDANDI ÚTGÁFA: 1.01						
1.01	01.04.2019	IFU	BRI	HB	BRI	Vegagerðin & Reykjavíkurborg
ÚTGÁFA	DAGS. ÚTG	ÚTGÁFUSTAÐA	HÖFUNDUR	RÝNIR	SAMÞYKKT	VERKKAUPI

## Titilblað

<b>Skjalaheiti:</b> 7009328-000-CRP-001.pdf	<b>Skýrslu númer:</b> MV-2019-003	<b>Útgáfudagur:</b> 04.04.2019	<b>Útgáfunúmer:</b> 1.01
------------------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------

<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> Samantekt á erlendum hönnunarleiðbeiningum fyrir hágæða almenningssamgöngur	<b>Upplag:</b> 3
	<b>Fjöldi síðna:</b> 51

<b>Höfundur/ar:</b> Bjarni Rúnar Ingvarsson, Albert Skarphéðinsson	<b>Verkefnisstjóri (undirskrift):</b>
	<b>Yfirfarið (undirskrift):</b>

<b>Verkkaupi:</b> Vegagerðin & Reykjavíkurborg	<b>Tengiliður verkkaupa:</b> Þórir Ingason & Þorsteinn Hermannsson
<b>Samstarfsaðilar:</b>	

<b>Útdráttur:</b> Rannsóknarverkefni með það að markmiði að vera grunnur að gerð íslenskra hönnunarleiðbeininga fyrir hágæða almenningssamgöngur.
<b>Efnisorð:</b> Hágæða almenningssamgöngur, hönnunarleiðbeiningar

### Dreifing:

- Opin öllum starfsmönnum** (Rafræn í bóksafni)       **Lokuð** (Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa)

### Breytingasaga:

Útgáfunúmer	Dagsetning	Breyting	Höfundur	Yfirfarið

## Efnisyfirlit

<b>1. Inngangur</b>	<b>1</b>
<b>2. Aðferðarfræði</b>	<b>2</b>
2.1 Erlendar hönnunarleiðbeiningar	2
2.2 Almenn atriði	4
<b>3. Staðsetning sérrýmis, aðgreining og forgangur</b>	<b>5</b>
3.1 Staðsetning sérrýmis í göturými	5
3.1.1 Sérrými utan annarra samgöngumáta	6
3.1.2 Sérrými fyrir miðju vega/gatna	7
3.1.3 Sérrými til hliðar við almenna umferð	8
3.1.4 Sérrými sitt hvoru megin við akbrautir, forgangsakreinar	9
3.2 Aðgreining	10
3.3 Umferðarkerfi	11
3.4 Skipting milli staðsetningu sérrýma með tilliti til akbrauta	12
3.5 Sérrými í einstefnu	14
<b>4. Gatnamót</b>	<b>15</b>
4.1 Almennt	15
4.1.1 Beygjuradíusar í gatnamótum	15
4.1.2 Umferðarljós almenningsamgangna	15
4.2 Skiltuð gatnamót	15
4.2.1 Almenningsamgöngur í deildu rými	15
4.2.2 Almenningsamgöngur í sérrými	15
4.3 Ljósagatnamót	16
4.3.1 Almenningsamgöngur í deildu rými	16
4.3.2 Almenningsamgöngur í sérrými	16
4.4 Hringtorg	20
4.5 Gatnamót án gatnamóta	21
<b>5. Biðstöðvar</b>	<b>22</b>
5.1 Útfærsla biðstöðva; kostir/gallar	22
5.1.1 Samhverfur biðpallur	22
5.1.2 Hliðraðir biðpallar	23
5.1.3 Biðpallur í eyju	24
5.2 Tenging við gatnamót	25

5.3	Aðgengi .....	25
5.4	Bil milli biðstöðva.....	25
5.5	Útfærsla biðsvæða.....	26
<b>6.</b>	<b>Óvarðir vegfarendur.....</b>	<b>27</b>
<b>7.</b>	<b>Hönnunarreglur – Grunnatriði .....</b>	<b>28</b>
7.1	Planlega.....	29
7.1.1	Stystu lengdir beygja og beinna kafla .....	29
7.1.2	Beyguradíusar.....	30
7.1.3	Breyting á radíus (klótóiður) .....	32
7.1.3.1	Vegna rykks í lárétta stefnu.....	33
7.1.3.2	Breyting á sniðhalla – stærð sniðhallarampa .....	33
7.1.3.3	Breyting á sniðhalla – hraði.....	33
7.1.3.4	Breyting á óbættum sniðhalla – hraði .....	34
7.2	Hæðarlega.....	35
7.2.1	Minnstu lengdir eininga beygja og beinna kafla.....	35
7.2.2	Stöðvunar- og mætisjónvegjalengdir.....	35
7.2.3	Hámarkslanghalli .....	38
7.2.4	Hæðarbreytingar án radíus .....	38
7.2.5	Radíusar há- og lágboga.....	38
7.2.6	Hliðarhalli .....	40
7.3	Rýmispörf .....	41
7.3.1	Breidd sérrýmis.....	41
7.3.1.1	Grunnbreidd á beinum köflum.....	41
7.3.1.2	Breiddaraukningar í beygjum .....	43
7.3.1.3	Breiddarminnkanir við biðstöðvar.....	46
<b>8.</b>	<b>Upplýsingakerfi - ITS .....</b>	<b>47</b>
<b>9.</b>	<b>Heimildaskrá .....</b>	<b>48</b>

## Myndaskrá

Mynd 1 – Staðsetning sérrýmis. T.v. er útfærsla fyrir miðju, t.h. er útfærsla til hliðar á eigin braut.....	5
Mynd 2 - Líttlest í Karlsruhe í sérrými utan annarra samgöngumáta á svæði sem var nýlega endurskipulagt. ....	6
Mynd 3 – Dæmi um sérrými fyrir miðju aðskilið með miðeyjum (Bussveien, Stavanger).....	7
Mynd 4 – Dæmi um sérrými til hliðar aðskildar með miðeyju (Metz, frakklandi) .....	8
Mynd 5 – Dæmi um C-forgang; forgangsakreinar höfuðborgarsvæðisins þar sem akreinar eru til hliðar, þær aðskildar með málningu og eru blandaðar með annarri umferð á köflum.....	9
Mynd 6 - Önnur umferð en BRT vagna í sérrými í Hanoi, Vietnam með takmarkaðri aðgreiningu (RailProfessional.com).....	10
Mynd 7 – Aðgerðir við gatnamót á leið BRT í London, Kanada (London's BRT System, á.d.).....	11
Mynd 8 – Breyting á staðsetningu sérrýmis á ljósastýrðum krossgatnamótum skv. dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir líttlestir.....	12
Mynd 9 – Sérrými almenningsamgangna tekið út fyrir göturými á ljósastýrðum T-gatnamótum skv. dönskum hönnunarleiðbeiningum.....	12
Mynd 10 – Sérrými fyrir miðju breytt í sérrými til hliðar með „aðlögunarkafli“ .....	13
Mynd 11 – Sérrými fyrir miðju breytt í sérrými til hliðar við almenna umferð á ljósagatnamótum....	13
Mynd 12 – Sérrými fyrir miðju breytt í forgangsakreinar í hringtorgi .....	13
Mynd 13 – Sérrými í aðra áttina stýrt með umferðarljósum .....	14
Mynd 14 – Mynd af hágæða almenningsamgöngum í blandaðri umferð úr dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir líttlestir í gatnamótum. ....	16
Mynd 15 – Sérrými fyrir miðju í gegnum ljósagatnamót skv. norskum hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT.....	16
Mynd 16 – Sérrými fyrir miðju í gegnum ljósagatnamót. Úr norskum hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT.....	17
Mynd 17 - Sérrými hágæða almenningsamgangna fyrir miðju í ljósagatnamótum. Úr dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir líttlestir.....	17
Mynd 18 - Útfærsla gatnamóta með sérrými almenningsamgangna til hliðar við akbraut skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir líttlestir.....	18
Mynd 19 - Útfærsla á fjölakreina gatnamótum með sérrými til hliðar skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir líttlestir.....	18
Mynd 20 - Dæmi um útfærslu fjölakreina gatnamóta þar sem sérrými er sameinað. Frá dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir líttlestir.....	19
Mynd 21 – Sérrými fyrir miðju í gegnum hringtorg þar sem allir þverandi straumar eru ljósastýrðir. 20	
Mynd 22 – Sérrými fyrir miðju í gegnum hringtorg þar sem einungis straumar sem þvera sérrýmið í hringtorgi eru ljósastýrðir .....	20
Mynd 23 – Sérrými breytt í almennar akreinar áður en komið er að hringtorgi. ....	21
Mynd 24 - Gatnamót án gatnamóta, útfærsla á gatnamótum á Hillevåg í Noregi í stað hringtorgs. ..	21
Mynd 25 – Biðstöð líttlesta og strætisvagna við aðalrestastöðina í München (muenchen.de).....	22
Mynd 26 - Skýringarmynd af samhverfum biðpalli .....	22
Mynd 27 – Útfærsla biðstöðvar þar sem sérrými er fyrir miðju og biðstöð er fyrir framan göngupverun .....	23
Mynd 28 – Útfærsla biðstöðvar þar sem sérrými er fyrir miðju og biðstöð er fyrir aftan göngupverun .....	23

---

Mynd 29 – Biðstöð með miðdeili án möguleika til framúraksturs .....	23
Mynd 30 – Biðstöð með miðdeili og möguleika á framúrakstri .....	24
Mynd 31 – Skýringarmynd af biðstöð með biðpalli í eyju. ....	24
Mynd 32 – Dæmi um skáskotna biðstöð við gatnamót í Kaupmannahöfn (mynd: Via trafik í Kaupmannahöfn).....	25
Mynd 33 – Tenging sniðhalla (overhøjde) við klótóíðu (overgangskurve) (Danske Statsbaner, 1965).30	
Mynd 34 - Sveifla afturenda strætisvagna við krappar beygjur .....	45

## Töfluskrá

Tafla 1 – Listi yfir hönnunarleiðbeiningar fyrir LRT og BRT sem horft var til við gerð þessarar skýrslu. 2	
Tafla 2 – Fjarlægðir milli biðstöðva í dönskum hönnunarleiðbeiningum (tafla 3-1 í "Standningssteder for letbaner") .....	25
Tafla 3 – Samantekt stystu beinu kafla og beygja [m] .....	29
Tafla 4 – Lágmarks beygjuradíusar miðað við mismunandi samsetningar hönnunarhraða og sniðhalla [m] .....	32
Tafla 5 – Stöðvunarsjónvegalengdir mismunandi hönnunarleiðbeininga miðað við mismunandi halla á vegi [m] .....	37
Tafla 6 – Mismunandi háþörk á langhalla [%] .....	38
Tafla 7 – Hámarks há- og lágbogar mismunandi hönnunarleiðbeininga .....	40
Tafla 8 – Útreikningar á nauðsynlegri breidd miðeyju, svo hægt sé að nýta hana undir umferðarskilti (almennt úr skandínávískum stöðlum, danskur hönnunarleiðbeiningar þar sem ósamræmi gætir) [m] .....	41
Tafla 9 – Samantekt stærða hönnunarleiðbeininga fyrir léttlestir við samsetningu þversniða [mm] .	42
Tafla 10 – Minnsta breidd akreina eftir beygjuradíus miðlínu og stærð beygju fyrir 13,7 m vagna skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum. ....	43
Tafla 11 – Breiddaraukning fyrir 2 akreinar strætisvagna [m] skv. norsku hönnunarleiðbeiningunum. ....	43
Tafla 12 – Hæstu og lægstu gildi fyrir breiddaraukningu í beygjum fyrir léttlestir - úr dönsku hönnunarleiðbeiningunum. ....	44

## 1. Inngangur

Hryggjarstykkið í bæði Aðalskipulagi Reykjavíkur 2010-2030 og Svæðisskipulagi höfuðborgarsvæðisins frá SSH, sem samþykkt var af öllum sveitarfélögum á höfuðborgarsvæðinu, er kerfi hágæða almenningsamgangna, Borgarlína. Því kerfi er ætlað að mæta þeirri viðbótarsamgöngupörf sem myndast við fjölgun íbúa, en gert er ráð fyrir að á skipulagstímanum muni íbúum á höfuðborgarsvæðinu fjölga um 40.000 til ársins 2030 og um 70.000 til ársins 2040.

Danska verkfræðistofan COWI hefur unnið nokkrar skýrslur fyrir SSH, t.a.m. valkostagreiningu og skimunarskýrslu. COWI mælir með að byggt verði hraðvagnakerfi (e. Bus Rapid Transit - BRT), en þó þannig að notaðir séu hönnunarstikar sem ekki útiloka uppfærslu í léttlestarkerfi (e. Light Rail Transit - LRT) í framtíðinni. Þá er fjallað um það í Svæðisskipulagi höfuðborgarsvæðisins að Borgarlínan verði annað hvort BRT eða LRT, og í Aðalskipulagi Reykjavíkur er tekið fram að hönnun skuli miða að því að ef byggt sé BRT kerfi, skuli það gert þannig að það útiloki ekki uppfærslu í LRT síðar.

Engar hönnunarleiðbeiningar eru til héraðs fyrir umrædd kerfi. Verkefni þetta snýst um að taka saman helstu hönnunarstika erlendra leiðbeininga sem nýta mætti sem grunn fyrir gerð íslenskra hönnunarleiðbeininga og benda á hönnunarleiðbeiningar fyrir þá stika sem skipta minna máli á því stigi sem hönnun hágæða almenningsamgangna er í dag.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar og/eða Reykjavíkurborgar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.



## 2. Aðferðarfræði

Líkt og við hönnun á öðrum samgöngumannvirkjum á Íslandi verður helst horft til hönnunarleiðbeininga frá Norðurlöndunum í þessari skýrslu. Bornir verða svo saman helstu hönnunarstikar fyrir hágæða almenningssamgöngur.

Margar hönnunarleiðbeiningar, m.a. nokkrar frá Norðurlöndunum, nýta BRT staðalinn frá ITDP, *BRT Standard* (ITDP, 2016), sem grunn. Sá staðall gefur stig fyrir mismunandi eiginleika BRT leiða eftir gæðum og er kerfunum svo flokkað í gull-, silfur- og bronskerfi eftir heildarfjölda stiga. Þar eru einnig settar fram ýmsar kvaðir á hvað kalla megir BRT línu.

Í Evrópu er almennt viðurkennt að grunnatriðin sem nefnd eru í þýsku stöðlunum *Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau und Betriebsordnung)*, betur þekkt sem BOStrab, og *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)* leggi grundvallaratriðin fyrir hönnun og rekstur léttlesta. Nefndir verða þeir hönnunarstikar fyrir léttlestir sem ekki uppfylla umrædda staðla.

### 2.1 Erlendar hönnunarleiðbeiningar

Eins og áður hefur komið fram verður helst horft til nýrra hönnunarleiðbeininga frá Norðurlöndunum, sem staðið hafa í svipaðri uppbyggingu um nokkurra ára skeið. Þó verður einnig horft til Bandaríkjanna og Þýskalands eftir fræðilegum stærðum og grunngildum. Tafla 1 sýnir samantekt yfir þær hönnunarleiðbeiningar og staðla sem koma beint að hönnun BRT og LRT kerfa og horft var til við gerð þessarar skýrslu. Horft var einnig til annarra rita við gerð þessa samantektar, en finna má öll rit sem notuð voru í heimildaskrá, óháð því hvort þau séu nefnd sérstaklega í texta.

Tafla 1 – Listi yfir hönnunarleiðbeiningar fyrir LRT og BRT sem horft var til við gerð þessarar skýrslu.

Land	Hönnunarleiðbeiningar	Útgefandi	Útgáfuár
Bandaríkin	Track Design Handbook for Light Rail Transit, Second Edition	Transportation Research Board	2012
Bandaríkin	The BRT Standard	ITDP	2016
Danmörk	Banernes Bygning og Udstyrelse	Danske Statsbaner	1965
Danmörk	Kollektiv busstrafik og BRT	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Letbaner i Vejkryds	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Letbaner på Strækninger	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Standsningssteder for letbaner	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Tracéring i byer	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Tværprofiler i byer	Vejdirektoratet	2016
Danmörk	Vejkryds i byer	Vejdirektoratet	2018
Kanada	LRT design guidelines	City of Edmonton	2017
Noregur	Bussveien - Åpen plan- og designkonkurranse for holdeplasser	Statens vegvesen	2015
Noregur	Bussveien - Når standardene mangler	Rogaland fylkeskommune / Statens vegvesen / Kolumbus	á.d.
Noregur	Bussveien - Norges mest moderne bussystem	Rogaland fylkeskommune / Statens vegvesen / Kolumbus	á.d.
Noregur	Bussveien rv. 509 - vurdering konsept - midtstilt, sidestilt eller parallelført bussfelt	Statens vegvesen	2016

Noregur	Fremkommelighet for buss - Tiltak på veg og gate. Rapport nr. 434	Statens vegvesen	2017
Noregur	ITS i kollektivtrafikken	SINTEF	2006
Noregur	Kapasitet på holdeplasser og i kollektivfelt	SWECO	2013
Noregur	Kollektivhåndboka - Tilrettelegging for kollektivtrafikk på veg og gate. Håndbok V123	Statens vegvesen	2014
Noregur	Plassering og utforming av kollektivfelt - BRT:Løsning for å fremme miljøvennlig transport. Rapport nr. 519	Statens vegvesen	2016
Noregur	Superbusskonsept og midtstilt kollektivfelt. Rapport nr. 312	Statens vegvesen	2014
Noregur	Veg- og gateutforming. Håndbok N100	Statens vegvesen	2014
Svíþjóð	Guidelines för attraktiv kollektivtrafik - Regional BRT	Nationellt kunskapscentrum för kollektivtrafik	2016
Svíþjóð	Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på BRT	X2AB	2015
Svíþjóð	Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på modern spårväg	X2AB	2015
Svíþjóð	Projekteringsanvisningar för spårväg i Skåne	Spårvagnar i Skåne	2014
Sviss	Empfehlungen für die Planung von Strassenbahnanlagen auf dem Netz der Verkehrsbetriebe Zürich	Verkehrsbetriebe Zürich	2014
Þýskaland	Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen - RAST 06	FGSV - Road and Transportation Research Association	2012/ 2006
Þýskaland	Eisenbahn-Bau und Betriebsordnung (EBO)	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz	2017/ 1967
Þýskaland	Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen (Straßenbahn-Bau und Betriebsordnung - BOStrab)	Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz	2016/ 1987

## 2.2 Almenn atriði

Þær hönnunarleiðbeiningar og staðlar sem taka tillit til borgarumhverfis eru almennt sammála um forgangsroðun samgöngumáta. Í þéttbyggðustu hverfunum er mjög mikilvægt að taka tillit til virkra samgöngumáta, þ.e. gangandi, hjólandi o.fl., en í öðrum hverfum þarf mögulega ekki að leggja jafn mikla áherslu á þá, þó svo að mikilvægt sé að alltaf sé vel hlúið að þeim. Almenn teikna leiðbeiningarnar upp eftirfarandi forgangsroðun samgöngumáta innan samgöngurýmisins:

1. Hágæða almenningssamgöngur
2. Virkir vegfarendur (gangandi, hjólandi o.fl.)
3. Aðrar almenningssamgöngur
4. Atvinnuumferð/vöruafhending
5. Aðrir samgöngumátar, þar með talið almenn bílaumferð

Þessi uppröðun er almenn og ekki heilög, til að mynda gæti það mögulega þótt mikilvægt að forgangsraða virka vegfarendur efst í eldri þéttbýlli hverfum. Þá geta einnig verið rök fyrir því að í dreifðari byggðum verði virkum vegfarendum beint í undirgöng eða göngubrýr, sem forgangsraðar þá öðrum samgöngumátum ofar virkum, sökum þess að vegalend þeirra lengist yfirleitt við slík mannvirki.

