

MINNISBLAÐ

VERKEFNI

Miðbær Akureyrarvindgreining

SKJALAHEITI

370-003-MIN-001-V02

DAGS

19.02.2021

VERKKAUPI

Akureyrarbær

SENDANDI

Hörður Páll Steinarsson

DREIFING

Pétur Ingi Haraldsson

STAÐA SKJALS

Dreifing með leyfi verkkaupa

EFNI**CFD hermanir á vindi með mótvægisáðgerðum****INNGANGUR**

Vindgreining sem var gerð fyrir deiliskipulag á miðbæ Akureyrar þar sem 12 vindáttir voru hermdar með tölulegum straumfræðilíkönnum (CFD) sýndi að í skipulaginu voru svæði sem uppfylltu ekki væntingar um gæði og önnur svæði þar sem staðbundinn vindhraði reyndist of hár til að teljast öruggur fólki m.v. skilgreinda aðferðafræði.

Í skýrslu ÖRUGG (370-003-SKY-001) var greint frá því hvaða vindáttir voru að valda þessum óhagstæðu áhrifum sem reyndust vera 150° vindátt (SSA) fyrir þau svæði þar sem notkunarflokkur uppfyllti ekki væntingar og 60° vindátt (ANA) fyrir þau svæði þar sem vindhraðinn reyndist of títt vera hærri en 15 m/s.

Greining á þeirri straumhegðun sem var að valda þessum aðstæðum var gerð og í framhaldinu voru lagðar til nokkrar hugsanlegar mótvægisáðgerðir sem væri vert að skoða til að reyna að minnka vindhraða á þessum svæðum.

Eftir samráð á milli hönnuða skipulagssins og skipulagsstjóra fékk ÖRUGG uppfært CAD líkan af deiliskipulaginu þar sem búið var að bregðast við vindgreiningunni á mjög skýran og góðan hátt. Massi bygginganna hafði tekið breytingum þar sem unnið var að því að lágmarka (lárétta) stöllum bygginganna eftir Glerárgötunni þannig að minni vindur myndi berast úr 150° vindáttinni inn gönguásana. Þá var búið að staðsetja vindskyggni á Skipagötu 11 meðfram öllum aðalgönguásnum.

Ennfremur innihélt líkanið mikið af gróðri sem óskað var eftir því að taka tillit til í hermun á vindi með mótvægisáðgerðum. Eftir Glerárgötunni og Skipagötunni var mikið af Alaskaöspum, eftir Glerárgötunni á miðjum umferðareyjum var Súlublæspir og í gönguásunum var Gráreyrnir.