Flestar leiðbeiningar nefna þó að mikilvægt er í hönnun á hágæða almenningssamgöngum að þeim sjálfum sé forgangsraðað efst innan rýmis þeirra, t.a.m. með forgangi á gatnamótum og sérrými.

Þá fjalla flestar leiðbeiningar fyrir hágæða almenningssamgöngur um mikilvægi þess að skapa ímynd og eiginleika og halda samræmi við hönnun kerfisins.

### 3. Staðsetning sérrýmis, aðgreining og forgangur

Mikilvægt er að skilgreina hugtakið forgang áður en lengra er haldið. Til eru eftirfarandi þrjú stig forgangs almenningssamgangna (Kim, 2009):

**A-forgangur** Alger aðskilnaður almenningssamgangna frá annarri umferð (e. *Right of Way A* eða *ROW A*). Aðskilnaður frá almennri bílaumferð er gerður t.a.m. með kantsteini, vegriði, landslagi eða sambærilegu. Leið er óháð þverun/gatnamótum annarrar bílaumferðar, þ.e.a.s. þveranir og gatnamót eru mislæg.

**B-forgangur** Almenningsamgöngur eru aðskildar annarri umferð nema á gatnamótum (e. *Right of Way B* eða *ROW B*). Aðskilnaður frá almennri bílaumferð er gerður t.a.m. með kantsteini, vegriði, landslagi eða sambærilegu. Þverun við aðra bílaumferð er í sama plani.

**C-forgangur** Enginn aðskilnaður leiðar og annarrar umferðar og því um blandaða umferð að ræða (e. *Right of Way C* eða *ROW C*). Hefðbundnar forgangsakreinar líkt og þær sem eru á höfuðborgarsvæðinu flokkast undir C-forgang.

Eins og gefur að skilja í skilgreiningunum þá er A-forgangur sá skilvirkasti en á sama tíma dýrasti kosturinn. Samkvæmt §16 í BOStrab, verða léttlestir með hönnunarhraða >50 km/klst. að vera með A-forgang.

#### 3.1 Staðsetning sérrýmis í göturými

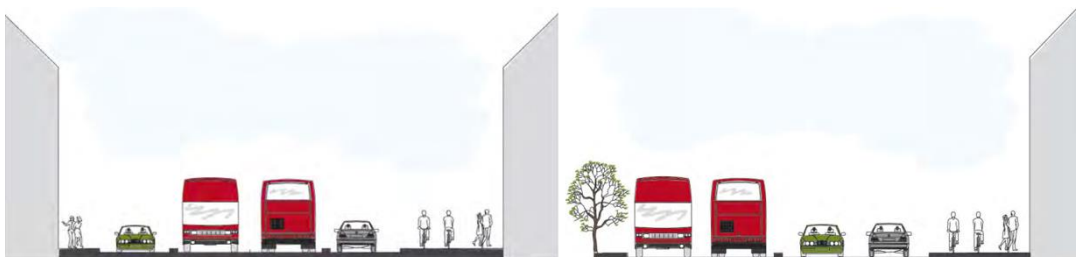
Staðsetning sérrýmis hágæða almenningssamgöngukerfis, með tilliti til annarra samgöngumáta, er einn af mikilvægustu þáttum hönnunar kerfisins. Ástæðan fyrir því er að staðsetningin hefur bein áhrif á það hversu mikinn forgang er hægt að veita kerfinu og hefur þar með mikið að segja um skilvirkni þess. Einnig getur áberandi og vel útfærð staðsetning upphafið ferðamátann.

Við val á staðsetningu sérrýmis er oftast um þrjá kosti að ræða en þeir eru:

- Sérrými fyrir miðju bílaumferðar
- Sérrými til hliðar við bílaumferð
- Sérrými sitt hvoru megin við bílaumferð (forgangsakreinar)

Fyrstu tvær útfærslunnar eru sýndar á meðfylgjandi mynd að neðan. Báðar þessar útfærslur hafa kost á að útfærast sem A eða B forgangur. Síðasta útfærslan er sérrými sitt hvoru megin við akbrautir, en þá útfærslu þekkja íbúar höfuðborgarsvæðisins vel því rauðu forgangsakreinar strætó eru af þessari gerð (sjá á mynd 5). Þessi útfærsla er nær alltaf skilgreind sem C-forgangur því almenn bílaumferð getur keyrt inná akreinar. Mjög auðvelt er að rugla saman síðustu tveimur hugtökunum og verður því hér eftir **talað um forgangsakreinar** þegar átt er við síðustu útfærsluna.

Ítarlegri greiningu á kostum og göllum mismunandi sérrýma má m.a. finna í kafla 6 í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Letbaner på strækninger“.



Mynd 1 – Staðsetning sérrýmis. T.v. er útfærsla fyrir miðju, t.h. er útfærsla til hliðar á eigin braut.

### 3.1.1 Sérrými utan annarra samgöngumáta

Algennt er að hágæða almenningssamgöngur séu hannaðar þannig að þær tengi saman svæði sem eru illa tengd fyrir. Oft er um að ræða svæði sem hefur lítið gildi í augum íbúa, jafnvel þar sem iðnaður hefur vikið fyrir öðru svæði með meira gildi (e. *brownfield* og *brownfield development*). Þá er einnig algengt að nýjar línur hágæða almenningssamgangna þveri græn svæði, jafnvel útivistarsvæði. Mjög mikilvægt er að staðið sé rétt að hönnun og útfærslu til að valda sem minnstu raski og takmarki hvorki útivistargildi né gæðum þeirra svæða sem þvera á. Sé hönnun góð og vel kynnt er líklegra að almenn sátt náist um slíkt verkefni.



**Mynd 2 - Léttlest í Karlsruhe í sérrými utan annarra samgöngumáta á svæði sem var nýlega endurskipulagt.**

#### Kostir

Tengingar almenningssamgangna milli hverfa sem hafa minni ferðatíma en sambærilegar tengingar með einkabíl auka farþegafjölda almenningssamgangna á leggnum, minnka bílaumferð og auka samkeppnishæfni almenningssamgangna í samanburði við einkabíla.

Sé einnig gerð biðstöð í útivistarumhverfi eykst aðgengi allra að svæðinu.

Gróður og ósnert svæði hafa jákvæð áhrif á geðheilsu farþega (Wood, Hooper, Foster, & Bull, 2017).

Almenningssamgöngur hjálpa til við að auka verðmæti lands, sé verið að endurskipuleggja svæðið, og eykur hylli (e. *attractiveness*) fjárfesta.

#### Gallar

Hágæða almenningssamgöngur, sem hannaðar eru í gegnum grænt svæði án þess að tekið sé tillit til gæða svæðisins við hönnun, hafa mjög neikvæð áhrif á svæðið og getur komið slæmu orðspori á framkvæmdir vegna almenningssamgangna. Mikilvægt er að vandað sé til verka í slíkum tilfellum.



### 3.1.2 Sérrými fyrir miðju vega/gatna

Á meðfylgjandi mynd má sjá dæmi um sérrými fyrir miðju frá Stavanger í Noregi. Eins og sést á myndinni er sérrými aðskilið frá annarri umferð með 2m breiðum miðeyjum. Í þessari útfærslu er vögnum einnig veittur forgangur á ljósum sem gerir þessa útfærslu þá að B-forgangi. Séu þveranir við aðra umferð gerðar mislægt telst lausnin sem A-forgangur.



Mynd 3 – Dæmi um sérrými fyrir miðju aðskilið með miðeyjum (Bussveien, Stavanger)

#### Kostir

Erlendis þar sem BRT-lausnir hafa verið innleiddar er þessi útfærsla lang algengust. Ástæðan fyrir þessu er að staðsetningin fyrir miðju upphefur ferðamátann og lágmarkar tafir (Frøyland, 2016).

Þegar sérrými er staðsett fyrir miðju eru einungis bágapunktur við samsíða almenna umferð sem beygir til vinstri. Fækkun bágapunkta leiðir almennt til aukins öryggis. Þetta einfaldar einnig forgang vagna á gatnamótum.

Útfærslan einfaldar tengingar almennrar bílaumferðar að hliðarvegum og bílastæðum. Þá takmarkar þetta heldur ekki umferð leigubíla og vöruafhendingar til fyrirtækja þar sem almenna akreinin er næst byggðinni.

Þar sem biðstöðvar eru við sérrými í miðjunni er alla jafna jafn einfalt fyrir farþega að koma að þeim og að fara frá þeim þar sem fjarlægðin eða fjöldi alreina sem fara þarf yfir eru yfirleitt jafn margar. Ef útfærslan er eins og á mynd 3, þar sem einungis ein akrein almennrar bílaumferðar er í hvora átt, er öruggara fyrir óvarða vegfarendur að þvera eina akstursstefnu almennrar bílaumferðar í einu.

Einfaldara er fyrir alla vegfarendur að skilja kerfi þar sem sérrýmið er fyrir miðju og eykur þar af leiðandi umferðaröryggi (Hansson J., 2010).

#### Gallar

Þar sem þessi lausn er notuð á umferðarmiklum og hröðum vegum getur upplifun farþega af biðstöðvum verið ónotaleg vegna hávaða og mengunar. Þá þykja mislægar lausnir t.d. göng eða brú fyrir gangandi og hjólandi að biðstöðvunum hafa slæm áhrif á aðgang vegna aukinna vegalengda.

Þar sem einungis ein akrein er fyrir almenna umferð getur bíll sem hefur stoppað vegna bilunar eða af öðrum ástæðum fljótt haft mikil áhrif á tafir.

### 3.1.3 Sérrými til hliðar við almenna umferð

Á meðfylgjandi mynd má sjá dæmi um sérrými til hliðar við veg. Eins og sést á myndinni, sem er frá borginni Metz í Frakklandi, er sérrými almenningsamgangna í báðar áttir hægra megin á myndinni og vinstra megin eru almennar akreinar í báðar áttir. Sérrýmið er aðskilið með miðeyju. Þetta er hægt að útfæra með forgang á gatnamótum og telst lausnin sem B-forgangur. Séu þveranir við aðra umferð gerðar mislægt telst lausnin hins vegar sem A-forgangur. Sérrými er líka stundum útfært á alveg sér braut fjarri akreinum almennrar bílaumferðar og er algeng útfærsla þar sem hraði er um eða yfir 70km/klst.



Mynd 4 – Dæmi um sérrými til hliðar aðskildar með miðeyju (Metz, frakklandi)

#### Kostir

Þessi lausn þykir hafa ótvíræða kosti þar sem öll byggð/áningarstaðir eru öðrum megin, þar sem farþegar þurfa aldrei að þvera almenna umferð. Þetta auðveldar einnig tengingar við hliðarvegi og bílastæði fjarri sérrýminu.

Með því að aðskilja sérrými frá hröðum og umferðarmiklum vegum er hægt að skapa rólegra umhverfi fyrir farþega.

#### Gallar

Lausnin heftir að einhverju leiti aðgengi almennrar bílaumferðar að byggðinni þeim megin sem sérrýmið er, og þá sérstaklega aðgang vöruflutninga að fyrirtækjum og mögulega aðgang neyðarbíla.

Ósamhverft umhverfi og óskýrar aðstæður á gatnamótum getur verið ruglandi fyrir vegfarendur og þar með haft neikvæð áhrif á umferðaröryggi.

### 3.1.4 Sérrými sitt hvoru megin við akbrautir, forgangsakreinar

Á meðfylgjandi mynd má sjá dæmi um sérrými til hliðar við akbraut almennrar bílaumferðar, eða forgangsakreinar. Myndin er frá Miklubraut en á henni sést hvernig almenn bílaumferð sem beygja þarf til hægri deilir forgangsakreininni með almenningssamgöngum á kafla, bæði fyrir framan og aftan gatnamótin. Af þessum sökum og vegna þess að akreinarnar eru ekki aðskildar á yfirborði (t.a.m. með kanti eða miðeyju) flokkast forgangurinn sem C.



**Mynd 5 – Dæmi um C-forgang; forgangsakreinar höfuðborgarsvæðisins þar sem akreinar eru til hliðar, þær aðskildar með málningu og eru blandaðar með annarri umferð á köflum.**

#### Kostir

Einföld og ódýr útfærsla á innleiðingu í núverandi göturými, því hægt er að nýta núverandi biðstöðvar og í einhverjum tilfellum eru einungis yfirborðsmerkingar uppfærðar.

Auðveldara aðgengi að biðstöðvum við vegi á þeim stöðum þar sem þverun gangandi og hjólandi eru mismiklar og fjöldi akreina almennrar bílaumferðar er mikill. Farþegar á biðstöðum eru fjær bílaumferðinni samanborið við útfærslu fyrir miðju sem hefur mikið að segja á stórum og hröðum umferðaræðum.

#### Gallar

Útfærslan er C-forgangur, sem gerir það að verkum að mjög erfitt er að halda uppi góðu þjónustustigi fyrir almenningssamgöngur. Af þessum sökum mæla erlendar leiðbeiningar ekki með þessari lausn ef þróa á metnaðarfullt hágæða almenningssamgöngukerfi (IDTP, 2016).

Ef markmiðið er að sérrými eigi að nýtast undir léttlest er þetta óvenjuleg lausn sem hefur fáa kosti. Alltaf er ódýrara að léttlestar sé hlið við hlið því mikið hagræði er af því að geta samnýtt rafkerfi.

Þar sem er hægri beygju framhjálaup þurfa almenningssamgöngur að deila rými með almennri umferð, þetta getur valdið bæði slyshættu og miklum töfum fyrir vagna á álagstímum í umferðinni. Til þess að leysa það vandamál er hægt að loka fyrir framhjálaupið og færa hægri beygju almennrar bílaumferðar inn í ljósastýrð gatnamót.

Á gatnamótum þurfa bæði hægri og vinstri beygja samsíða almennrar bílaumferðar að þvera sérrýmið samanborið við einungis vinstri beygju ef sérrými er fyrir miðju. Þar af leiðandi hefur þessi lausn flesta



bágapunkta af þeim útfærslum sem hafa verið til skoðunar (TCRP, 2003). Þetta gerir lausnina því bæði verri fyrir almenna umferð og sjálft almenningssamgöngukerfið.

Í borgarumhverfi er þessi lausn óheppileg því hún minnkar aðgengi almennrar bílaumferðar, og þar af leiðandi vöruflutninga og neyðaraksturs, að byggingum báðum megin götunnar og útilokar möguleika á bílastæðum við kant. Einnig er alltaf hættu á að einhver leggi eða stoppi bíl á akreininni af einhverjum ástæðum sem veldur töfum. Þetta veldur ekki bara töfum heldur líka skaða á ímynd kerfisins því þetta gefur þau skilaboð að minni virðing sé borin fyrir ferðamátanum. Þá eru til dæmi um ökumenn sem vísvitandi aka á sérrými sem ekki eru aðgreind á yfirborði, eins og dæmi er fyrir hérlandis.

Erfiðara er að skapa góða ímynd fyrir kerfið með þessari útfærslu samanborið við aðrar útfærslur. Hinar útfærslurnar senda sterkari skilaboð um að meira sé lagt í almenningssamgöngukerfið og að virðing sé borin fyrir ferðamátanum.

Mjög erfitt er að skapa góðar aðstæður fyrir farþega að skipta milli vagna sem stoppa á mismunandi biðpöllum, á biðstöðvum með þessari útfærslu. Með því þurfa farþegar að þvera margar akreinar, annað hvort á ljósagatnamótum eða með því að ferðast langa vegalend niður í göng eða á brú. Góðar aðstæður til að skipta um vagna er mikilvægur þáttur í því að búa til vel heppnað almenningssamgöngukerfi (Wright, 2003).

Ef engar hjólareinar eru meðfram forgangsakreinunum er alltaf hættu á því að hjólreiðafólk stelst til að nota sérrýmið. Þetta veldur bæði töfum vagna og slyshættu.

### 3.2 Aðgreining

Eins og áður hefur komið fram er sérrými, sem ekki er aðgreint frá almennri bílaumferð með kanti eða öðru álíka, með forgang C. Sérrýmið er þá iðulega með lituðu malbiki og aðgreint frá almennri umferð með 20 cm breiðri línu, ýmist brotinni eða heilli, eftir aðstæðum.

Til að byggja kerfi með forgang A eða B þarf að aðgreina sérrýmið í hæð, s.s. með keilum/stikum, kantsteini eða miðeyju, svo einbeittan brotavilja þurfi til að aka af akrein almennrar bílaumferðar

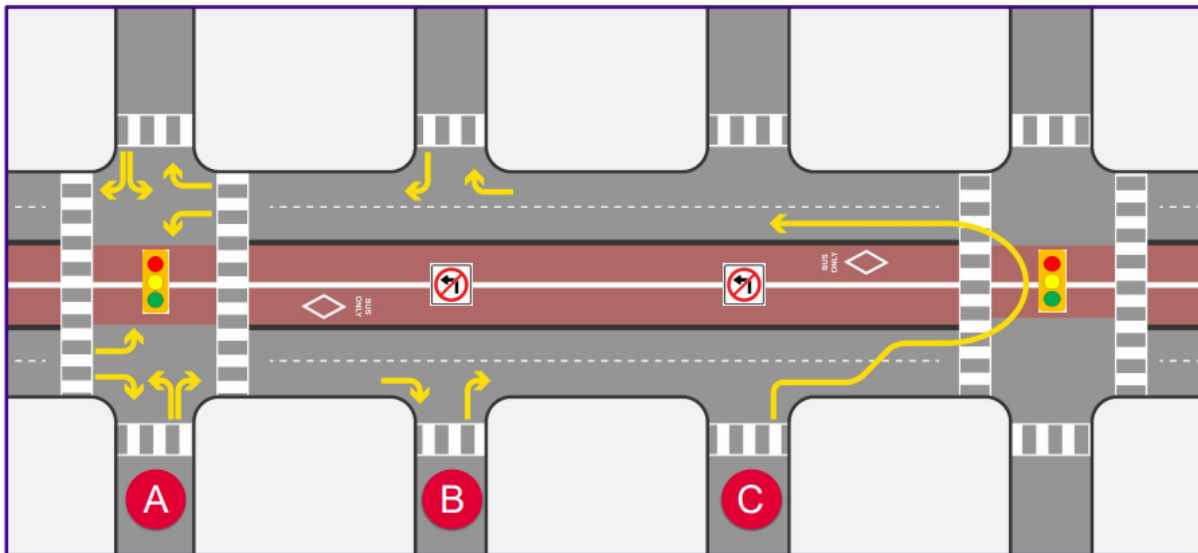


**Mynd 6 - Önnur umferð en BRT vagna í sérrými í Hanoi, Vietnam með takmarkaðri aðgreiningu (RailProfessional.com)**

yfir á sérrými almenningssamgangna. Algengt er að kerfi með forgang A sé byggt að mestu leiti utan almenns göturýmis, ýmist í öðru plani eða í annarri legu en aðliggjandi götur.