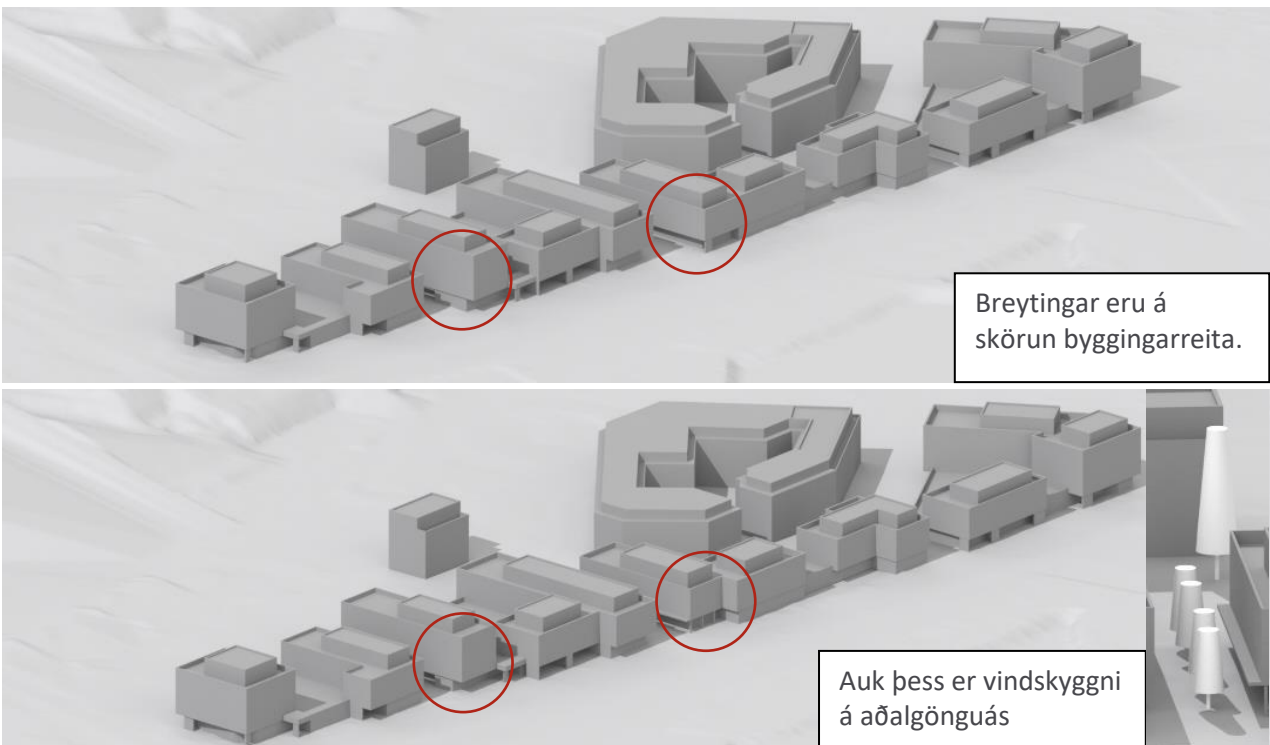
BREYTINGAR Á CAD LÍKANI

CAD líkanið sem notað var í hermun á vindi með mótnægisaðgerðum er sýnt á Mynd 1. Þar er staðsetning trjágróðurs sýnileg. Gráreynir er notaður innan gönguásanna þriggja en Alaskaaspir annars staðar.



Mynd 1. Yfirlitsmynd af CAD líkani með breytingum og gróðri.

Breytingar á massa bygginga voru gerðar og eru sýndar á Mynd 2.



Mynd 2. Breytingar á massa bygginga eru sýnilegar. Byggingarmassi fyrir breytingar (ofan) og eftir breytingar (neðan).

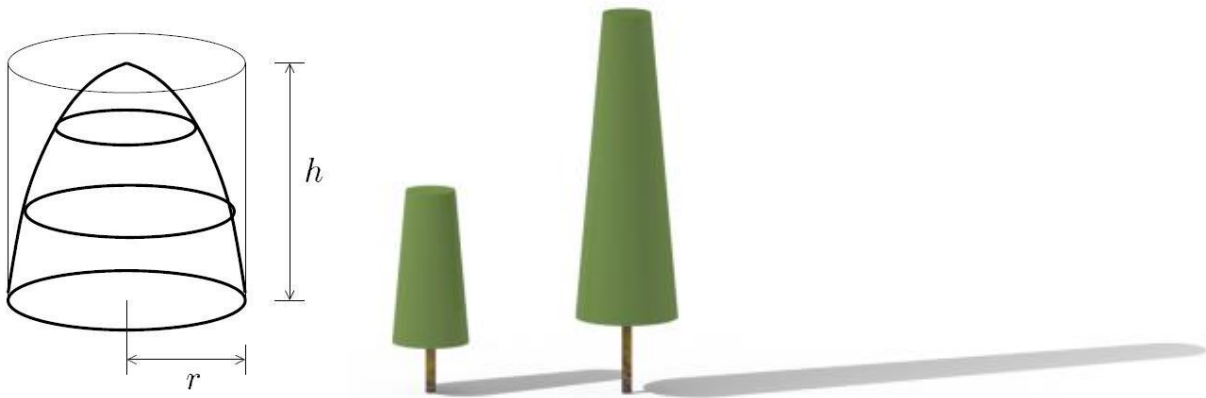
TRÉ Í LÍKANI

STÆRÐIR

Í CAD líkani voru staðsetningar trjáa skilgreindar en líkanið innihélt almennt form trjáa sem þarf að túlka á annan máta fyrir hermun á vindi. Tafla 1 sýnir upplýsingar um stærðir trjáa sem fékkst frá landslagsarkitekt og voru notaðar til að búa til form fyrir hverja trjátegund þar sem krónan var eins konar fleygbogaflötur (e. paraboloid).

Tafla 1. Stærðir trjátegunda í líkani.

	Gráreyrnir	Alaskaösp	Súlublæösp
Hæð trés	8 m	15 m	8 m
Hæð krónu	6 m	12 m	7 m
Breidd krónu	3 m	4 m	1 m



Mynd 3. Rúmmál fleybogaflatar (t.v.), Gráreyrnir í líkani (f.m) og Alaskaösp í líkani (t.h.)