### 3.3 Umferðarkerfi

Mikilvægt er að horfa heildstætt á áhrif mismunandi ferðamáta á umferðarkerfið og tryggja gott samspil almenningssamgangna og almennrar bílaumferðar. Tryggja þarf lágmörkun á raski almennrar bílaumferðar vegna almenningssamgangna og öfugt. Til að mynda getur verið nauðsynlegt að fara í ákveðnar aðgerðir til að lágmarka fjölda bágapunkta, t.a.m. að loka fyrir vinstri beygjur á umferðarlitlum vegum, þar sem sérrými almenningssamgangna er fyrir miðju og beina þeim sem ætla að taka vinstri beygju í u-beygju á stærri ljósastýrðum gatnamótum eða hringtorgum ef við á, eins og sjá má dæmi um á mynd 7 frá kynningarefni fyrir BRT í London í Kanada.



A

At signalized intersections, traffic will be able to cross the BRT lanes and make right or left turns.

B

At unsignalized minor streets and driveways, traffic will only be able to make a right-turn in or out. Traffic will not be able to cross the BRT lanes.

C

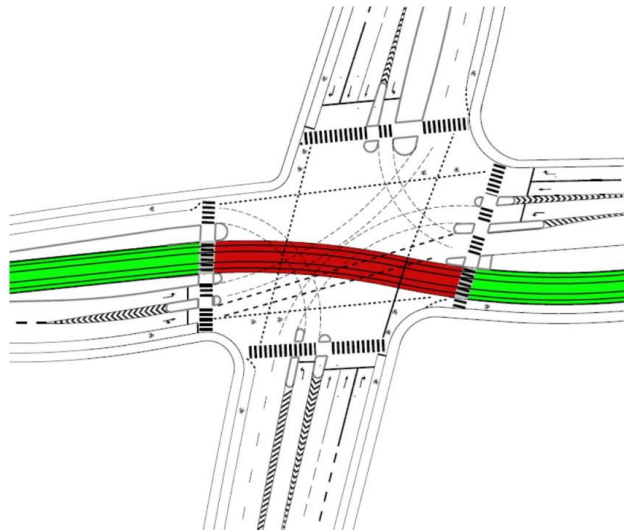
Traffic that today turns left out of an unsignalized minor street or driveway will instead turn right and U-Turn at the next signalized intersection. U-turns will use dedicated left-turn lanes and a protected signal.

Mynd 7 – Aðgerðir við gatnamót á leið BRT í London, Kanada (London's BRT System, á.d.).

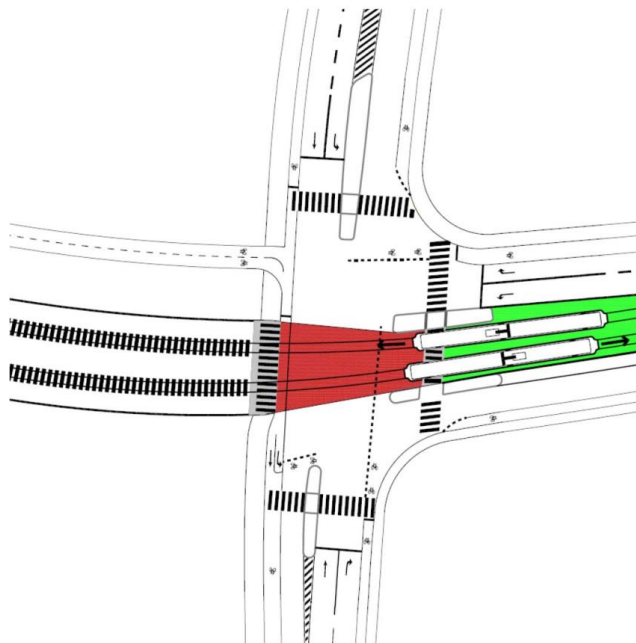
### 3.4 Skipting milli staðsetningu sérrýma með tilliti til akbrauta

Hér á eftir verða raktar nokkrar aðferðir við það að skipta um útfærslu í plani. Eins og áður hefur komið fram er óæskilegt að hafa sérrými léttlesta sitt hvoru megin við almenna umferð og dregur það úr gæðum hraðvagnakerfis. Þar af leiðandi er almennt mælt gegn notkun á slíkum lausnum í hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT kerfi, sér í lagi ef mögulega skal vera hægt að uppfæra kerfið síðar í léttlestarkerfi. Frekar er mælt með að halda akstursstefnum sérrýma annað hvort í miðju eða til hliðar við almennar akbrautir.

Danskar hönnunarleiðbeiningar sýna hvernig færa má sérrými almenningsamgangna milli þess að vera á milli akstursstefna og utan. Annarsvegar á mynd 8, sem sýnir lausn á krossgatnamótum, og hins vegar á mynd 9, sem sýnir lausn á færslu sérrýmis út fyrir göturými á T-gatnamótum.



Mynd 8 – Breyting á staðsetningu sérrýmis á ljósastýrðum krossgatnamótum skv. dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir léttlestir.



Mynd 9 – Sérrými almenningsamgangna tekið út fyrir göturými á ljósastýrðum T-gatnamótum skv. dönskum hönnunarleiðbeiningum.

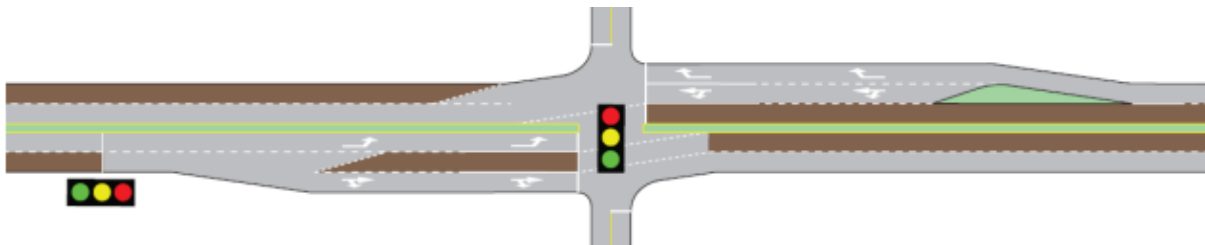
Þar sem sérrými er heimilað sitt hvoru megin við akreinar almennrar bílaumferðar nefna norsku hönnunarleiðbeiningarnar nokkrar leiðir til að skipta á milli þess og sérrýmis fyrir miðju, sem sjá má hér að neðan.

Á mynd 10 má sjá skiptingu úr sérrými fyrir miðju yfir í sérrými til hliðar á beinum vegkafla. Þá þarf aðlögunarkafla þar sem vagnar keyra í blandaðri umferð þar sem þeir fara úr miðjunni til hliðar eða öfugt. Þessi aðlögunarkafla þarf að vera að lágmarki 300 m þar sem hámarkshraði er yfir 60km/klst., en að lágmarki 200 m ef umferðarhraðinn er 60 km/klst. eða minni. Þetta er einnig hægt að útfæra í einhverjum tilfellum með ljósastýringu á almenna umferð, en þá má draga verulega úr lengd aðlögunarkaflans.



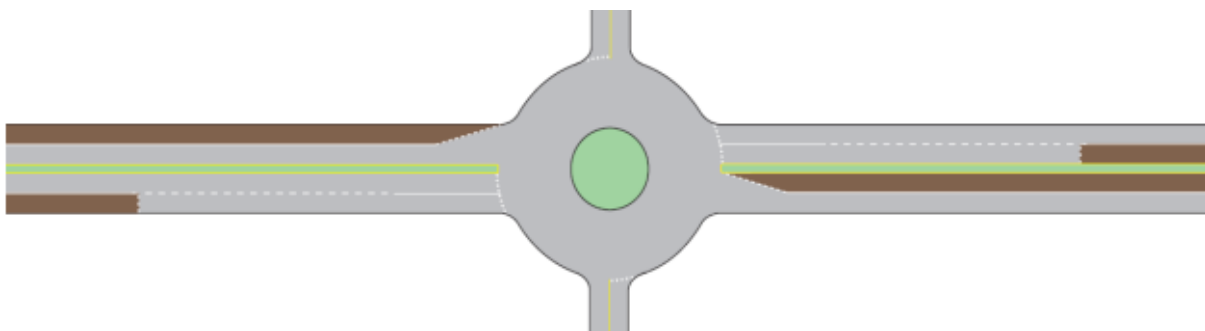
**Mynd 10 – Sérrými fyrir miðju breytt í sérrými til hliðar með „aðlögunarkafla“**

Á mynd 11 má sjá skiptingu úr sérrými í miðju yfir í sérrými til hliðar á ljósagatnamótum. Ljósastýringu er þá einnig komið fyrir nokkru áður en komið er að gatnamótunum, þar sem sérrými er utan við almenna umferð, til þessa að „rýma“ gatnamótin áður en vagnar koma að þeim.



**Mynd 11 – Sérrými fyrir miðju breytt í sérrými til hliðar við almenna umferð á ljósagatnamótum**

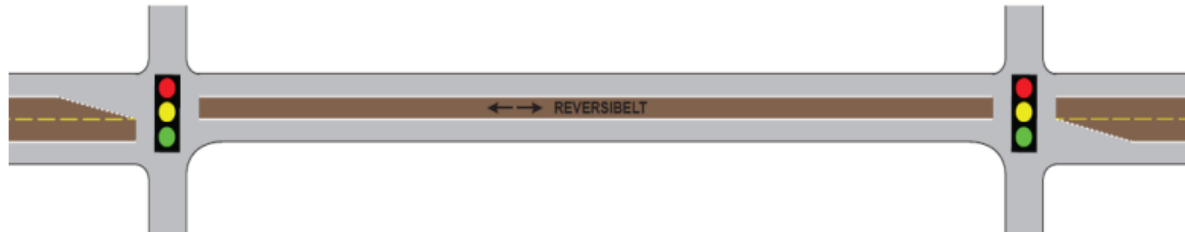
Á mynd 12 er sýnd lausn fyrir skiptingu úr sérrými í miðju yfir í sérrými til hliðar með hringtorgi. Þessi lausn er mjög einföld í hönnun og engar sérstakar ljósastýringar eru þarfar, en lausnin getur verið erfið í notkun, sér í lagi ef bílaumferð er þung.



**Mynd 12 – Sérrými fyrir miðju breytt í forgangsakreinar í hringtorgi**

### 3.5 Sérrými í einstefnu

Þar sem rými er mjög takmarkað er í undantekningartilfellum hægt að hafa einfalt sérrými sem nýtt er fyrir báðar akstursstefnur og umferðinni þá stýrt með ljósum. Í BRT-kerfi meðfram akbraut sem hefur mikinn mun á hánnatímaumferð væri hægt að nýta sérrýmið fyrir vagna sem ferðast í sömu átt og meginumferð, meðan vagnar í hina áttina aka í deildu rými/blandaðri umferð. Þessar lausnir hafa áhrif á tímatöflur og er mælt gegn notkun hennar á leiðum sem uppfæra á í léttlestarkerfi. Sé valið að nýta þessa lausn verður að lágmarka einfalda kaflann og reikna út áhrif á tímatöflur (t.a.m. áhrif á tíðni og samvirkniáhrif ef aðrir kaflar setja tímatöflu einnig skorður).



Mynd 13 – Sérrými í aðra áttina stýrt með umferðarljósum

## 4. Gatnamót

### 4.1 Almennt

Til eru margar gerðir gatnamóta, sem allar hafa sína kosti og galla. Í þessum kafla verða raktir helstu kostir og gallar frá sjónarhorni hágæða almenningssamgangna, þ.e. fyrir léttlestar- eða hraðvagnakerfi.

#### 4.1.1 Beygjuradíusar í gatnamótum

Fjallað er um beygjuradíusa í kafla 7.1.2, þar kemur fram að minnsti beygjuradíus sem nota má fyrir léttlestarteina er 25 m. Í gatnamótum sem deila rými með almennri bílaumferð er erfitt að vera með sniðhalla á teinum, og takmarkast hámarkshraðinn því við skrið-hraða (e. *creeping*).

#### 4.1.2 Umferðarljós almenningssamgangna

Umferðarljós P51 (Umferðarljós fyrir strætisvagna), sem kveðið er á um í reglugerð um umferðarmerki 289/1995, gilda erlendis einnig fyrir léttlestir og krefst þar af leiðandi ekki breytinga. Mælt er til þess að tryggja fullan forgang almenningssamgangna á gatnamótum, til að lágmarka biðtíma og sveiflur í ferðatíma og þar með hámarka áreiðanleika. Í dag fær Strætó sums staðar lengingu á grænu ljósi sem er ekki fullur forgangur.

### 4.2 Skiltuð gatnamót

Stöðlum ber saman um að helst skuli forðast gatnamót án ljósa fyrir hágæða almenningssamgöngur, þar sem það minnkar áreiðanleika og umferðaröryggi, og eykur dreifni í ferðatíma almenningssamgangna. Þó geta komið upp tilvik þar sem besta lausnin m.t.t. kostnaðar, umfangs og umferðar sé að hafa gatnamót án ljósa. Þetta getur t.a.m. verið nálægt endum leiða, þar sem almenningssamgöngur ferðast í eða meðfram götum með lága ársdagsumferð. Almennt er helst mælt með T-gatnamótum við þessar aðstæður.

#### 4.2.1 Almenningsamgöngur í deildu rými

Þar sem almenningssamgöngur eru í deildu rými með almennri bílaumferð, þar sem ársdagsumferð er mjög lág – sér í lagi á hliðarvegi, er hægt að setja gatnamót með biðskyldu á hliðarveg.

#### 4.2.2 Almenningsamgöngur í sérrými

Í litlum gatnamótum þar sem almenningssamgöngur eru í sérrými í miðri götu er hægt að útfæra þau á tvo vegu með skiltum. Annars vegar er hægt að banna þverun almennrar bílaumferðar yfir sérrými almenningssamgangna og þá einungis hægribeygjur leyfðar. Hins vegar leyfa þverun almennrar bílaumferðar yfir sérrými, og þar með allar hreyfingar leyfðar. Síðari útfærslan hefur eins og gefur að skilja meiri áhrif á umferð almenningssamgangna og ætti einungis að vera notuð þar sem ársdagsumferð vinstribeygju er lág.

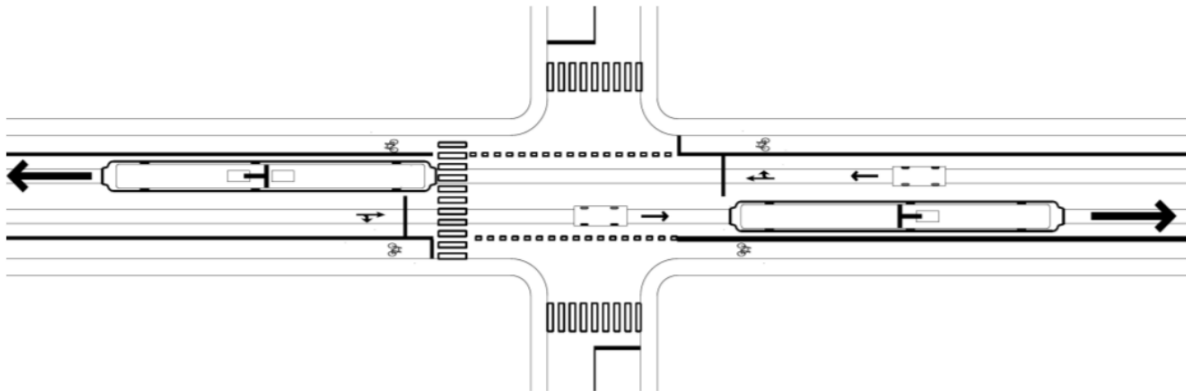
Ef sérrými almenningssamgangna liggur til hliðar við götu er mælt gegn því að þverun yfir rýmið með skiltum sé leyfð, nema í því undantekningartilfalli þar sem samliggjandi gata er í sömu akstursstefnu og það spor/akrein sérrýmis sem er næst götunni. Eins og í öðrum tilfellum skiltaðra gatnamóta verður ársdagsumferð allra strauma að vera lág.

### 4.3 Ljósagatnamót

Ljósagatnamót eru almennt talin bestu gatnamótin í plani fyrir hágæða almenningssamgöngur, sökum þess að hægt er að gefa þeim forgang. Í þessum kafla verða ræddar nokkrar útfærslur á ljósagatnamótum með tilliti til kerfis hágæða almenningssamgangna.

#### 4.3.1 Almenningsamgöngur í deildu rými

Þar sem almenningssamgöngur deila rými með almennri bílaumferð eru ljósagatnamót útfærð á sama máta og í dag, nema huga verður að beygjuradiusum, eigi léttlestir að geta beygt á þeim. Hönnunarleiðbeiningar fyrir hágæða almenningssamgöngur mæla gegn akstri hágæða almenningssamgangna í deildu umhverfi sökum þess að slíkt er með C-forgang, með sömu rökum og nefnd eru í kafla 3.

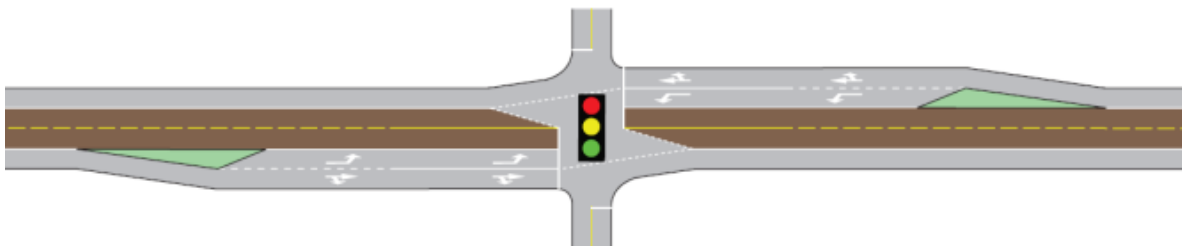


Mynd 14 – Mynd af hágæða almenningssamgöngum í blandaðri umferð úr dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir léttlestir í gatnamótum.

#### 4.3.2 Almenningsamgöngur í sérrými

Til eru margar lausnir til þess að koma sérrými fyrir í miðju í gegnum ljósagatnamót. Hér á eftir eru sýndar nokkrar útfærslur á því úr norskum leiðbeiningum fyrir BRT kerfi (Frøyland, 2016) og dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir léttlestarkerfi.

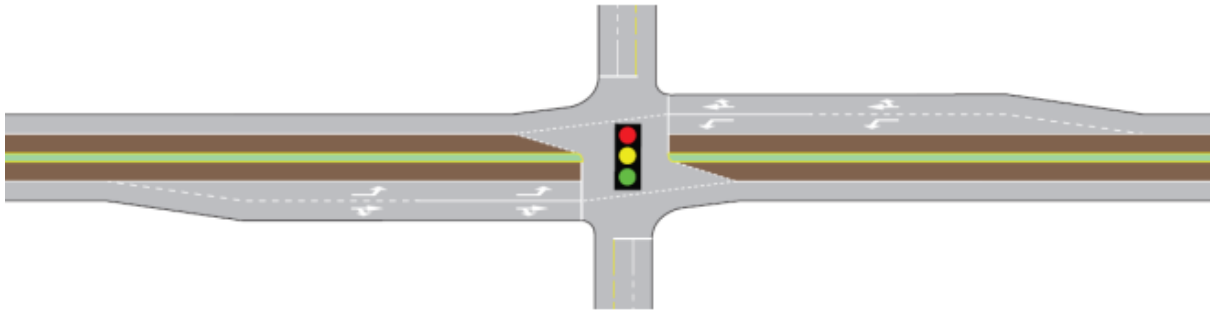
Á mynd 15 er sýnd útfærsla þar sem sérrými er í beinni línu í gegnum gatnamótin. Vinstribeygjuakreinar eru í báðar áttir á aðalveginum. Fyrir sérrýmið er það besti kosturinn að fara beint í gegnum gatnamótin en þar sem því verður ekki við komið er hægt að skáskjóta sérrýminu eða sleppa vinstribeygjuakreinum.