STÆRÐFRÆÐILÍKAN

Í hermun á vindi er bolur trés almennt ekki innifalinn heldur er króna trésins túlkuð sem svæði með þrýstifalli og dregur úr hraðanum með groplíkani (e. porosity model). Þar er eins konar hraðasvelgur (e. sink term) bætt inn í hraðajöfnuna á þeim svæðum þar sem krónur trjáanna eru skilgreindar.

Hér er Darcy-Forchheimer líkanið notað

$$S_i = - \left(d_i \mu u + f_i \frac{1}{2} \rho u^2 \right)$$

þar sem Darcy-Forchheimer stuðlarnir eru d og f . Þegar d er 0 þá er f skilgreint

$$f_i = 2C_d LAD$$

þar sem C_d er dragstuðull trjátegundarinnar og LAD er laufabéttleiki þeirra (e. leaf area density).

Þá fæst tölulega líkan Raupach og Shaw [1] (gegnum [2]) fyrir trjátegundir

$$S_u = -\rho C_d LAD u^2$$

Súlublæosp er ekki hentug í vindi skv. [3] þar sem trjáblöðin eru viðkvæm fyrir vindinum svo tréð er ekki að fara að draga úr vindhraða. Á þeim forsendum var ákveðið að sleppa því að taka tillit til Súlublæasparinnar í CFD hermuninni.

Ákvarða þurfti því bæði dragstuðul (C_d) og laufþéttleika (LAD) fyrir Alaskaösp og Gráreyni en laufþéttleiki er hér skilgreindur sem hlutfallið af flatarmáli allra laufanna á móti rúmmáli krónunnar.

LAUFPÉTTLEIKI

Til eru aðhvarfsjöfnur (e. regression equation) til að finna flatarmál laufa fyrir trjátegundir. Hér er stuðst við aðhvarfsjöfnu frá Nowak ($R^2 = 0.91$) [4]

$$\ln(LA) = -4.3309 + 0.2942H + 0.7312D + 5.7217S - 0.0148C$$

Þar sem LA er flatarmál laufa (m^2), H er hæð krónu, D er þvermál krónu, S er skuggastuðull (e. shading factor) trjátegundarinnar og C er flatarmál ytra byrðis krónunnar reiknað skv. $\frac{1}{2}\pi D(H + D)$.

Skuggastuðull Alaskaaspar var metinn vera 0.795 út frá skuggastuðlum áþekkra trjátegunda sem gefnir eru upp í [4] og á sama hátt var skuggastuðull Gráreynis 0.82.

Sem fyrr segir er krónan metin vera fleygbogafloetur (e. paraboloid) svo rúmmál hennar er helmingur rúmmáls sívalnings eða $\frac{1}{2}\pi r^2 h$.

Laufþéttleiki (LAD) trjátegundanna reyndist skv. þessu vera 1.9 m^2/m^3 fyrir Gráreyni og 2.4 m^2/m^3 fyrir Alaskaösp en þar sem óvissa er um forsendur þessa tilteknu trjátegunda var notast við 2 m^2/m^3 í stærðfræðilíkani.