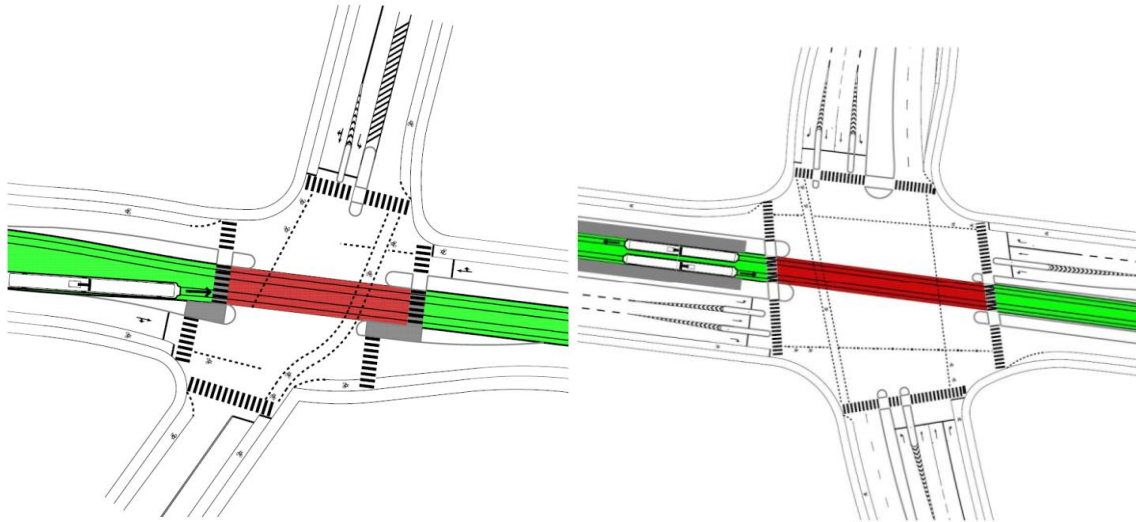
Mynd 15 – Sérrými fyrir miðju í gegnum ljósagatnamót skv. norskum hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT.



Á mynd 16 er lausn sem svipar til þeirrar fyrri að því undanskildu að miðeyju fyrir framan vinstribeygjuakrein er sleppt og komin er miðeyja á milli átta sérrýmis.



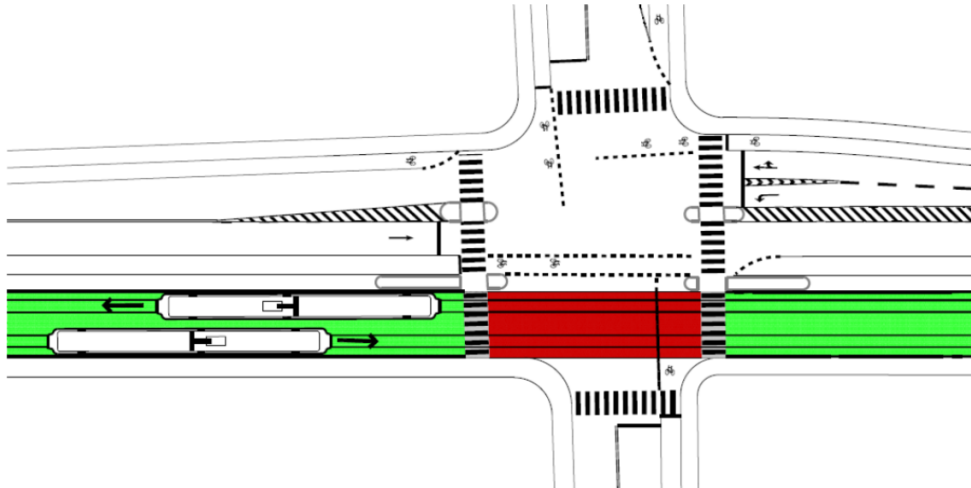
**Mynd 16 – Sérrými fyrir miðju í gegnum ljósagatnamót. Úr norskum hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT.**  
Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar gera svipaðar kröfur, eins og sjá má á mynd 17, en leggja þó meiri áherslu á forgang hágæða almenningsgangna í gegnum gatnamótin og taka einnig tillit til annarra samgöngumáta, svo sem hjólandi og gangandi.



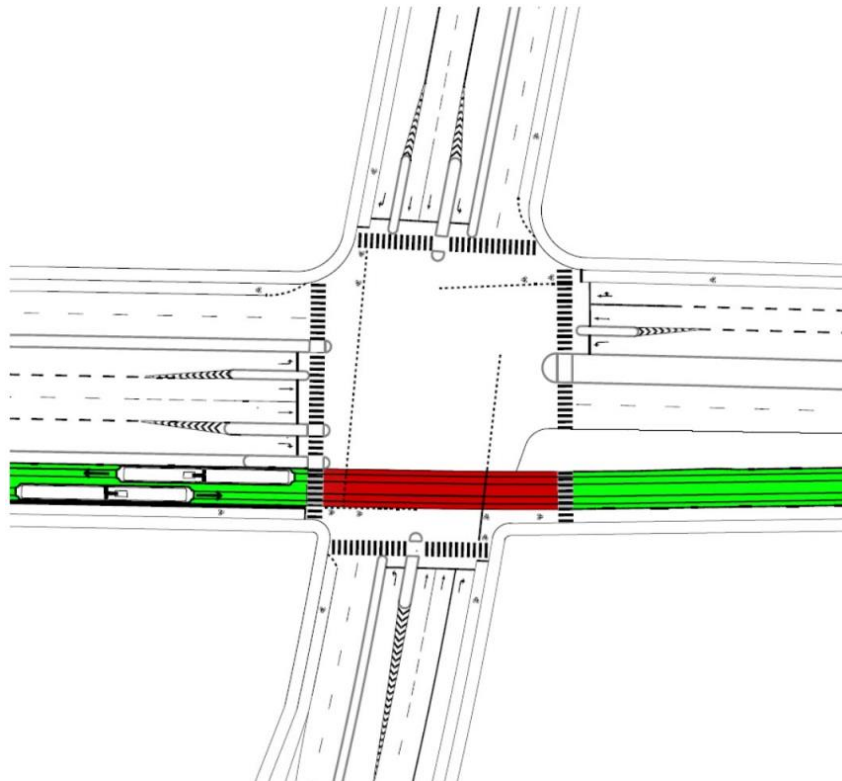
**Mynd 17 - Sérrými hágæða almenningsgangna fyrir miðju í ljósagatnamótum. Úr dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir léttlestir.**

Útfærslu dönsku hönnunarleiðbeininganna af gatnamótum með sérrými til hliðar við almenna umferð má sjá á myndum 18 og 19.



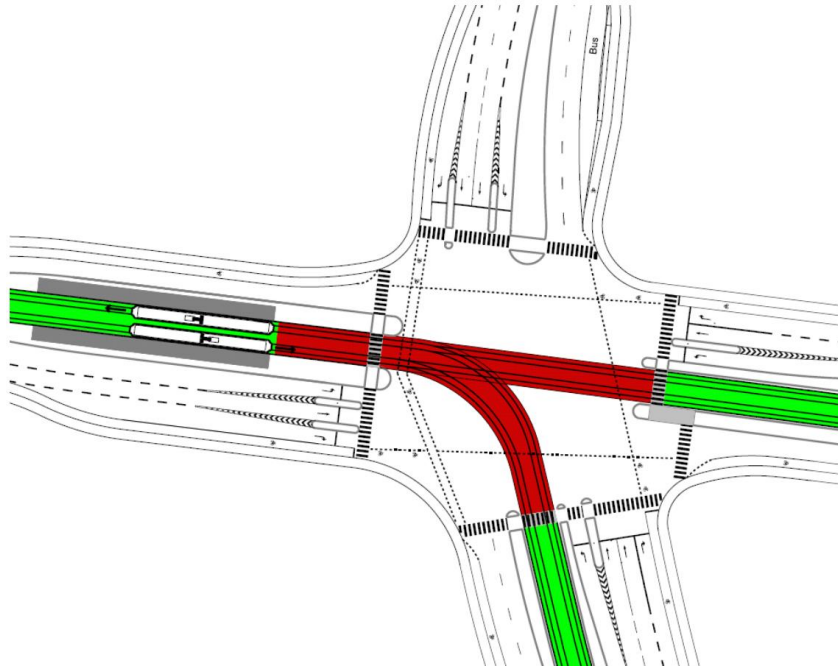


**Mynd 18 - Útfærsla gatnamóta með sérrými almenningsgangna til hliðar við akbraut skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir léttlestir.**



**Mynd 19 - Útfærsla á fjölakreina gatnamótum með sérrými til hliðar skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir léttlestir.**

Gatnamót fyrir almenna bílaumferð eru einnig oft notuð til að sameina sérrými almenningsgangna, eins og sjá má dæmi um á mynd 20. Slíkar útfærslur geta einnig verið blanda af öðrum útfærslum úr þessum kafla og úr kafla 3.4.



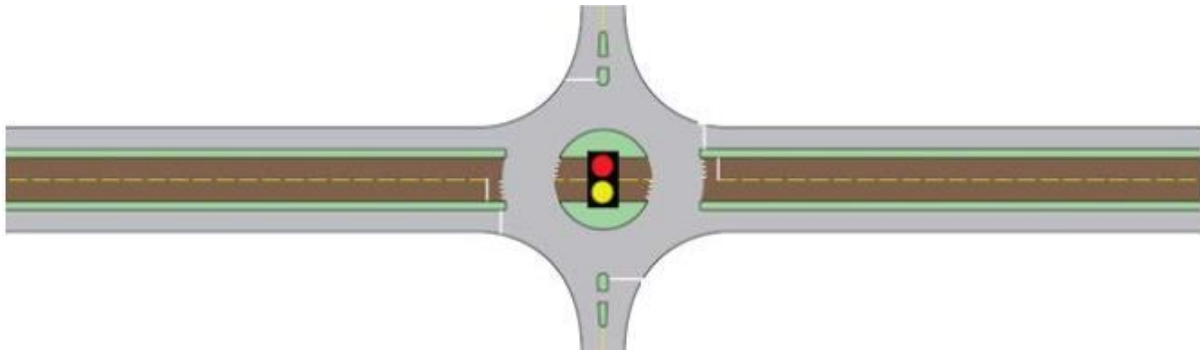
**Mynd 20 - Dæmi um útfærslu fjölakreina gatnamóta þar sem sérrými er sameinað. Frá dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir léttlestir.**

#### 4.4 Hringtorg

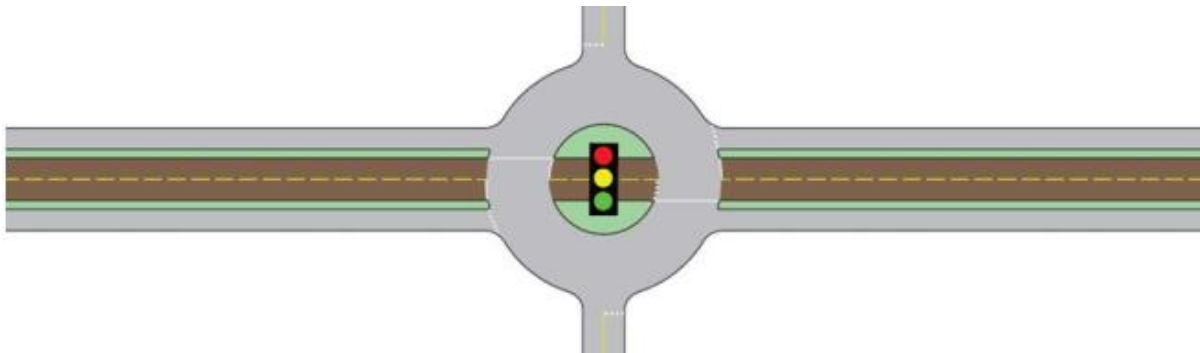
Gatnamótalausn þar sem sérrými fer í gegnum hringtorg með ljósastryringum hafa verið vinsælar síðan sænsk rannsókn frá 2001 sýndi fram á kosti þess fyrir lausnir á gúmmihjólum (Trivector, 2001).

Taka verður fram að dönsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir léttlestir mæla sterklega gegn hringtorgum á leið hágæða almenningsamgangna. Ástæða þess er tvíþætt, annars vegar er slysatíðni há á stöðum þar sem sérrýmið er tekið í gegnum miðeyjur, og hins vegar er þjónustustig lágt ef almenningsamgöngur eru settar út í blandaða umferð.

Á mynd 21 er sýnd lausn þar sem öll bílaumferð inn í hringtorgið er ljósastryð. Þá er sérrýmið einnig ljósastrytt, bæði inn í hringtorgið og út úr því. Þessi lausn er búin að vera til reynslu í Stavanger við veginn Hillevåg síðan 2011. Niðurstöður þessarar reynsluprófunar voru að mikið var um að bílstjórar almennrar bílaumferðar keyrðu á móti rauðu og að útfærslan þótti hafa óþarflega slæm áhrif á umferðarrýmd almennrar umferðar. Bent var á að hentugra væri að vera einungis með ljósastryngu á umferð sem þverar sérrýmið í hringtorginu (sjá dæmi á mynd 22). Almenn umferð í þeirri lausn hefur líklega meiri umferðarrýmd en þessi á mynd 21.

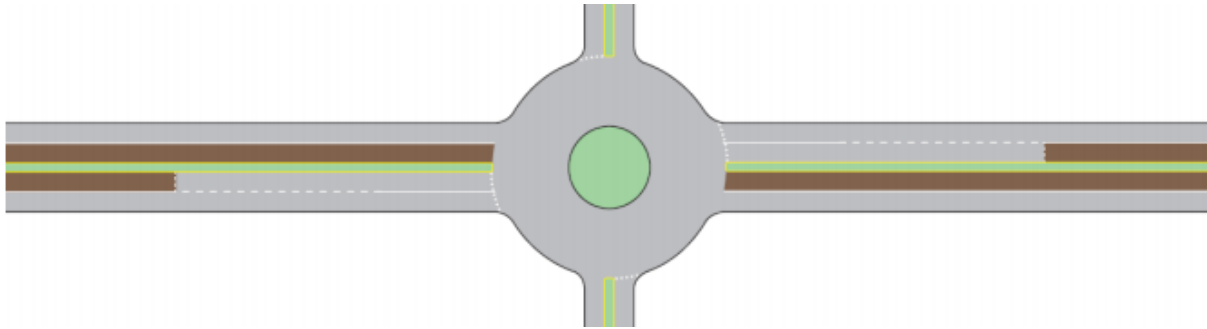


Mynd 21 – Sérrými fyrir miðju í gegnum hringtorg þar sem allir þverandi straumar eru ljósastryðir.



Mynd 22 – Sérrými fyrir miðju í gegnum hringtorg þar sem einungis straumar sem þvera sérrýmið í hringtorgi eru ljósastryðir

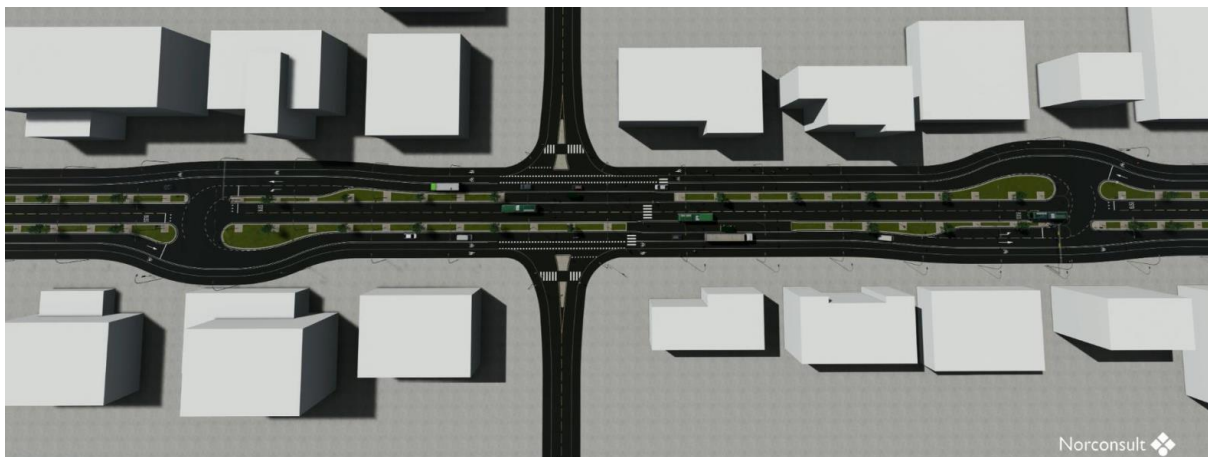
Á mynd 23 er sýnd lausn þar sem sérrými er breytt í venjulega akrein áður en komið er að hringtorgi. Þessa lausn væri hægt að nota þar sem erfitt er að gera breytingar á núverandi hringtorgi eða lausnin á að vera til bráðabirgða.



Mynd 23 – Sérými breytt í almennar akreinar áður en komið er að hringtorgi.

#### 4.5 Gatnamót án gatnamóta

Lausn Norðmanna við lélegri reynslu á hringtorgum í Hillevåg, bæði hvað varðar umferðarrým og slysatíðni, var að fjarlægja hringtorgin og koma með svokölluð gatnamót án gatnamóta. Sú lausn miðar að því að á aðalvegi sé fært að keyra áfram og taka hægribeygju. Allir straumar af hliðarvegum fara í beygju til hægri inn á aðalveg. Þeir sem vilja fara aðrar leiðir eru leiddir að vinstribeygjuljósum yfir sérými almenningssamgangna til hliðar við mót miðlína gatnanna. Dæmi um gatnamót án gatnamóta má sjá á mynd 24.



Mynd 24 - Gatnamót án gatnamóta, útfærsla á gatnamótum á Hillevåg í Noregi í stað hringtorgs.

## 5. Biðstöðvar

### 5.1 Útfærsla biðstöðva; kostir/gallar

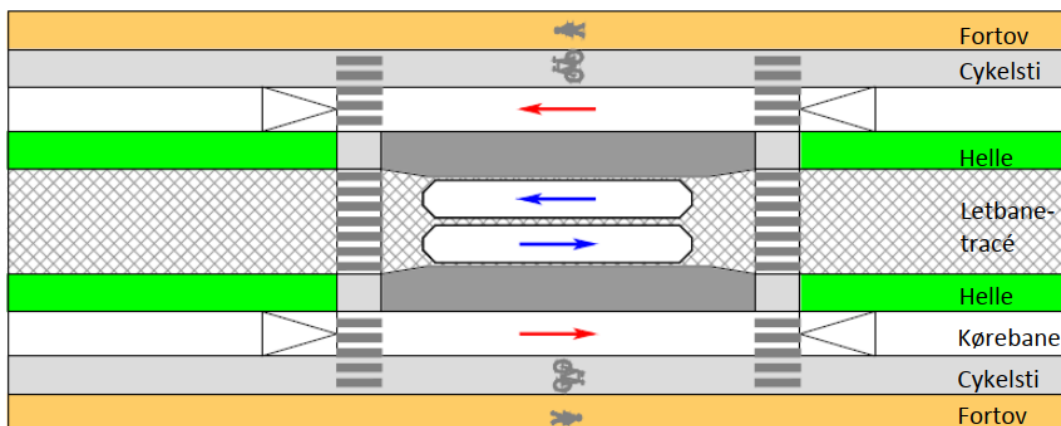
Í þessum kafla verður fjallað um kosti og galla mismunandi útfærsla á biðstöðvum hágæða almenningssamgangna. Myndir af útfærslum í kaflanum koma annars vegar úr norskum hönnunarleiðbeiningum fyrir val á útfærslu sérrýma almenningssamgangna og hins vegar úr dönskum hönnunarleiðbeiningum fyrir léttlestir, nema annað komi fram. Farið er dýpra í kosti og galla mismunandi útfærsla á biðstöðum í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Standningssteder for letbaner“. Taka verður fram að engar hönnunarleiðbeiningar telja „strætóvasa“ sem ásættanlega lausn fyrir biðstöð hágæða almenningssamgangna.



Mynd 25 – Biðstöð léttlesta og strætisvagna við aðalleststöðina í München (muenchen.de)

#### 5.1.1 Samhverfur biðpallur

Sú útgáfa af biðstöð sem er einföldust fyrir farþega er með samhverfum biðpalli, þ.e.a.s. þegar vagnar í sitt hvora átt stöðva hlið við hlið. Þveranir farþega yfir svæði almenningssamgangna er því bæði fyrir aftan og framan vagnanna. Helstu kostir þessarar útfærslu eru auðveldar tengingar farþega milli akstursátta og mögulega annarra samgöngumáta. Þessar útfærslur má finna við stórar skiptistöðvar þar sem bæði er áætlaður lengri biðtími á biðstöð, m.a. fyrir tímajöfnun, og ef áætlað er að mikill fjöldi farþega muni þvera sérrýmið. Helsti galli þessarar útfærslu er að almenningssamgöngur verða að þvera gönguþveranir bæði þegar komið er að biðstöðinni og aftur þegar lagt er af stað, sem er til þess fallið að minnka áreiðanleika tímatöflu og lengja ferðatíma. Þá tekur biðstöðin meira rými í þversniði, sér í lagi ef breidd biðpalla er mikið meiri en breidd öryggissvæðis.



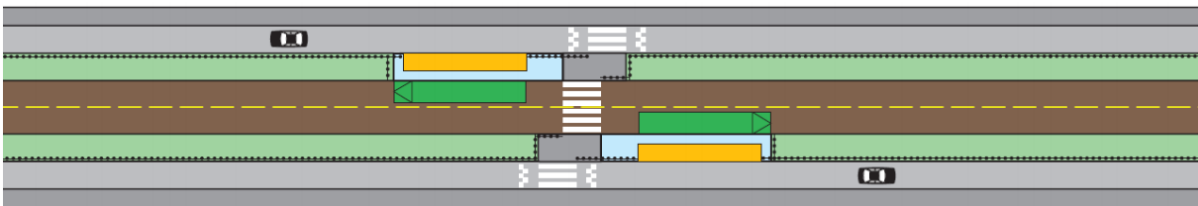
Mynd 26 - Skýringarmynd af samhverfum biðpalli



### 5.1.2 Hliðraðir biðpallar

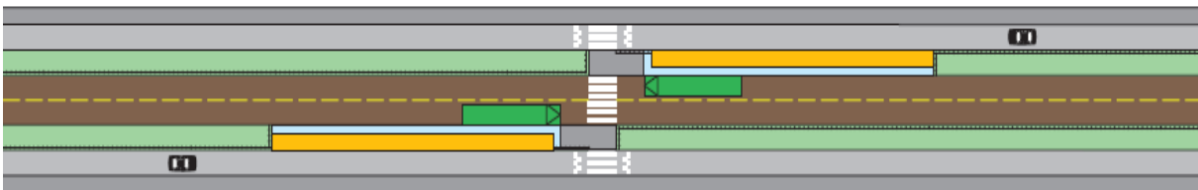
Ekki verða taldar upp allar mögulegar útfærslur á hliðruðum biðpöllum með tilliti til gönguþverana, miðeyja og framhjállaupa. Heldur eru hér nefndar nokkrar algengar lausnir sem hægt er að blanda saman. Með því að hliðra biðpöllum er hægt að minnka það rými sem biðstöð tekur í þversniði, sér í lagi ef öryggissvæðið er mikið mjórri en biðpallarnir. Mynd 27 sýnir lausn þar sem biðstöðin kemur á eftir gönguþverun. Gönguþverunin á myndinni er skásett í átt að almennri bílaumferð til að tryggja að notendur hennar horfi í átt að akstursstefnu almennra ökutækja með það að markmiði að auka öryggi þeirra. Slíkar skásetningar eru reyndar umdeildar við biðstöðvar, sökum þess að upplifun vegfarenda er að almenn bílaumferð hafi forgang fram yfir gangandi, sem er í mörgum tilfellum ekki ætlunin.

Með því að hafa gönguþverun fyrir aftan biðpalla er tímaröskun almenningsamgangna lágmarkuð, þar sem mesti straumur þverandi er rétt eftir að vagn almenningsamgangna hefur komið á stöðina. Útfærslan lengir leið skiptifarþega fram yfir samhverfa biðpalla, en hefur takmörkuð neikvæð áhrif á aðra farþega.



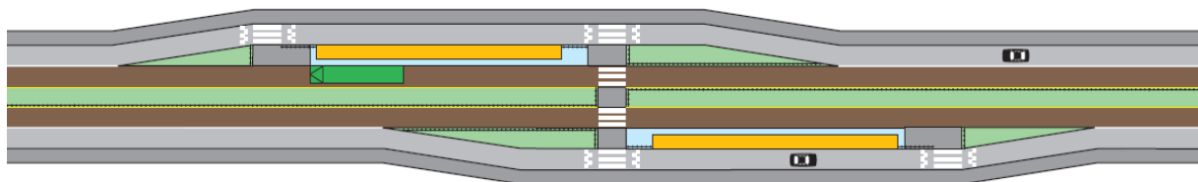
**Mynd 27 – Útfærsla biðstöðvar þar sem sérrými er fyrir miðju og biðstöð er fyrir framan gönguþverun**

Mynd 28 sýnir lausn þar sem biðstöðin kemur á undan gangbraut, en flestar hönnunarleiðbeiningar mæla gegn því sökum þess að gallarnir vega meira en kostirnir. Ef gönguþverun yfir sérrými almenningsamgangna er ekki ljósastýrð hafa þeir farþegar sem fara úr vagni og þvera sérrýmið áhrif á biðtíma vagnsins sem þeir voru í. Ef gönguþverunin er hins vegar ljósastýrð þurfa þeir sem ætla að þvera að bíða eftir að vagninn er farinn áður en þeir geta haldið för sinni áfram, sem tefur þá farþega umfram fyrri útfærslu.



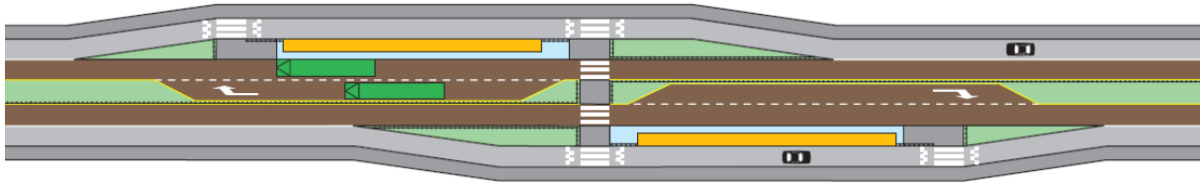
**Mynd 28 – Útfærsla biðstöðvar þar sem sérrými er fyrir miðju og biðstöð er fyrir aftan gönguþverun**

Mynd 29 sýnir lausn á biðstöð þar sem sérrými er fyrir miðju en miðdeilir er milli sérrýma. Lausnin er með tvær tengingar milli biðstöðvar yfir bílaakreinar en eina yfir sérrými. Þetta lágmarkar gönguvegalengdir í átt frá og að biðstöð, þeim megin sem sá ætlaður biðpallur er. Miðeyjan í sérrýminu verður þó til þess að slíkar biðstöðvar taka meira rými en t.a.m. samhverfar biðstöðvar.



**Mynd 29 – Biðstöð með miðdeili án möguleika til framúraksturs**

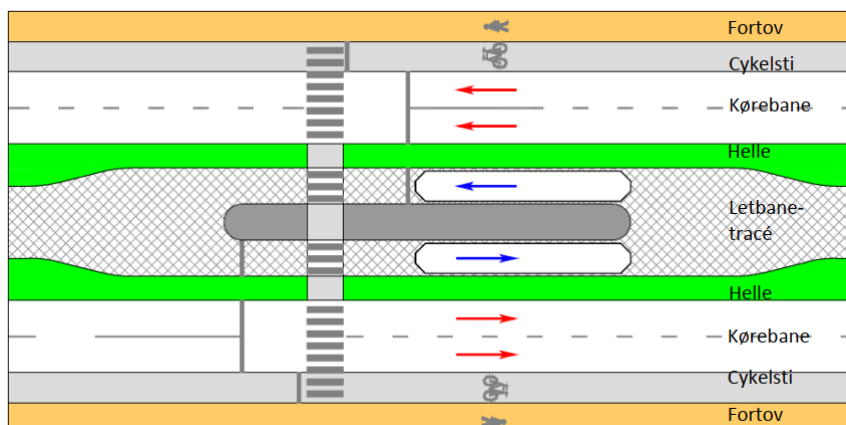
Mynd 30 sýnir lausn á biðstöð þar sem möguleiki er fyrir vagna að taka fram úr á biðstöðinni. Þetta er kostur á stórum biðstöðum. Aðrir kostir og gallar eru nefndir í útfærslu við mynd 29.



Mynd 30 – Biðstöð með miðdeili og möguleika á framúrakstri

### 5.1.3 Biðpallur í eyju

Besta útfærsla á biðstöð fyrir tengifarþega er á biðpalli í eyju, að því gefnu að eyjan sé nægilega breið. Sú útfærsla er þó sett fram með þeim fyrirvara að hún setur kvaðir á að hurðir verði að vera beggja megin vagna almenningsgangna. Þó er hægt að útfæra biðstöðvar þannig að vagnar komi öfugu megin á biðstöðina, en færstar hönnunarleiðbeiningar mæla með því sökum þess að annars vegar getur það skapað misskilning hjá farþegum og hins vegar skapað viðbótar bágapunkta fyrir vagna sitt hvoru megin við biðstöðina. Þá er ekki víst að útfærsla sem þessi spari rými í þversniði, þar sem biðpallurinn verður að vera breiðari en almennur biðpallur, en öryggissvæðin sitt hvoru megin við biðstöðina verða einnig að vera til staðar.



Mynd 31 –Skýringarmynd af biðstöð með biðpalli í eyju.

## 5.2 Tenging við gatnamót

Fræðin á bak við tengingar biðstöðva við gatnamót hafa þróast samhliða þróun í forgangi almenningssamgangna á ljósastýrðum gatnamótum. Flestir fræðimenn eru í dag sammála um að best sé fyrir hágæða almenningssamgöngur að hafa biðstöðvar þeirra eftir ljósagatnamót, því þá er auðveldara að gefa þeim forgang á ljósum. Þó verður að skoða hvert tilvik fyrir sig með tilliti til fjölda tengifarþega og ferðamynstur farþega í kring um biðstöðina. Farið er nánar í útfærslu biðstöðva með tilliti til gatnamóta í kafla 6.6 í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Standsningssteder for letbaner“.



Mynd 32 – Dæmi um skáskotna biðstöð við gatnamót í Kaupmannahöfn (mynd: Via trafik í Kaupmannahöfn).

## 5.3 Aðgengi

Flestar hönnunarleiðbeiningar nefna mikilvægi þess að tryggt sé gott aðgengi allra að biðstöðvum og því gert hátt undir höfði að samtvinna mismunandi ferðamáta. Í því ljósi er tekið fram að mikilvægt er að farþegar geti ferðast með hjól og barnavagna, en einnig að örugg hjólaskýli og hjólaleigur séu við helstu biðstöðvar og að öll hönnun taki mið af aðgengi fyrir alla.

## 5.4 Bil milli biðstöðva

Flestar hönnunarleiðbeiningar láta nægja að nefna að bil milli biðstöðva eigi að vera minnst 400-500 m og mest um 800 m. Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir biðstöðvar léttlesta (tafla 3-1 í „Standsningssteder for letbaner“) ganga þó lengra í skilgreiningu sinni, eins og sjá má í töflu 2.

Tafla 2 – Fjarlægðir milli biðstöðva í dönskum hönnunarleiðbeiningum (tafla 3-1 í "Standsningssteder for letbaner")

Tegund byggðar	Minnsta bil	Almennt bil	Mesta bil
Minni bæir, svæði með lítinn íbúapétteleika	-	1.000 – 2.000 m	2.500 – 3.000 m ef hraði er $\geq 70$ km/klst.
Miðja bæja og borga, svæði með mikinn íbúapétteleika	400 – 600 m þar sem hraðinn er lágur og íbúapétteleiki mikill	900 – 1.200 m	-



## 5.5 Útfærsla biðsvæða

Útfærsla á biðsvæðum fyrir hágæða almenningssamgöngur getur skorið úr um ágæti kerfisins. Sökum mikilvægi þess hafa verið gerðar mjög margar hönnunarleiðbeiningar sem snýr að þessum atriðum. Helstu atriði sem taka gæti þurft tillit til má sjá í upptalningu hér að neðan:

- Breidd biðsvæða
- Breidd sérrýmis við biðstöðvar
- Þrepalaust aðgengi af biðsvæði í vagn
- Hönnun, gerð og breidd göngusvæða, aðgengi fyrir alla
  - Almennt yfirborð
  - Leiðarlínur
- Öryggissvæði (inn- og útgöngusvæði) og merking þess
  - Mögulega hurðir milli biðsvæða og vagna (e. *platform screen doors*)
- Svæði fyrir biðskýli og aðra muni
- Svæði aftan biðskýlis
  - Við akbraut
  - Við hjólastíg
  - Við gangstétt
- Rampur af biðsvæði að þverun
- Afvötnun biðsvæðis
  - Hliðarhalli
  - Langhalli
- Útbúnaður
  - Biðskýli
    - Kvaðir um útbúnað
  - Bekkur
  - Miðavél
  - Upplýsingatafla/skjáir
    - Rauntímaupplýsingar
  - Ruslatunnur
  - Tré og/eða gróður
  - Grindverk
  - Lýsing
- Fjarlægð milli biðsvæðis og spora
- Sýnileiki stöðva
- Biðstöðvar án biðpalla
- Afkastageta biðstöðva
  - Biðsvæði
  - Göngusvæði

Ítarlegri útlistun á kröfum fyrir biðstöðvar má m.a. sjá í eftirfarandi hönnunarleiðbeiningum:

- Kafla 6.4.3 í hönnunarleiðbeiningunum „Kollektiv bustrafik og BRT“ frá Danmörku
- Kafla 4 (og aðeins í kafla 3) í „Standsningssteder for letbaner“ frá Danmörku
- Kafla 3.4 í „Færdselsarealer for alle“ frá Danmörku
- Kafla 4 í handbók V123 „Kollektivhåndboka“ frá norsku Vegagerðinni
- Kafla 4.7 í sænsku „Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på BRT“
- Kafla 2.7.9 og 3 í sænsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir léttlest í Skáni, „Projekterings-anvisningar för spårväg i Skåne“.

## 6. Óvarðir vegfarendur

Mikilvægt er að ætíð sé vel hugað að samspili hágæða almenningssamgangna við óvarða vegfarendur, eins og gangandi og hjólandi. Sökum þess taka flestar hönnunarleiðbeiningar vel á þeim atriðum sem snerta samspil þessara faramáta. Hér að neðan er upptalning á atriðum sem huga verður að og snerta mismunandi hópa óvarða vegfarenda, en er þó ekki endilega tæmandi listi.

- Aðgengi fyrir alla
  - Prepalaust aðgengi milli biðstöðvar og vagns
  - Aðgengi tryggt þeim sem hafa skerta hreyfigetu
  - Öruggt aðgengi tryggt blindum og/eða sjónskertum
  - Upplýsingagjöf fyrir heyrnalaus
- Hjólandi
  - Hjólastígar við biðstöðvar og tenging við hjólastíganet
  - Hjólastígar aðskildir sérrými almenningssamgangna
  - Þveranir hjólaleiða yfir sérrými almenningssamgangna
  - Sértekar aðgerðir, s.s. gúmmíþylling í spor léttlesta
- Gangandi
  - Tengingar frá biðstöðvum að göngustíganeti
  - Gönguþveranir yfir sérrými á biðstöðvum
  - Gönguþveranir yfir svæði annarra umferðarmáta við biðstöðvar
  - Aðskilnaður gangandi frá almenningssamgöngum
- Tenging við aðra samgöngumáta
  - Bike-and-ride (B+R)
  - Park-and-ride (P+R)

Hægt er að finna ítarlegri útlistun á því sem taka þarf tillit til í hinum ýmsu hönnunarleiðbeiningum, sem dæmi má nefna:

- Kafla 7 í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Letbaner på strækninger“
- Köflum 3.1.6, 4.2-4.5, 5 og 8.1 í danska „Standsningssteder for letbaner“
- Almennt í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Færdselsarealer for alle“

## 7. Hönnunarreglur – Grunnatriði

Í Svæðisskipulagi höfuðborgarsvæðisins 2015-2040 er kveðið á um að Borgarlínan verði annað hvort BRT eða LRT (Samtök sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu, 2015), og í Aðalskipulagi Reykjavíkur 2010-2030 kemur fram að í því sérými sem tekið er undir hágæða almenningsamgöngur eigi að vera hægt að byggja léttlest síðar (Umhverfis- og skipulagssvið Reykjavíkurborgar, 2013). Af því leiðir að mikilvægt er að hönnun hágæða almenningsamgangna á höfuðborgarsvæðinu sé fyrir hvoru tveggja; BRT og LRT kerfi.

Almennt eru LRT kerfi hönnuð með hönnunarlest sem hefur ákveðna eiginleika sem ráðast af staðháttum, þ.e.a.s. háð þeim brekkum sem fyrir eru í landslaginu og því rými sem gefst af þeirri byggð sem fyrir er. Þar af leiðandi eru almennt ekki til stakar hönnunarleiðbeiningar sem gilda fyrir heilt land, heldur tekur hönnun mið af hverju kerfi fyrir sig og lestarnar smíðaðar sérstaklega til að uppfylla kröfur hvers kerfis. Hönnun kerfanna tekur þó mið af ákveðnum grunnstærðum. Almenn sátt ríkir í Evrópu um að þýski staðallinn BOStrab (Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz, 2016) leggi ákveðnar grunnreglur um bæði mannvirki og rekstur fyrir léttlestir. Hönnunarreglur þær sem listaðar eru upp í þessum kafla uppfylla því BOStrab, nema annað sé tekið fram.

Eins og áður segir er sjaldgæft að innan landa séu til almennar hönnunarleiðbeiningar fyrir LRT kerfi, en þó eru til danskar leiðbeiningar um hönnun fyrir léttlestir (hér stýtt sem DK-LRT), sem horft verður til ásamt tilmælum við hönnun léttlestarkerfa á Skáni í Svíþjóð (SE-LRT). Fyrir BRT kerfi verður horft til leiðbeininga fyrir hágæða strætisvagnakerfi frá Danmörku (DK-BRT), Noregi (NO-BRT) og Svíþjóð (SE-BRT).