DRAGSTUÐLAR

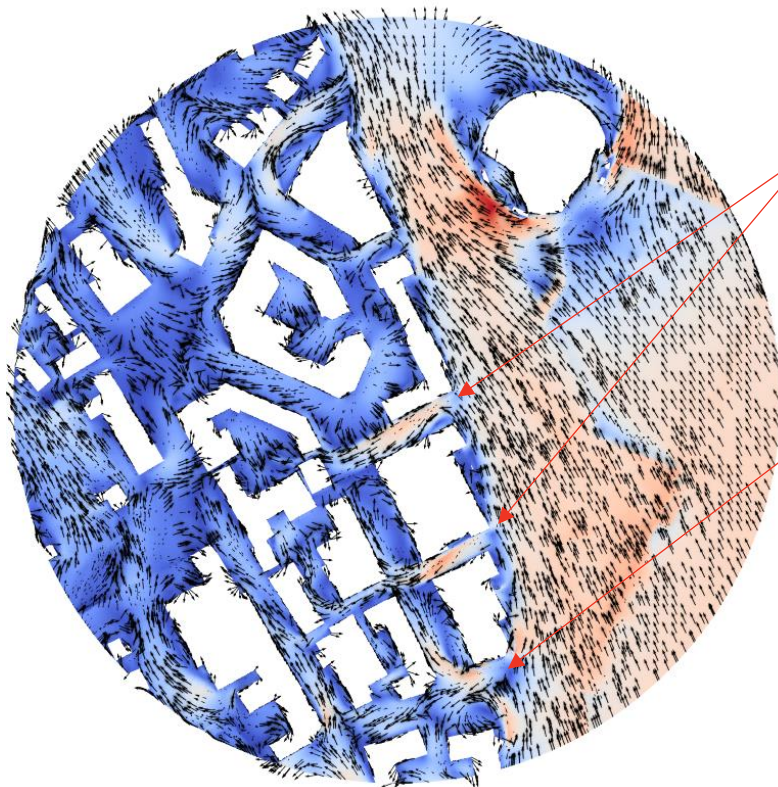
Dragstuðlar fyrir trjátegundir eru reiknaðir út frá mælingum í vindgöngum. Aðgengi að upplýsingum um dragsstuðla fyrir trjátegundir er háð því að trjátegundir hafi verið til umfjöllunar erlendis og hafi verið prófaðar. Dragstuðlar trjáa eru þess eðlis að þeir eru breytilegir eftir vindhraða. Nánar tiltekið þá minnkar mótstaða trjáa eftir því sem vindhraðinn eykst.

Af þeim ástæðum er mismunandi dragstuðull notaður eftir því verið sé að kanna hvort að mótvægisáðgerð bæti aðstæður m.t.t. þæginda fólks eða öryggis fólks. Dragstuðlar eru oftast reiknaðir við vindhraðana 5 m/s, 10 m/s og 15 m/s. Til að gæta varfærnis verða dragstuðlar sem reiknaðir hafa verið fyrir 10 m/s notaðir til að kanna aðstæður m.t.t. þæginda fólks og dragstuðlar sem mældir hafa verið fyrir 15 m/s notaðir til að kanna aðstæður m.t.t. öryggis fólks.

Fyrir Alaskaösp eru dragstuðlarnir því eftirfarandi; 0.3 fyrir þægindi fólks og 0.2 fyrir öryggi fólks [5]. Ekki fundust nægilega öruggar upplýsingar fyrir Gráreyni eða trjátegund sem væri nægilega lík Gráreyni. Fyrir gropna runna o.þ.h. er lagt til að dragstuðull sé 0.6 skv. [6] og [7] (gegnum [8]). Því er dragstuðull fyrir Gráreyni valinn vera 0.6 fyrir þægindi fólks og 0.3 fyrir öryggi fólks.

NIÐURSTÖÐUR

150° VINDÁTT (SSA)

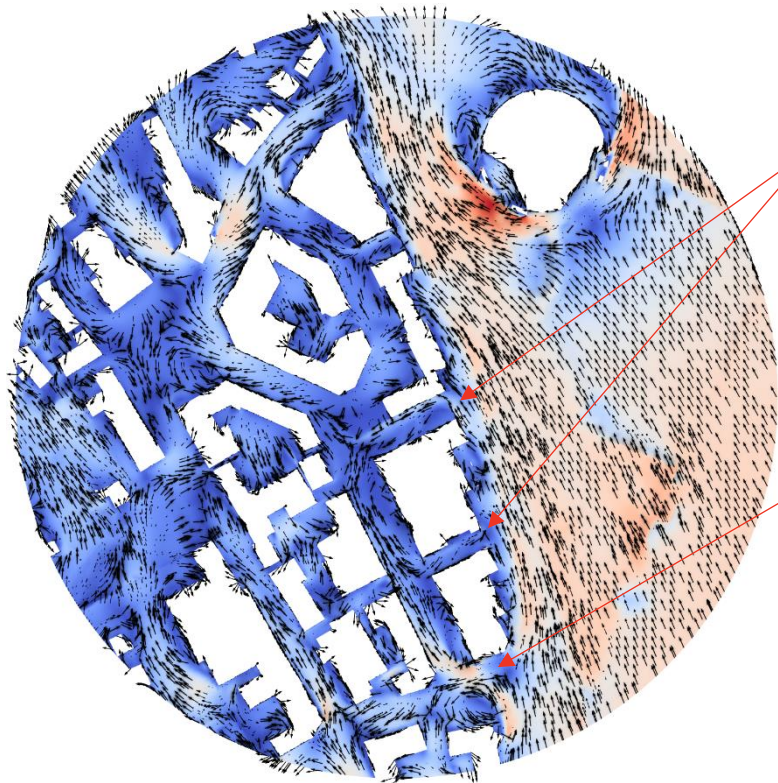


Fyrir mótvægisáðgerð

Hár vindhraði sést inn á gönguásum.

Hár vindhraði sést fremst við Skipagötu 13.

Þetta olli því að notkun svæða, sérstaklega inn á gönguásum, nýttust ekki til útisetu að sumri eins oft og væntingar stóðu til.



Eftir mótvægisáðgerð

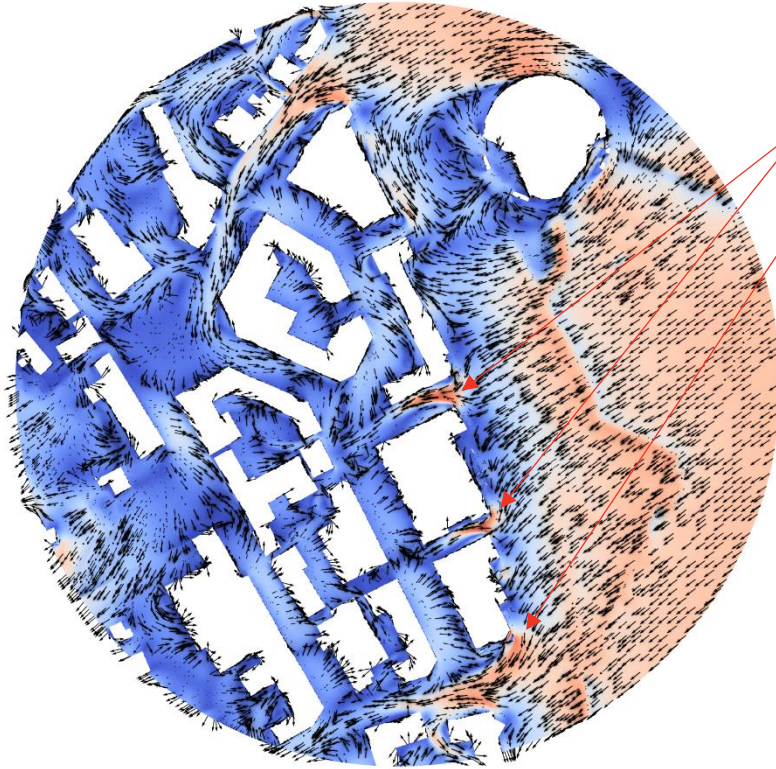
Vindhraði á gönguásum hefur minnkað snarlega. Nánar tiltekið 46% lækkun á aðalgönguás og 73% lækkun á gönguás á milli Skipagötu 11 og Skipagötu 13.

Vindhraði við Skipagötu 13 hefur lækkað lítillega (7%). Þar eru Alaskaaspir í töluverðri hæð en engar breytingar í mannhæð (1.5 m).

Þetta ætti að stuðla að því að gönguásar yrðu hentugir undir útisetu að sumri til.

Mynd 4. Hraðasvið fyrir 150° vindátt. Fyrir mótvægisáðgerð (efri) og eftir mótvægisáðgerð (neðri).

60° VINDÁTT (ANA)