Í kafla 6.2.1. í dönsku handbókinni fyrir strætisvagnsamgöngur (Vejregler, 2016a) er tekið fram að meta skuli hvort ekki sé arðbærara að flýta framkvæmdum á LRT kerfi í stað þess að hanna BRT kerfi sem mögulega eigi að uppfæra síðar í LRT. Fyrir þessu liggja nokkrar ástæður, svo sem að erfitt er að spá fyrir um þróun LRT kerfa. Þá er átt við að erfitt að meta hvort LRT kerfi framtíðarinnar hafi t.a.m. rafmagnsvíra ofan teina sem orkugjafa eða hvort komnar verði aðrar lausnir, sem og sá viðbótarkostnaður sem felst í því að byggja kerfi með öllum hönnunarstærðum sem stærstum.

Þá er hvert LRT kerfi hannað fyrir léttlest sem hefur ákveðna eiginleika sem ræðst af því kerfi sem byggt er, m.ö.o. þá virka léttlestar úr einu kerfi ekki endilega í öðru.

Í kafla 1.4.5. í tveimur dönskum handbókum fyrir hönnun léttlesta (Letbaner på strækninger, og Standsningssteder for letbaner) frá nóvember 2016 eru listaðir upp þær hönnunarstærðir léttlesta sem eru stærri en hönnunarstærðir strætisvagna. Þær eru eftirfarandi (Vejregler, 2016c) (Vejregler, 2016d):

- Beygjuradíusar verði eins stórir og mögulegt, minnstu radíusar taki mið af hönnun fyrir léttlestir
- Langhallar taki mið af þörfum léttlesta
- Mjúkar breytingar á stefnubreytingum, bæði lárétt og lóðrétt
  - Tryggja nægt bil milli beygja, bæði lárétt og lóðrétt
  - Notkun klótóíða fyrir lárétta planlegu
- Biðstöðvar verði staðsettar eftir fremsta megni á beinu spori, ekki í beygju
- Fríhæð (og -breidd í beygjum) taki mið af þörfum léttlesta
- Burðargeta mannvirkja, t.a.m. nýrra brúa, taki mið af léttlestum sem hafa öxulþunga á bilinu 10 til 15 tonn.

Þá er einnig tekið fram að sé BRT kerfi hannað eftir stöðlum fyrir léttlestir, verði þjónustuhraði kerfisins hærrí og þægindin meiri á þeim tíma sem kerfið er þjónað af strætisvögnum. Þær hönnunarstærðir léttlesta sem nefndar eru í þessum kafla miðast við staðlaða sporvidd (1.435 mm) og á orðið „miðlína“ við um miðlínu þess spors sem hafur takmarkandi stærð.

## 7.1 Planlega

Við hönnun léttlesta þarf ætíð að hafa í huga að sveiflur sem myndast á stefnu lestar vegna breytinga á henni nái að hverfa milli tveggja breytinga á stefnu lestanna. Þverskurður af hjólum léttlesta er kónískur og breiðastur innst næst flangs og þau leita því að náttúrlegu jafnvægi eftir stefnubreytingar, sé nægilega langt að næstu stefnubreytingu eða breytingin „mjúk“. Annars myndast hætta á að lestin fari af sporinu. Þetta gerir það að verkum að kröfur eru settar á bæði minnstu beinu kafla milli beygja, minnstu beygjulengdir og klótóíður í beygjum.

### 7.1.1 Stystu lengdir beygja og beinna kafla

Verði breyting á stefnu léttlesta á skrið-hraða (e. *creeping*), tekur það hið minnsta fjarlægðina milli axla undirvagnsins (e. *bogie*) að rétta af stefnu á beinum legg og fjarlægðina milli miðju tveggja undirvagna í beygju. Hámarks leyfilega fjarlægð milli axla á undirvagni er 1,8 m og hámarks leyfilega fjarlægð milli miðju tveggja undirvagna er 7,8 m. Ekki er mælt með að þessar stærðir séu notaðar fyrir hraða yfir u.þ.b. 20 km/klst. og u.þ.b. 40 km/klst. í áður nefndri röð.

Sænsku hönnunarleiðbeiningarnar, sem gerðar voru fyrir fyrirfram ákveðna tegund lestar hvetja hönnuði til að miða við að engin lengd sé minni en 15 m, en í algjörum undantekningartilfellum það sem stærra er;  $L_{\min} = \frac{V}{10}$  eða 6 m.

Ef spor liggur í muldu bergi (e. *ballast track*) er mælt með að beygjur séu ekki styttri en 25 m.

Dönsku og sænsku hönnunarleiðbeiningarnar mæla með því að notast sé við jöfnu (7.1) við útreikning á stystu beinu köflum og beygjum, sem miðast við 2 sekúndna ferðatíma:

$$L = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,57 \cdot V \\ 12,0 \text{ m-dk}, 15,0 \text{ m-se} \end{array} \right. \quad (7.1)$$

Þar sem:

$$L = \text{Lengd beins kafla / beygju [m]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

Samantekt af stystu beinu köflum og beygjulengdum má sjá í töflu 3.

Tafla 3 – Samantekt stystu beinu kafla og beygja [m]

	Hönnunarhraði [km/klst.]						
	10	20	30	40	50	60	70
Stystu beinu kaflar og beygjur – mælt með [m]	12/15*	12/15*	17	23	29	34	40
Stystu beinu kaflar – undantekning [m]	1,8/6*	1,8/6*	-	-	-	-	-
Stystu beygjur – undantekning	7,8	7,8	7,8	7,8	-	-	-
Stystu beygjur – ballast	25	25	25	25	29	34	40

\* Minnsta gildi dönsku leiðbeininga / minnsta gildi sænsku leiðbeininga

Sé ekki unnt að tryggja minnsta beina kafla milli beygja ætti að íhuga að vera með tvo öfuga radíusa tengda saman með klótóíðu (S-beygju).

## 7.1.2 Beygjuradíusar

Samkvæmt skandinavísku hönnunarleiðbeiningunum er minnsti beygjuradíus fyrir BRT vagna á bilinu 10-15 m, hins vegar eru kröfur á beygjuradíusa léttlesta meiri.

Hægt er að gera beygjur léttlesta ýmist með sniðhalla, þ.e. að spor halli inn í beygjuna, eða án. Beygjur með sniðhalla geta verið krappari (með minni radíus) en þær sem ekki hafa sniðhalla, sé tekið tillit til hönnunarhraða, en krefjast klótóíðu.

Mikilvægt er að reyna að halda beygjuradíusum sem stærstum, þar sem krappari beygjur minnka þjónustuhraða, draga úr þægindum farþega, auka hljóð- og svifryksmengun og auka viðhald.

Minnstu beygjuradíusar eru háðir hönnun undirvagna og stærð hjóla. Algengt er að minnstu mögulegu beygjuradíusar léttlesta séu 10-16 m, en þó er mælt harðlega gegn því að notaðir séu svo litlir beygjuradíusar. Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar mæla t.a.m. með því að notast sé við 50 m beygjuradíus þar sem það er hægt, annars 25 m hið allra minnsta. Þá er einnig tekið fram að notast skal við minnstu gildi beygjuradíusa einungis ef búið er að útiloka aðrar leiðir.

Við útreikning á beygjuradíusum með eða án sniðhalla er horft á lárétta hliðarhröðun (e. *anc*). Mjög þægilegar leiðir lesta eru hannaðar með *anc* u.þ.b.  $0,5 \text{ m/s}^2$ , en neðanjarðarlestir sem þræða mjög krappar beygjur og í þröngu rými hafa *anc* u.þ.b.  $0,8 \text{ m/s}^2$ . Almenn er mælt til þess að lárétt hliðarhröðun léttlesta sé á þessu bili, og eru nýjar léttlestarlínur því oft hannaðar með *anc*  $0,65 \text{ m/s}^2$ , en sænsku leiðbeiningarnar gefa heimild til að miða við  $anc_{\max} = 0,98 \text{ m/s}^2$ .

Hægt er að taka upp hluta lárétta hliðarhröðunarinnar með sniðhalla (C, e. *Cant*), og ná þannig fram minni beygjuradíus en beygja á sama hraða án sniðhalla. Sniðhalli þarfnast þó „rampa“ þ.e. svæðis klótóíðu þar sem sniðhallinn er smám saman tekinn upp eftir því sem beygjan kreppist. Notkun á minnstu beygjuradíusum krefst þar af leiðandi klótóíðu sem hefur hið minnsta sömu lengd og sniðhallarampinn, eins og sýnt er á mynd 33.

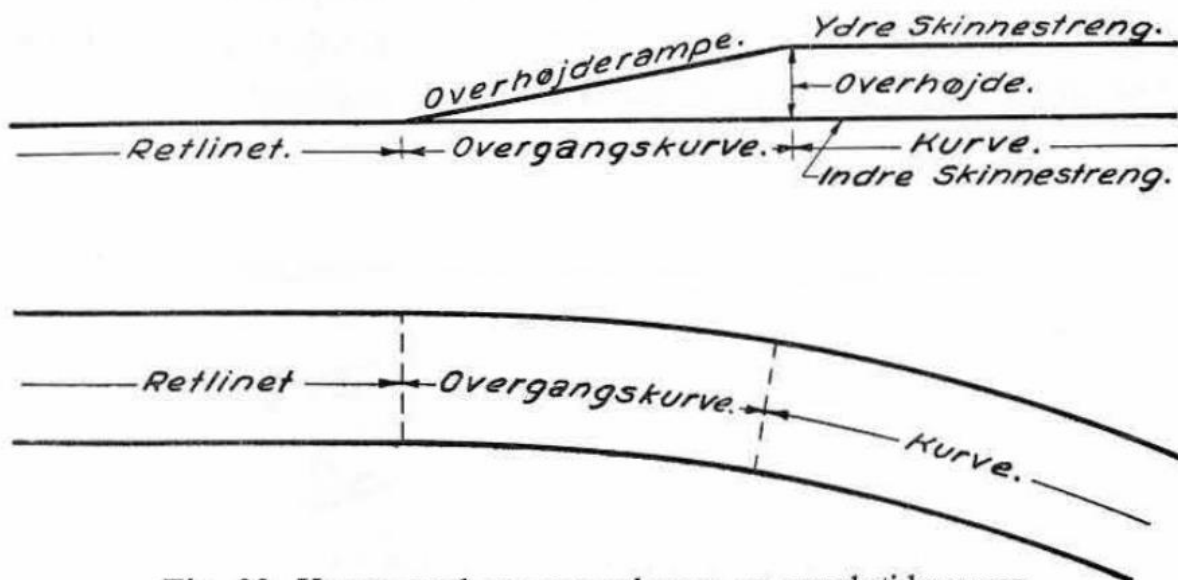


Fig. 33. Kurve með overgangskurve og overhøjderampe.

Mynd 33 – Tenging sniðhalla (overhøjde) við klótóíðu (overgangskurve) (Danske Statsbaner, 1965).

Dönsku leiðbeiningarnar mæla með að notað sé hið mesta 120 mm sniðhalli, sænsku mæla með 150 mm en hámarksgildi skv. BOStrab er 160 mm.

Ekki er mælt með því að taka upp alla lárétta hliðarkrafta með sniðhalla, því það kallar á mikinn sniðhallaramp og gæti haft slæm áhrif á lestir sem ferðast ekki á hönnunarhraða. Mælt er með því að miðað sé við að „óbættur sniðhalli“ ( $CD$ , e. *Cant Deficiency*) sé 25 mm, þ.e.a.s. að hæðarmunur á innri og ytri teini spors þyrfti að vera 25 mm meira svo farþegi í lest á sporinu upplifi alla miðflóttahröðun niður í sætið miðað við hönnunarhraða. Sé miðað við hæsta gildi af áður nefndu anc, er óbættur sniðhalli 100 mm.

Gilda þá jöfnur (7.2) & (7.3):

$$CD = C_{EQ} - C \quad (7.2)$$

þar sem

$$C_{EQ} = 11,82 \cdot \frac{V^2}{R} \quad (7.3)$$

Með eftirfarandi:

$C$  = Sniðhalli m.v. 1.435 mm milli teina (e. *Cant*) [mm]

$C_{EQ}$  = Jafnvæggissniðhalli (e. *Cant equilibrium*) [mm]

$CD$  = Óbættur sniðhalli (e. *Cant deficiency*) [mm]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

$R$  = Radíus beygju [m]

Sniðhalli er ætíð gefinn upp námundaður að næstu 5 mm.

Að lokum er notuð jafna (7.4) til útreikninga á hliðarhröðun m.t.t. hönnunarhraða:

$$a = \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{R} - g \cdot \frac{C}{D} \quad (7.4)$$

þar sem:

$a$  = Hliðarhröðun (anc) [ $m/s^2$ ]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

$R$  = Radíus beygju [m]

$g$  = Þyngdarhröðun [ $9,81 m/s^2$ ]

$C$  = Sniðhalli (e. *Cant*) [mm]

$D$  = Fjarlægð milli miðlína teina [1.503 mm – ef notað er við 1.435 mm sporvidd]

Algebra notuð til að einangra radíus beygju, þá fæst jafna (7.5):

$$R = \frac{\left(\frac{V}{3,6}\right)^2}{a + g \cdot \frac{C}{D}} \quad (7.5)$$

Í töflu 4 má sjá lágmarksbeygjuradíusa miðað við mismunandi samsetningar hönnunarhraða og sniðhalla, með  $a = 0,65 m/s^2$ .

**Tafla 4 – Lágmarks beygjuradíusar miðað við mismunandi samsetningar hönnunarhraða og sniðhalla [m]**

Sniðhalli** [mm]	Hönnunarhraði [km/klst.]						
	10	20	30	40	50	60	70
0	50/25*	50/47*	107	190	297	427	582
30	50/25*	50/36*	82	146	228	328	447
60	50/25*	50/30*	67	119	185	267	363
90	50/25*	50/25*	56	100	156	224	306
120	50/25*	50/25*	50/49*	86	135	194	264
160	50/25*	50/25*	50/41*	73	114	164	223

\*Miðað skal við 50 m beygjuradíusa eftir fremsta megni skv. dönsku leiðbeiningunum, 40 m skv. sænsku leiðbeiningunum. 25 m beygjuradíus skal einungis nota ef ekkert annað er hægt, t.a.m. í gatnamótum (sameiginlegt með hönnunarleiðbeiningum).

\*\*Sé sniðhalli meiri en 0 mm skal nota klótóíðu.

### 7.1.3 Breyting á radíus (klótóíður)

Klótóíður eru notaðar í margvíslegum tilgangi, og þar af leiðir að þörfin fyrir þær er mismunandi. Klótóíður veita notanda kerfisins þægilega breytingu á stefnu og lágmarka rykk. Þær eru ritaðar á eftirfarandi formi:

$$A^2 = R \cdot L \quad (7.6)$$

þar sem:

$A$  = Stærð klótóíðunnar [m]

$L$  = Lengd klótóíðunnar [m]

$R$  = Breyting á radíus klótóíðu [m]

Klótóíður verða hið allra minnsta að uppfylla minnstu lengd sem nefnd er í kafla 7.1.1 sem og lágmarkskröfur sem koma til vegna eftirfarandi atriða:

- Vegna rykks í lárétta stefnu
- Vegna sniðhallaramps
- Vegna sniðhalla
- Vegna óbætts sniðhalla

### 7.1.3.1 Vegna rykks í lárétta stefnu

Breyting á hliðarhröðun, þ.e. rykkur í lárétta stefnu, getur valdið farþegum óþægindum, skemmdum á teinum og jafnvel að flangs á hjóli broti af. Þennan rykk er því mikilvægt að halda í skefjum. Í dönsku hönnunarleiðbeiningunum er miðað við að hann sé undir  $0,3 \text{ m/s}^3$ , en má í allra verstu tilfellunum vera  $0,4 \text{ m/s}^3$ . Sænsku leiðbeiningarnar fyrir bæði léttlestir og BRT leyfa allt að  $0,67 \text{ m/s}^3$ , en mæla með  $0,4 \text{ m/s}^3$ .

Notuð er jafna (7.7) til að reikna rykk:

$$J = \frac{a_2 - a_1}{t_{1,2}} = \frac{a_2 - a_1}{L} \cdot \left(\frac{V}{3,6}\right) \quad (7.7)$$

Þar sem:

$$J = \text{Rykk-hraði} [\text{m/s}^3]$$

$$a_q = \text{Hröðun þvert (lárétt) í punkti q (sjá jöfnu (7.4)), ef stefnubreytingin byrjar í beygju er} \\ a_1 = 0 [\text{m/s}^2]$$

$$t_{1,2} = \text{Tími milli punkta 1 og 2 [s]}$$

$$L = \text{Lengd klótóíðu [m]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

### 7.1.3.2 Breyting á sniðhalla – stærð sniðhallarampa

Halli sniðhallarampa er reiknaður út frá hönnunarhraða með jöfnu (7.8):

$$CG = \frac{180}{V} \quad (7.8)$$

Þar sem:

$$CG = \text{Halli sniðhallarampa [mm/m]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar mæla ekki með því að halli sniðhallarampans sé meira en  $3 \text{ mm/m}$  eða  $1:333$ , en allra mesti leyfilegi halli eru  $4 \text{ mm/m}$  eða  $1:250$ . Sænsku leiðbeiningarnar eru strangari og leyfa allt að  $2,5 \text{ mm/m}$  eða  $1:400$  í undantekningartilfellum.

### 7.1.3.3 Breyting á sniðhalla – hraði

Sá hraði sem farþegar upplifa á breytingu á sniðhalla má ekki vera of hraður. Hraðinn er reiknaður með jöfnu (7.9):

$$RoC = \frac{V \cdot C}{3,6 \cdot L} \quad (7.9)$$

Þar sem:

$$RoC = \text{Hraði breytinga á sniðhalla (e. Rate of cant) [mm/s]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

$$C = \text{Sniðhalli [mm]}$$

$$L = \text{Lengd sniðhallarampa [m]}$$

Mælt er með að hraði breytinga á sniðhalla fari ekki yfir  $35 \text{ mm/s}$ , þó í undantekningartilfellum mest  $55 \text{ mm/s}$ .



#### 7.1.3.4 Breyting á óbættum sniðhalla – hraði

Óþægindi geta skapast ef breyting á óbættum sniðhalla er of skörp, því eru settar skorður á hraða breytinga á óbættum sniðhalla. Hraðinn er reiknaður með jöfnu (7.10):

$$RoCD = \frac{V \cdot CD}{3,6 \cdot L} \quad (7.10)$$

þar sem:

$RoCD$  = Hraði breytinga á sniðhalla (e. Rate of cant deficiency) [mm/s]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

$L$  = Lengd sniðhallarampa [m]

Mælt er með að hraði breytinga á óbættum sniðhalla fari ekki yfir 35 mm/s, þó í undantekningartilfellum mest 61,17 mm/s.

## 7.2 Hæðarlega

Almennt er mælt með að lestarstöðvar og gatnamót séu í hápunkti, þannig að hægt sé að nota hallann til bæði að stytta hemlunar- og hröðunarvegalegd og einnig til að lágmarka orkunotkun.

### 7.2.1 Minnstu lengdir eininga beygja og beinna kafla

Rétt eins og með planlegu verður að tryggja að lestum gefist færi á að jafna sig á stefnubreytingum í hæð, en þó einnig að tryggja þægindi farþega.

Sænskar leiðbeiningar mæla með að nota ætíð minnst 15 m langa beina kafla og beygjur, en í algjörum undantekningartilfellum 6 m (sjá umræðu í kafla 7.1.1).