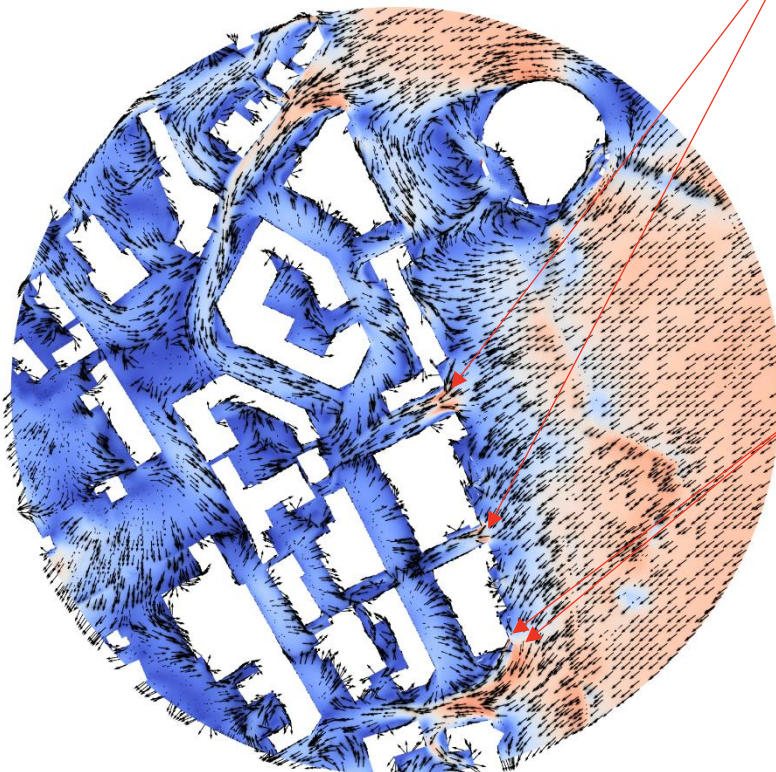


Fyrir mótvægisáðgerð

Hár vindhraði sést inn á gönguásum.

Hár vindhraði sést við hornið á Skipagötu 13 frá Glerárgötu.

Þetta olli því að notkun svæða, bæði við horn bygginganna og fen nýttust ekki til útisetu að sumri eins oft og væntingar stóðu til.



Eftir mótvægisáðgerð

Horn bygginga getur enn valdið nokkuð háum vindhraða en trjágróður á gönguásum dreifir vindhraðanum um stærra svæði sem minnkar hámarksvindhraðann (9% á aðalgönguás og 17% á hinum gönguás). Þá falla líkur á því að vindhraði verði hærri en 15 m/s úr 0.029% og í 0.019% fyrir aðalgönguás og úr 0.040% og í 0.016% fyrir gönguás á milli Skipagötu 11 og Skipagötu 13.

Við horn Skipagötu 13 og Glerárgötu hefur hámarksvindhraði lækkað bæði innan við burðarsúluna (18%) og fyrir utan hana (15%). Ennfremur hefur hámarksvindhraði færst enn utar við burðarsúluna þ.a. gangandi vegfarendur verða fyrir minni ónotum. Líkur á að vindhraði verði hærri en 15 m/s hafa lækkað úr 0.036% í 0.016% innan við burðarsúluna og úr 0.026% í 0.008% utan við burðarsúluna (í gönguleið).

Mynd 5. Hraðasvið fyrir 60° vindátt (ANA). Fyrir mótvægisáðgerð (efri) og eftir mótvægisáðgerð (neðri).

SAMANTEKT

Helstu niðurstöður hermána á vindi með mótvægisgerðum eru:

- Vindhraði á gönguásnum hefur lækkað um 46% og 73% í 150° vindáttinni (SSA).
- Svæði á gönguásnum munu nú nýtast til útisetu yfir sumar m.v. Lawson LDDC vegna mótvægisgerða.
- Svæði við horn bygginga eru nú talin vera örugg fólki m.v. Lawson LDDC vegna mótvægisgerða.

Vindgreining fyrir deiliskipulagið hafði sýnt að 150°C vindáttin hafði mestu áhrif á að svæði á gönguásnum féllu ekki í notkunarflokk sem hentaði útisetu að sumri skv. Lawson LDDC. Hermun á vindi úr 150° vindáttinni með mótvægisgerðum hefur sýnt að vindhraði í aðalgönguási og gönguási á milli Skipagötu 11 og Skipagötu 13 hefur lækkað mikið, eða um 46% og 73%.

Breytingarnar á byggingunum og gróðurinn eru því að draga mikið úr vindhraðanum í gönguásnum fyrir vind úr 150° vindáttinni (SSA) þannig að búast má við að þau svæði hafi betri vindvist og nýtist mun betur til útisetu að sumri til heldur en skv. upprunalegu útfærslu.

Vindgreiningin hafði sýnt að að 60°C vindáttin hafði mestu áhrif á svæði við horn bygginga gætu talist órugg þar sem meiri en 0.025% líkur voru á að vindhraði yrði hærri en 15 m/s á þeim svæðum.

Mótvægisgerðin breyta því ekki að við horn bygginga verða streymisslit þannig að nokkur hár vindhraði getur myndast úr 60° vindátt (ANA).