Í dönsku hönnunarleiðbeiningunum er mælt með að minnsta lengd beinna kafla í hæð fylgi jöfnu (7.11), sem miðar við 1,5 sekúndu ferðatíma:

$$L = \frac{V}{2,4} \quad (7.11)$$

þar sem:

$L$  = Lengd beins kafla í hæð [m]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

Fyrir hæðarboga eru í dönsku leiðbeiningunum einungis gerðar kröfur á lengd boga þar sem hönnunarhraði er 25 km/klst. eða meiri. Lengd hæðarboga má finna með eftirfarandi jöfnu (7.12):

$$LVC = R \cdot \frac{\Delta s}{1000} \quad (7.12)$$

þar sem:

$LVC$  = Lengd hæðarboga (e. *Length of Vertical Curve*) [m]

$R$  = Radíus hæðarboga [m]

$\Delta s$  = Hæðarbreyting sem tekin er upp í boganum [%]

Kröfurnar sem dönsku leiðbeiningarnar setja á lengd hæðarboga á kafla með hönnunarhraða yfir 25 km/klst. og miðast við 1,5 sekúndna ferðatíma, eru eftirfarandi:

$$LVC_d \geq \frac{V}{2,4} \quad (7.13)$$

þar sem:

$LVC_d$  = Eskileg lengd hæðarboga [m]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

### 7.2.2 Stöðvunar- og mætisjónvegalengdir

Einn helsti kostur sporbundinna samgangna umfram vegbundinna er umtalsvert minna viðnám ökutækis við jörð, sem þýðir að sporbundnar samgöngur eru hagkvæmari kostur orkulega séð á hvern einstakling í sambærilegum ökutækjum. Þrátt fyrir minna viðnám er hemlunarhröðun léttlesta í venjulegri notkun u.þ.b. 1 m/s<sup>2</sup> og nauðhemlun um 3 m/s<sup>2</sup>. Sem þumalputtareglu má gera ráð fyrir að nauðhemlunarhröðun minnki sem samsvarar 0,1 m/s<sup>2</sup> fyrir hvert 1% sem halli er neikvæður, þ.e.a.s. í 4% halla verði nauðhemlunareiginleikar léttlestar 2,6 m/s<sup>2</sup>. Miðað er við 3,7 m/s<sup>2</sup> nauðhemlun við útreikninga á stöðvunarsjónvegalegdum í dönsku hönnunarleiðbeiningunum fyrir bílaumferð (og þar með einnig BRT) á beinum vegum og viðbragðstíma upp á 2 sekúndur.

Sænsku leiðbeiningarnar fyrir léttlestir miða þó ekki við nauðhæmlunareiginleika, heldur almenna virknihemlun upp á  $1,2 \text{ m/s}^2$ , en styttri viðbragðstíma, eða 1,5 sekúndur. Norsku leiðbeiningarnar gefa ekki upp hvernig stöðvunarsjónvegalengd sé fundin, heldur er tafla með mismunandi vegtýpum og fyrirfram ákveðnum stöðvunarsjónvegalengdum.

Útreikningar á stöðvunarsjónvegalengd fylgja eftirfarandi jöfnu (7.14):

$$L_{\text{stop}} = L_{\text{re}} + L_{\text{br}} \quad (7.14)$$

Þar sem:

$$L_{\text{stop}} = \text{Stöðvunarsjónvegalengd [m]}$$

$$L_{\text{re}} = \text{Viðbragðslengd [m]}$$

$$L_{\text{br}} = \text{Hæmlunarvegalengd [m]}$$

Viðbragðslengd er reiknað með jöfnu (7.15):

$$L_{\text{re}} = \frac{V}{3,6} \cdot t_{\text{re}} \quad (7.15)$$

Þar sem:

$$L_{\text{re}} = \text{Viðbragðslengd [m]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

$$t_{\text{re}} = \text{Viðbragðstími [s]}$$

Hæmlunarvegalengdin fæst svo með jöfnu (7.16):

$$L_{\text{br}} = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot (\mu + i_t) \cdot 3,6^2} \quad (7.16)$$

Þar sem:

$$L_{\text{br}} = \text{Hæmlunarvegalengd [m]}$$

$$V = \text{Hönnunarhraði [km/klst.]}$$

$$g = \text{Þyngdarhröðun [9,81 m/s}^2]$$

$$\mu = \text{Hægt er að skrifa sem } \mu = a/g, \text{ þar sem } \mu \text{ er meðal núningsviðnám frá hönnunarhraða að kyrrstöðu. Mismunandi eftir dekkjum, undirlagi og hvort um sé að ræða í beygju eða á beinum kafla [-]. Loks er } a \text{ hæmlunarhröðun [m/s}^2]$$

$$i_t = \text{Veghalli, upp í móti er jákvætt, niður er neikvætt [-]}$$

Mætisjónlengdir eru ætíð tvöfaldar stöðvunarsjónvegalengdir.

Tafla 5 – Stöðvunarsjónvegalengdir mismunandi hönnunarleiðbeininga miðað við mismunandi halla á vegi [m]

Hönnunarleiðbeiningar	Halli	Hraði [km/klst.]									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
DK-LRT	+50‰	7	16	27	40	55	73	93	115	139	166
	0‰	7	16	28	43	60	80	102	127	154	184
	-50‰	7	17	31	47	66	89	115	143	175	210
DK-BRT	+50‰	6	15	25	37	51	66	84	103	125	148
	0‰	7	15	26	39	54	71	90	111	134	160
	-50‰	7	16	27	41	58	77	98	121	147	176
DK-BRT í beygju	+50‰	7	16	26	39	53	69	87	107	128	151
	0‰	7	16	28	42	57	75	94	116	139	164
	-50‰	7	17	30	45	62	82	103	127	153	182
SE-LRT	+50‰	6	16	30	48	69	95	124	157	194	235
	0‰	7	19	36	58	85	118	155	198	246	299
	-50‰	10	30	61	104	157	221	296	381	478	585
NO-BRT	+50‰			20	33	43	66	87	106	157	
	0‰			20	33	45	70	93	115	175	
	-50‰			20	33	47	75	101	127	202	

### 7.2.3 Hámarkslanghali

Almennt geta léttlestir höndlað langhalla að 100‰ og strætisvagnar svipað, en almennt er mælt mjög gegn því að notaður sé slíkur halli. Í töflu 6 hér að neðan má sjá samantekt frá nokkrum mismunandi stöðlum, vakinn er athygli á að hér var einnig skoðuð léttlest frá Zurich í Sviss (Verkehrsbetriebe Zürich, 2014). Sporvidd þeirrar léttlestar er 1.000 mm, en það hefur ekki áhrif á hámarkslanghalla.

Tafla 6 – Mismunandi hámarkslanghalla [%]

	Léttlest			BRT/vegir		
	Danmörk	Svíþjóð	Sviss	Danmörk	Noregur	Svíþjóð
Mælt með	40	40	30	60	60	60
Undantekning fyrir þægindi farþega	60*	60	70	60	80	
Undantekning sem lest/vagn þolir	100		80	70	80	90
Á biðstöð - mest	40	17	30		40	
Á biðstöð – mest, undantekning		19				

\* Mest á 15 m kafla.

Í stöðlum fyrir léttlestir á norðurlöndum er enn fremur tekið fram að sé spor í malbiki verður að tryggja afvötnun úr spori með langhalla á bilinu 5-10‰.

Um beina kafla langhalla gildir það sama og um aðrar stærðir, fylgja verður kafla 7.1.1 um stystu lengdir.

### 7.2.4 Hæðarbreytingar án rádíus

Flestar hönnunarleiðbeiningar leyfa lítil brot í hæðarlegu, sem þó er mismunandi eftir bæði ferðamáta og stöðlum. Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir léttlestir leyfa t.a.m. að hæðarlegu sé breytt án hæðarboga, sé breytingin 1‰ eða minna og fyrir BRT ber hönnun að taka mið af hönnunarökutæki. 12 metra ökutæki getur t.a.m. leyft brot í legu upp á allt að 60‰ í háboga og allt að 100‰ í lágboga. Hæðarbreytingar án rádíus geta, eins og gefur að skilja, einungis verið þar sem hönnunarhraði er skriðhraði.

### 7.2.5 Rádíusar há- og lágboga

Sænsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir BRT gefa rádíusum lit; grænan, gulan eða rauðan, eftir þeim gæðum sem þeir uppfylla fyrir annars vegar hönnunarhraða upp á 50 km/klst. og hins vegar 70 km/klst.

Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir BRT leggja til að nota sömu viðmið á stærð há- og lágboga og notuð eru fyrir almenna umferð þar sem umferð strætisvagna er, þegar hönnunarhraðinn er yfir 40 km/klst. Á stöðum þar sem hönnunarhraðinn er minni verði að horfa til akstursferla, en þó aldrei minni en 60 m fyrir bæði há- og lágboga. Af þessu leiðir að nota má hæsta gildi eftirfarandi jöfnum, eða 60 m, sem við á:

$$R_{v, \min} = 2 \cdot \left(\frac{V}{3,6}\right)^2 \quad (7.17)$$

$$R_{\text{háabogi, min}} = \frac{L_s^2}{2 \cdot (\sqrt{h_{\text{augn}}} + \sqrt{h_{\text{hlutur}}})^2} \quad (7.18)$$

$$R_{\text{lágbogi, min}} = \frac{L_s^2}{2 \cdot (\sqrt{h_{\text{frí}} - h_{\text{augn}}} + \sqrt{h_{\text{frí}} - h_{\text{hlutur}}})^2} \quad (7.19)$$

Þar sem:

$R_{\min}$  = Minnsti radíus há- eða lágboga [m]

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

$L_s$  = Viðmiðunarsjónvegalegd; mælt er með mætisjónlengd en verður að vera í það minnsta stöðvunarsjónvegalegd [m]

$h_{\text{augn}}$  = Augnhæð bílstjóra; er 1 m fyrir hönnunarökutæki á háboga, en 2,5 m fyrir hönnunarökutæki lágboga

$h_{\text{hlutur}}$  = Hæð hlutar á vegi; mælt er með 1 m háum hlut, en í það minnsta 0,25 m háum.

$h_{\text{frí}}$  = Fríhæð ökutækis; 4,50 m.

Norsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir BRT og vegi gefa ekki upp jöfnu til að reikna út lágmarksboga, heldur eru gildi þeirra fengin úr töflum fyrir hönnun á mismunandi tegundum vega.

Allra minnsti hábogi sem léttlestar geta farið yfir skv. BOStrab er 700 m, en 350 m lágboga. Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir léttlestar mæla þó með að notast sé við minnsta gildi 600 m fyrir lágboga. Þá ætti að miða við að hröðun farþega verði ekki meiri en  $0,2 \text{ m/s}^2$ , en megi vera  $0,3 \text{ m/s}^2$  í undantekningartilfellum. Fyrir lengri háboga og hönnunarhraða yfir 35 km/klst., þar sem lengd bogans er meira en tvöföld stöðvunarsjónvegalegd þarf að nota jöfnu (7.18) til að reikna lágmarksradíus boga vegna sjónvegalegda, með  $h_{\text{augn}} = 1,5 \text{ m}$  &  $h_{\text{hlutur}} = \begin{cases} 0,15 \text{ m} & \text{Stöðvunarsjónvegalegd} \\ 1 \text{ m} & \text{Mætisjónlengd} \end{cases}$ .

Ekki er æskilegt að hafa há- eða lágboga ef klótóiða er í plani.

Hönnunarleiðbeiningar fyrir léttlestir nota almennt jöfnu (7.20) til að reikna minnsta radíus í hæð út frá hraða:

$$R_{v, \min} = \gamma \cdot V^2 \quad (7.20)$$

Þar sem:

$R_{\min}$  = Minnsti radíus há- eða lágboga [m]

$\gamma$  = Takmarkandi stærð. Í dönsku leiðbeiningunum er mælt með 0,386 en í undantekningartilfellum 0,257. Sænsku hönnunarleiðbeiningarnar miða við 0,4.

$V$  = Hönnunarhraði [km/klst.]

Þá er nefnt að mælt sé með að há- og lágbogar hafi aldrei radíus minni en 1.000 m, en þó nefnt að í undantekningartilfellum megi nota radíus 625 m.

Tafla 7 – Hámarks há- og lágbogar mismunandi hönnunarleiðbeininga

		Hönnunarhraði [km/klst.]						
		10	20	30	40	50	60	70
Hábogi	SE - BRT grænn					1.500		5.000
	SE - BRT gulur					1.300		3.500
	SE - BRT rauður					625		625
	DK - BRT mælt með	60	130	380	860	1.680	2.940	4.790
	DK - BRT undantekning	60	65	140	250	390	680	1.110
	NO - BRT mælt með			300		1.100	1.200	
	NO - BRT undantekning			150		400	1.100	
	DK - LRT mælt með	700	700	700	700	975	1.400	1.900
	DK - LRT undantekning	700	700	700	700	700	925	1.260
	DK - LRT mælt með löng	700	700	700	1.140	2.335	4.270	7.195
	DK - LRT undantekning löng	700	700	700	700	1.115	2.035	3.425
	SE - LRT mælt með	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.440	1.960
	SE - LRT undantekning	625	625	625	625	625	900	1.225
Lágbogi	SE - BRT grænn					1.500		5.000
	SE - BRT gulur					1.300		3.500
	SE - BRT rauður					625		625
	DK - BRT mælt með	60	65	140	250	480	840	1.370
	DK - BRT undantekning	60	65	140	250	390	560	760
	NO - BRT mælt með			300		1.100	1.200	
	NO - BRT undantekning			150		400	1.100	
	DK - LRT mælt með	600	600	600	620	975	1.400	1.900
	DK - LRT undantekning	350	350	350	415	645	925	1.260
	SE - LRT mælt með	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.440	1.960
	SE - LRT undantekning	625	625	625	625	625	900	1.225

### 7.2.6 Hliðarhalli

Afvötnun léttlesta er gerð með langhalla. Eiga samsíða sporin alltaf að vera í sömu hæð nema í beygju með sniðhalla. Í BRT kerfi þarf hins vegar að tryggja afvötnun og mæla þá flestar leiðbeiningar með að miðað sé við hliðarhalla á milli 25-30%, en geti í verstu tilfellum mest orðið mest 40% og minnst 20%.



## 7.3 Rýmisþörf

Samkvæmt BOStrab mega vagnar sem geta ferðast sporbundið í göturými (þ. *Straßenabhängiger Bahnen*) ekki vera breiðari en 2.650 mm frá spori að 3,4 m hæð (að speglum, blikkljósum og öðrum lausum munum undanskildum) og ekki breiðari en 2.250 frá 3,4 m hæð yfir spori að 4,0 m. Líttlestir mega ekki vera hærri en 4,0 m með straumsnertu (e. *pantograph*).

Líttlestar sem valdar voru á Hring 3 í Kaupmannahöfn, líttlestinni í Árósum, Bybanen í Bergen og skipulagðar líttlestir á Skáni í Svíþjóð eru allar 2.650 mm breiðar.

Samkvæmt 7 gr. íslensku reglugerðarinnar um stærð og þyngd ökutækja nr. 155/2007 má breidd ökutækis (að speglum, blikkljósum og öðrum lausum munum undanskildum) ekki vera meiri en 2,55 m. Ennfremur má hæð ökutækis ekki vera meiri en 4,2 m.

### 7.3.1 Breidd sérrýmis

#### 7.3.1.1 Grunnbreidd á beinum köflum

Skandinavísku hönnunarleiðbeiningarnar fyrir BRT eru frekar samstíga hvað varðar breidd BRT akreina. Almenn er mælt með 3,5 m einstefnu akreinabreiddar (7,0 m í tvístefnu) og að akreinar verði ekki mjórri en 3,25 m í einstefnu (6,5 m í tvístefnu).

Almennt eru í skandinavísku hönnunarleiðbeiningunum ekki settar kvaðir á fjarlægð BRT akreina frá annarri umferð, en þó er nefnt að fyrir BRT kerfi sé mælt með aðgreiningu með eyju. Aðgreining getur verið allt frá 0,20 m málningu og upp í miðeyjur með gróðri, umferðarskiltum og -ljósum. Í töflu 8 er listuð upp nauðsynleg breidd miðeyja til að bera umferðarskilti. Sammerkt með skandinavísku stöðlunum er að breidd miðeyju þurfi að vera 2-2,5 m á gatnamótum, eigi þær að virka sem hvíldarstaður fyrir gangandi vegfarendur.

Tafla 8 – Útreikningar á nauðsynlegri breidd miðeyju, svo hægt sé að nýta hana undir umferðarskilti (almennt úr skandinavískum stöðlum, danskar hönnunarleiðbeiningar þar sem ósamræmi gætir) [m]

	Hraði [km/klst.]						
	10	20	30	40	50	60	70
Fjarlægð frá kanti að skilti	0,3	0,3	0,5	0,5	1	3	3
Breidd skiltis	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
Minnsta heildarbreidd eyju	1,3	1,3	1,7	1,7	2,7	6,9	6,9

Sökum þess að líttlestir keyra í spori verður hreyfiprófíll þeirra fyrirsjáanlegur, og þar af leiðandi þurfa líttlestir minni breidd í landi fyrir svipaða breidd ökutækis í samanburði við vegbundna samgöngumáta. Grunnbreidd líttlesta stendur þar af leiðandi af vasanum umhverfis sjálfan vagninn (SD - 2.650 mm skv. BOStrab) og vasanum sem umlykur spegla og annan búnað utan vagna (DKF) og tekur tillit til þess að lestar rási á spori og þarfnist umframbreiddir í „kröppum“ beygjum ( $R < 10.000$  m – sjá kafla 7.3.1.2).

Skv. BOStrab verður að vera 2 m hátt og a.m.k. 60 cm breitt öryggissvæði milli DKF og akbrauta til að tryggja tæmingar lesta í neyðartilfellum á vegum og götum með hraða  $> 50$  km/klst. Til að tryggja að umrætt svæði sé ætíð laust og tilbúið til notkunar leggja flestar hönnunarleiðbeiningar til að vegrið eða gróður sé við enda öryggissvæðis næst annarri umferð, en við það gæti fjarlægð að akbraut aukist. Nota má akbraut sem öryggissvæði ef akrein samsíða er á götu með hraða  $\leq 50$  km/klst., en þá verður að bæta við ákveðinni fjarlægð milli DKF og akbrautar sökum hreyfingu ökutækja á akbraut. Samantekt stærða má sjá í töflu 9. Í borgarumhverfi er oftast ekki mikill þrýstingur á að lágmarka þversniðsbreidd samgöngurýmisins, svo finna má stærðir í dönsku- og sænsku hönnunarleiðbeiningunum sem eru minni en í BOStrab, en eiga engu að síður ekki að koma niður á öryggi.

Tafla 9 – Samantekt stærða hönnunarleiðbeininga fyrir léttlestir við samsetningu þversniða [mm]

		BOStrab	DK - Mælt með	DK - Lágmark	SE - Mælt með	SE - Lágmark
Grunneiningar	SD	2.650	2.650	-	2.650	-
	DKF	Fer eftir kerfi	150	-	300	-
Fjarlægð frá DKF:	að umferð á götum með hraða ≤ 50 km/klst.	150	200	150	775	400
	að umferð í gagnstæða átt á götum með hraða ≤ 50 km/klst.	150	200	150	1.400	-
	að næsta DKF án rafmagnsmasturs	100	200	100	50	-
	að rafmagnsmastri	150	150	100	150	-
	að hlut samsíða akstursstefnu, lengd <2,0 m	150	150	100	150*	-
	að hlut samsíða akstursstefnu, lengd >2,0 m	Sjá breiddir vegna neyðartæmingu			775*	-
	að öðrum vegmunum (s.s. skilta, tafla, umferðarstýringar, lýsingar og umferðarmerkja)	150	150	100	150	-
	að gangstétt	150	200	150	375	0
	að samsíða hjólastíg	150	200	150	775	400
	að hjólastíg í gagnstæða átt	150	200	150	1.400	-
	vegna neyðartæmingu - almennt	850	850	700	0**	0**
	vegna neyðartæmingu - á stuttu svæði, s.s. meðfram brúarstólpa eða rafmagnsmasturs	600	600	450	0***	0***
	<b>Breidd rafmagnsmasturs</b>	200	200	-	200	-

\* Lengdir samsíða hluta miðast við 1,0 m í sænsku leiðbeiningunum

\*\* Innifalið í fjarlægð að umferð á götum

\*\*\* Innifalið í "fjarlægð að hlut samsíða akstursstefnu, lengd >2,0 m", lengd >1,0 m í sænsku leiðbeiningunum

Sem dæmi um samsetningu þversniða má nefna 2 spor með rafmagnsmastur milli þeirra, staðsett í miðeyju á götu með hámarkshraða ≤ 50 km/klst. Þá þarf skv. BOStrab 2 x 2.650 mm í grunnbreidd lesta (SD) og 2 x 2 x DKF (sitt hvoru megin við hvort SD), 2 x 150 mm að götu með hraða ≤ 50 km/klst., 2 x 150 mm milli DKF og rafmagnsmasturs og loks 200 mm fyrir rafmagnsmastur. Sé miðað við danska DKF er því 6.700 mm milli akreina, en 6.600 mm sé miðað við minnstu breiddir í dönsku hönnunarleiðbeiningunum.

Sé hins vegar, í dæminu hér að ofan, um að ræða götu með skiltaðan hraða yfir 50 km/klst. mæla dönsku leiðbeiningarnar með 8.100 mm milli vegriða umferðar/gróðurs og í hið minnsta 7.700 mm.

### 7.3.1.2 Breiddaraukningar í beygjum

Ökutæki þurfa meira rými í beygjum en á beinum vegum. Fyrir ökutæki sem eru ekki sporbundin stafar breiddaraukningin helst af því að oftast er það einungis fremsti öxullinn sem beygir, sem veldur því að ferill afturhjóla verður ekki sá sami og ferill framhjóla. Breiddaraukningunni er þó einnig ætlað að taka tillit til þess að vagninn tekur meira rými en öxlar sökum bæði fjarlægðar frá öxli að fremsta/aftasta punkti vagns (e. overhang) og bili milli öxla. Fyrir sporbundnar samgöngur er fjarlægð öxla að fremsta/aftasta punkti vagns ástæða breiddaraukningar ytra megin við spor, en bil milli öxla ástæða breiddaraukningar á innri hlið.

Dönsku hönnunarleiðbeiningarnar birta töflu 10 sem sýnir lágmarksbreiddir akreina fyrir 13,7 m strætisvagna, sem tryggir 0,3 m viðbót á ytri akrein og 0,6 m bil milli ökutækja sem mætast í beygju.

**Tafla 10 – Minnsta breidd akreina eftir beyguradíus miðlínu og stærð beygju fyrir 13,7 m vagna skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum.**

Beyguradíus [m]	Stærð beygju $\alpha$ [gon]	Lágmarksbreiddir fyrir 13,7 m vagna [m]	
		Ytri akrein	Innri akrein
15	20	3,9	5,2
	40	4,2	5,8
	80	4,3	6,3
30	20	3,7	4,4
	40	3,8	4,6
	80	3,8	4,7
50	20	3,5	4,0
	40	3,5	4,0
	80	3,6	4,1
100	20	3,3	3,5
	40	3,3	3,6
	80	3,3	3,6
200	20	3,2	3,3
	40	3,2	3,3
	80	3,2	3,3

Norsku hönnunarleiðbeiningarnar sýna einfaldari töflu, sem á móti krefst breiðari þversniða en dönsku leiðbeiningarnar. Þar er gefin upp ákveðin breiddaraukning fyrir 2 akreinar sem fall af beyguradíus einungis, sjá í töflu 11.

**Tafla 11 – Breiddaraukning fyrir 2 akreinar strætisvagna [m] skv. norsku hönnunarleiðbeiningunum.**

Breiddaraukning [m]	Beyguradíus [m]									
	40	70	100	125	150	200	250	300	400	500
	2,7	1,5	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3

Til að finna breiddaraukningu á öðru en tveggja akreina vegum er notuð línuleg brúun, þ.e. helmingur af gildi töflunnar er notuð fyrir einnar akreinar veg og margfaldað með 2 fyrir 4-akreina veg.

Brot úr samantekt dönsku hönnunarleiðbeininganna frá þremur léttlestarverkefnum (Bybanen í Bergen, Luas í Dublin og Ring 3 í Kaupmannahöfn), sem sýnir hæstu og lægstu gildi breiddaraukningar fyrir valda beygjuradíusa má sjá hér að neðan í töflu 12.

**Tafla 12 – Hæstu og lægstu gildi fyrir breiddaraukningu í beygjum fyrir léttlestir - úr dönsku hönnunarleiðbeiningunum.**

Utan [m]		Beygjuradíus [m]	Innan [m]		Utan [m]		Beygjuradíus [m]	Innan [m]	
Max	Min		Max	Min	Max	Min		Max	Min
0,605	0,455	25	0,550	0,205	0,120	0,000	240	0,070	0,000
0,520	0,330	30	0,455	0,160	0,120	0,000	250	0,070	0,000
0,460	0,240	35	0,390	0,130	0,155	0,000	260	0,070	0,000
0,410	0,195	40	0,340	0,105	0,155	0,000	270	0,070	0,000
0,370	0,165	45	0,305	0,090	0,155	0,000	280	0,070	0,000
0,340	0,150	50	0,275	0,075	0,110	0,000	290	0,070	0,000
0,315	0,150	55	0,275	0,065	0,110	0,000	300	0,070	0,000
0,290	0,115	60	0,230	0,055	0,110	0,000	310	0,070	0,000
0,275	0,115	65	0,230	0,045	0,105	0,000	320	0,070	0,000
0,260	0,095	70	0,195	0,040	0,105	0,000	330	0,070	0,000
0,250	0,095	75	0,195	0,030	0,105	0,000	340	0,040	0,000
0,235	0,075	80	0,170	0,025	0,100	0,000	350	0,040	0,000
0,225	0,075	85	0,170	0,020	0,100	0,000	360	0,040	0,000
0,215	0,060	90	0,155	0,020	0,100	0,000	370	0,040	0,000
0,205	0,060	95	0,155	0,015	0,095	0,000	380	0,040	0,000
0,200	0,050	100	0,140	0,010	0,095	0,000	390	0,040	0,000
0,195	0,050	110	0,140	0,000	0,095	0,000	400	0,040	0,000
0,185	0,030	120	0,110	0,000	0,090	0,000	410	0,040	0,000
0,175	0,030	130	0,110	0,000	0,090	0,000	420	0,040	0,000
0,165	0,030	140	0,110	0,000	0,090	0,000	430	0,040	0,000
0,165	0,020	150	0,090	0,000	0,085	0,000	440	0,040	0,000
0,150	0,020	160	0,090	0,000	0,085	0,000	450	0,040	0,000
0,145	0,020	170	0,090	0,000	0,085	0,000	460	0,040	0,000
0,140	0,020	180	0,090	0,000	0,080	0,000	470	0,040	0,000
0,140	0,020	190	0,090	0,000	0,080	0,000	480	0,040	0,000
0,135	0,000	200	0,070	0,000	0,080	0,000	490	0,040	0,000
0,130	0,000	210	0,070	0,000	0,075	0,000	500	0,040	0,000
0,125	0,000	220	0,070	0,000	0,070	0,000	550	0,040	0,000
0,125	0,000	230	0,070	0,000	0,065	0,000	600	0,040	0,000

Í beygjum léttlesta með sniðhalla þarf einnig að bæta við innanvert þversniðið þeirri breidd sem til kemur sökum þess að vagninn hallar inn í beygjuna (efra innanvert horn vagns). Nálga má þessa breiddaraukningu með eftirfarandi jöfnu:

$$W_c = \frac{C}{1.503} * 3.400 \quad (7.21)$$

þar sem:

$W_c$  = Breiddaraukning þversniðs sökum sniðhalla [mm]

$C$  = Sniðhalli [mm]

Breiddaraukning vegna beygju léttlesta er oftast bætt línulega við á 10 – 15 m kafla fyrir klótóíðu.

Yfirleitt er vel hugað að breiddaraukningu vegna beygja þar sem hönnunarhraðinn er jafn eða yfir skiltuðum hraða. Hins vegar er oftast horft fram hjá og ekki kosið að taka tillit til þess þegar afturendi vagna sveiflast út, sér í lagi við krappar beygjur, enda er það sjaldan til trafala sökum breiðs öryggissvæðis og breiðra akreina.

Séu hins vegar einhverskonar manir eða veggir meðfram sérrými þarf að huga að vagnar rekist ekki á slíkt þar sem það á við. Þetta á sér í lagi við á biðstöðvum, þar sem efsti hluti biðpalla er í sömu hæð og gólf vagnanna. Þar af leiðir t.a.m. að ekki er hægt að vera með krappar beygjur á sérrými sem hefjast innan vagnlengdar frá biðstöðum og biðpöllum, sem eru m.a. ein af orsökum þess að ekki er hægt að vera með strætóvasa í sérrými hágæða almenningsamgangna.

Heildarsveifla afturenda ökutækja ræðst af fjarlægð aftasta öxuls að afturenda, og fyrir vagna á gúmmihjólum einnig hve mikið, ef eitthvað, sá öxull getur beygt. Danir hafa tekið saman algengar stærðir, sem nýta mætti við áætlun á sveiflu afturenda vagna, og birt á ljósmynd í hönnunarleiðbeiningum fyrir strætisvagna- og BRT kerfi, sem sjá má hér að neðan.



Mynd 34 - Sveifla afturenda strætisvagna við krappar beygjur

### **7.3.1.3 Breiddarminnkanir við biðstöðvar**

Fjarlægð frá aðvörunarhellum fyrir gangandi að kanti biðpalla á að vera jöfn summu DKF og fjarlægðar frá DKF að gangstétt, en skv. dönsku hönnunarleiðbeiningunum ætti þessi fjarlægð að vera 350 mm, sem svo dragast frá virkri breidd biðpalla. Hurðir léttlestarvagnanna eiga svo að nema við kant biðpallsins. Milli biðpalla, á biðstöð með tveimur sporum, verður því að vera rými fyrir 2 léttlestir, 2 DKF og eitt bil milli DKF, samtals 5,8 m. Sé hins vegar rafmagnsmastur á milli vagna bætist við breiddir vegna fjarlægðar DKF að rafmagnsmöstrum og breidd vegna þeirra, samtals 6 m.

Samkvæmt hönnunarleiðbeiningum fyrir BRT er algengt að minnstu breiddir akreina í sérrými við biðstöðva sé 3,0 – 3,25 m.

## 8. Upplýsingakerfi - ITS

Segja má að rauntímaupplýsingakerfi séu nauðsynleg fyrir hágæða almenningssamgöngur, m.a. til að gefa almenningssamgöngum forgang við gatnamót og til upplýsinga fyrir farþega. Umfjöllum um mismunandi nýtingu á ITS-lausnum má m.a. finna á eftirfarandi stöðum:

- Kafla 4 í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Kollektiv bustrafik og BRT“
- Kafla 8 í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Projektering af trafiksignaler“
- Í dönsku hönnunarleiðbeiningunum „Letbaner i vejkryds“
- Í norsku hönnunarleiðbeiningunum „Kollektivhåndboka“, handbók númer V123 frá norsku vegagerðinni
- Í norska ritinu „ITS i kollektivtrafikken“ frá SINTEF
- Að einhverju leiti í norsku hönnunarleiðbeiningunum „Plassering og utforming av kollektivfelt“
- Í kafla 4.10 í sænsku hönnunarleiðbeiningunum „Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på BRT“
- Í kröfum um ITS í sænsku hönnunarleiðbeiningunum „Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på modern spårväg“



## 9. Heimildaskrá

- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz. (2016). *Straßenbahn-Bau- und Betriebsordnung - BOStrab*. Berlin: BGBL.
- Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz. (2017). *Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO)*. Berlin: BGBL.
- City of Edmonton. (2017). *LRT Design Guidelines*. Edmonton: City of Edmonton.
- Clark, R. (2009). *General Guidelines for the Design of Light Rail Transit Facilities in Edmonton*. Edmonton.
- COWI A/S. (2009). *VVM Letbanens Etape 1 - Teknisk baggrundsrapport Århus H og Havnetracéet*. Århus: COWI A/S.
- COWI A/S. (2016). *Risikoforhold i forbindelse med busstoppesteder*. Lyngby: COWI A/S.
- Danske Statsbaner. (1965). *Banernes bygning og udstyrelse*. Kaupmannahöfn: S.L.Møllers bogtrykkeri.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2006). *Merkblatt für die Ausführung von Verkehrsflächen in Gleisbereichen von Straßenbahnen*. Köln: Stand.
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. (2006). *Richtlinien für die Anlage - RAST 06*. Köln: Stand.
- Frøyland, s. o. (2016). *Rapport 519 - Plassering og utforming av kollektivfelt*. Oslo: Statens vegvesen.
- Gran, K. (2013). *Kapasitet på holdeplasser og i kollektivfelt*. Oslo: SWECO.
- Hansson J., A. P.-G. (2010). *Strukturhandling för spårväg i skåne*. Lund: SPIS.
- Herausgeber VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen. (2007). *Local and Regional Railway Tracks in Germany*. Düsseldorf: Alba Fachverlag.
- IDTP. (2016). *Bus Rapid Transit Guide*. New York: Institute for Transportation & Development policy (IDTP).
- ITDP. (2016). *The BRT Standard*. New York: ITDP.
- K2. (2016). *Guidelines för attraktiv regional busstrafik - Regional BRT*. Lund: Media-Tryck.
- Kim, T. J. (2009). *Transportation Engineering and Planning - Volume I*. Oxford: Eloss Publishers Co. Ltd.
- Kuehn, A. (2014). *Technical design parameters and planning philosophy for Aarhus Letbane*. Karlsruhe: Axel Kuehn.

- London's BRT System. (á.d.). *Shift London*. Sótt frá  
[https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/shiftlondon/pages/169/attachments/original/1512756315/Combined\\_Boards\\_2017\\_12\\_07\\_Part2.pdf?1512756315](https://d3n8a8pro7vhmx.cloudfront.net/shiftlondon/pages/169/attachments/original/1512756315/Combined_Boards_2017_12_07_Part2.pdf?1512756315)
- NACTO. (2007). *Light Rail Transit Service Guidelines*. Via Transit.
- PROSAM. (2005). *Fakta om kollektivtransport i Oslo og Akerhus*. Oslo: Statens Vegvesen.
- Ringby-Letbanesamarbejdet. (2013). *Udredning om Letbane på Ring 3*. Ringby: Cool Gray A/S.
- Rødseth, J., & Bang, B. (2006). *ITS i kollektivtrafikken*. Osló: Vegdirektoratet.
- Samgönguráðuneyti. (2017). *Reglugerð nr. 155/2007 um stærð og þyngd ökutækja*. Reykjavík: Reglugerðarsafn.
- Samtök sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu. (2015). *Svæðisskipulag höfuðborgarsvæðisins 2015-2040*. Kópavogur: Samtök sveitarfélaga á höfuðborgarsvæðinu.
- Statens Vegvesen. (2014a). *Håndbok N100 - Veg- og gateutforming*. Osló: Vegdirektoratet 2014.
- Statens Vegvesen. (2014b). *Håndbok V123 - Kollektivhåndboka - Tilrettelegging for kollektivtrafikk på veg og gate*. Osló: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2014c). *Håndbok V129 - Universell utforming af vegger og gater*. Osló: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2014d). *Superbusskonsept og midtstilt kollektivfelt*. Osló: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2015a). *Bussveien - Åpen plan- og designkonkurransen for holdeplasser*. Osló: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2015b). *Studierapport - Kollektivtrafikk-løsninger i Frankrike, Belgia og Nederland*. Osló: Statens Vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2016a). *Bussveien rv. 509 - vurdering konsept - midtstilt, sidestilt eller parallelført bussfelt*. Osló: Statens vegvesen.
- Statens Vegvesen. (2016b). *Plassering og utforming av kollektivfelt - BRT: Løsning for å fremme filjøvennlig transport*. Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2017). *Fremkommelighet for buss*. Osló: Vegdirektoratet.
- Stocks, A., Mellås, S., Bergkvist, B., Edstrand, J., Eriksson, G., Olsson, M., . . . Pär, J. (2014). *Projekteringsanvisningar för spårväg i Skåne*. Lund: Spårvagnar i Skåne.
- Sweco. (2013). *Förstudie, Spårvägstrafik Helsingborg - Höganäs*. Helsingborg: Helsingborgs stad.
- TCRP. (2003). *Bus Rapid Transit, Volume 2: Implementation Guidelines, TCRP REPORT 90*. Wasington, D.C.: Transit Cooperative Research Program (TCRP).
- TCRP. (2012). *Track Design Handbook for Light Rail Transit*. Washington: Parsons Brinckerhoff.

- Trivector. (2001). *Bussprioritering, effekter på framkomlighet och säkerhet*. Bårlänge: Vägverket.
- Umhverfis- og skipulagssvið Reykjavíkurborgar. (2013). *Aðalskipulag Reykjavíkur 2010-2030*. Reykjavík: Reykjavíkurborg.
- Vejregler. (2015). *Håndbog i trafikplanlægning i byer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016a). *Håndbog - Kollektiv busstrafik og BRT*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016b). *Håndbog - Letbaner i vejkryds*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016c). *Håndbog - Letbaner på strækninger*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016d). *Håndbog - Standsningssteder for letbaner*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016e). *Håndbog - Tracéring i byer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2016f). *Håndbog - Tværprofiler i byer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2017a). *Håndbog - Færdselsarealer for alle - Universelt design og tilgængelighed*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2017b). *Håndbog - Prioriterede vejkryds i åbent land*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2017b). *Håndbog - Projektering af trafiksignaler*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2018a). *Håndbog - Anlæg for parkering og standsning i byer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2018b). *Håndbog - Brug af trafiksignaler*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2018c). *Håndbog - Grundlag for udforming af trafikarealer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2018d). *Håndbog - Tavleoversigt*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Vejregler. (2018e). *Håndbog - Vejkryds i byer*. Kaupmannahöfn: Vejdirektoratet.
- Verkehrsbetriebe Zürich. (2014). *Empfehlungen für die Planung von Strassenbahnanlagen auf dem Netz der Verkehrsbetriebe Zürich*. Zürich: Intranet VBZ.
- VSÓ Ráðgjöf. (2017). *Vinnslutillaga vegna breytingar á Aðalskipulagi Reykjavíkur 2010-2030 - Afmörkun samgöngu- og þróunaráss höfuðborgarsvæðisins*. Reykjavík: VSÓ Ráðgjöf.
- Wood, L., Hooper, P., Foster, S., & Bull, F. (2017). Public green spaces and positive mental health - investigating the relationship between access, quantity and types of parks and mental wellbeing. *Health & Place*, 48, 63-71.
- Wright, L. (2003). *Module 3b: Bus Rapid Transit*. Esborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.
- WSP. (2018). *London BRT, draft environmental project report*. London: Shift.

X2AB. (2015a). *Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på BRT*. Stokkhólmur: Trafikverket.

X2AB. (2015b). *Guidelines för attraktiv kollektivtrafik med fokus på modern spårväg*. Stokkhólmur:  
Trafikverket.