Á gönguásnum hefur trjágróður þau áhrif að vindhraði dreifist betur yfir gönguásana þannig að hámarksvindhraði lækkar um 9% á aðalgönguás og um 17% á gönguás á milli Skipagötu 11 og Skipagötu 13. Þessar breytingar valda því að líkur á því að vindhraði verði hærri en 15 m/s fer úr 0.029% í 0.019% á aðalgönguási og úr 0.040% í 0.016% á hinum gönguásinum. Viðmiðunargildi fyrir öryggi fólks er 0.025% yfir árið þannig svæðin sem áður voru talin órugg á gönguásnum teljast nú vera örugg ef gert er ráð fyrir að þessi útfærsla valdi ekki breytingum á öðrum vindáttum.

Við horn Skipagötu 13 og Glerárgötu var svæði sem taldist óruggt fyrir fólk, bæði á innan við burðarsúlu og fyrir utan burðarsúluna. Mótvægisgerðir hafa sýnt að hámarksvindhraði hefur lækkað um 18% innan við burðarsúluna og um 15% utan við burðarsúluna. Ennfremur hefur hámarksvindhraðinn utan við burðarsúluna færst utar og líklega út fyrir göngulínuna. Líkur á því að vindhraði verði hærri en 15 m/s hafa nú farið úr 0.036% í 0.016% fyrir innan burðarsúluna og úr 0.026% í 0.008% fyrir utan burðarsúluna. Þessi svæði ættu því nú að teljast örugg fyrir fólk ef gert er ráð fyrir að þessi útfærsla valdi ekki breytingum á öðrum vindáttum.

FYRIRVARI

Mótvægisáðgerðirnar innihalda nokkrar breytingar og því er ekki unnt að greina hvaða áhrif hver breyting hefur fyrir sig. Niðurstöður eru þ.a.l. lýsandi fyrir útfærslu sem er eins og í hermun að meðtöldum gróðri, þ.e. að gróður sé í fullum skrúða, staðsetningar, hæð o.þ.h. Upplýsingar um áhrif trjáa á vindhraða eru mismunandi aðgengilegar eftir trjategundum. Þannig ríkir nokkur óvissa um bæði dragstuðla og laufþéttleika þar sem þau gildi eru bæði háð trjategundum og einstaka trjám. Þá er stærðfræðileg túlkun trjáa í þessu líkani þannig að uppspretta/svelgur (e. source/sink term) er bætt í jöfnu fyrir hraðasvið en ekki fyrir hreyfiorku iðustreymis né fyrir orkutap iðustreymis. Við mat á líkum er gert ráð fyrir að mótvægisáðgerðir valdi ekki breytingum á hraðasviði annarra vindátta.

HEIMILDIR

- [1] M. R. Raupach og R. H. Shaw, „Averaging procedures for flow within vegetation canopies“, *Bound.-Layer Meteorol.*, b. 22, tbl. 1, bls. 79–90, jan. 1982, doi: 10.1007/BF00128057.
- [2] N. Glover, „Investigating the Impact of Trees on Airflow within Street Canyons through the use of CFD and Field Measurements“, UCL, 2015.
- [3] S. B. Harðarson og S. Garðarsdóttir, „Rætkun götutrjáa í þéttbýli og val á tegundum“, Landbúnaðar Háskóli Íslands, Rit Lbhí 64, apr. 2016.
- [4] D. J. Nowak, „Estimating Leaf Area and Leaf Biomass of Open-Grown Deciduous Urban Trees“, *For. Sci.*, b. 42, tbl. 4, bls. 504–507, nóv. 1996.
- [5] S. Vollsinger, S. J. Mitchell, K. E. Byrne, M. D. Novak, og M. Rudnicki, „Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for several hardwood species“, *Can. J. For. Res.*, b. 35, tbl. 5, bls. 1238–1249, maí 2005, doi: 10.1139/x05-051.
- [6] M. R. Raupach, „Drag and drag partition on rough surfaces“, *Bound.-Layer Meteorol.*, b. 60, tbl. 4, bls. 375–395, sep. 1992, doi: 10.1007/BF00155203.
- [7] M. R. Raupach, D. A. Gillette, og J. F. Leys, „The effect of roughness elements on wind erosion threshold“, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, b. 98, tbl. D2, bls. 3023–3029, feb. 1993, doi: 10.1029/92JD01922.
- [8] P. F. Grant og W. G. Nickling, „Direct Field Measurement of Wind Drag on Vegetation for Application to Windbreak Design and Modelling“, *Land Degrad. Dev.*, b. 9, tbl. 1, bls. 57–66, 1998.