



BILAG 6

VINDMILJØ VED AXELTORV 2 Vindtunnelforsøg og analyser



**Udført for: ProCon Danmark ApS
Revision 1, August 2012**



Indhold

0	Resume og konklusion.....	3
1	Introduktion.....	8
2	Overordnede vindpåvirkninger	9
3	Vindmiljøkriterier	10
4	Fokusområder.....	11
5	Gennemførte målinger	12
6	Vindmiljø	14

Anneks A: Hotwireforsøg

Anneks B: Visualiseringsforsøg

Revisioner

Revisions nr.	Dato	Bemærkninger
0	3. august 2012	Forslag til rapport
1	23. august	Endelig rapport med en tydelig sammenligning af vindmiljøet i henholdsvis den nye bebyggelse og i den eksisterende bebyggelse



0 Resume og konklusion

Formålet med den foreliggende rapport, som er udarbejdet for ProCon Danmark ApS, er at beskrive vindmiljøet ved Axeltorv i udvalgte fokusområder.

De gennemførte undersøgelser viser, at den nye bebyggelse med de foreslåede lægvide foranstaltninger vil have et behageligt til acceptabelt vindmiljø i alle fokusområderne, og at vindmiljøet bliver betydelig bedre end i den eksisterende bebyggelse.

Gennemførte undersøgelser

Axeltorv er beliggende i det centrale København med Tivoli syd til sydvest for torvet. Terrænet omkring Axeltorv er i stor udstrækning byområder med tætstående bygninger. Den mest fremherskende vind i området kommer fra syd, sydvest og vest.

Den nye bebyggelse består af fem cylinderformede bygninger med varierende højder og diametre placeret på en sammenhængende stueetage. Højden på bygningerne varierer fra 28 m til 61 m. Fra 2. og til 11. etage sammenbygges de runde bygninger forskellige steder. Lundgård og Tranberg Arkitekter har leveret tegningsmateriale og situationsplan i perioden 22/6-3/7 2012.

Vindtunnelmodellen er udført i skala 1:200 med et omfang af nabobebyggelse dækkende et cirkulært areal med diameter 330 m, se forside. Der udføres visualiseringsforsøg med pulver med den nye bebyggelse uden beplantning i området. Serier af vindhastighedsmålinger er udført på skalamodelen med ny bebyggelse samt med gammel Scala-bygning, hvor der medtages lokal lægving og beplantning i området som foreslået af Lundgård og Tranberg Arkitekter. Vindmiljøet er bestemt ved at kombinere målingerne med vindhyppigheder og sammenholde resultatet med kriterier for den påtænkte aktivitet i området.

Følgende fokusområder med tilhørende aktiviteter er udvalgt i samarbejde med arkitekterne og undersøgt i forsøgene:

- Udendørs café - aktivitet: *stå eller sidde i længere tid.*
- Friluftsområder - aktivitet: *stå eller sidde i længere tid.*
- Hævet terrasse - aktivitet: *stå eller sidde i længere/kortere tid.*
- Parker og pladser - aktivitet: *stå eller sidde i kortere tid.*
- Butiksgader og parker - aktivitet: *slentren.*
- Indgange - aktivitet: *slentren.*
- Fortov og sti - aktivitet: *hurtig gang.*

Resultater

De væsentligste resultater fremgår af figurerne på de følgende sider, hvor aktiviteten i fokusområderne ses figur 0.1 samt den foreslået beplantning af arkitekterne, og det samlede vindmiljø ved Axeltorv med den nye bebyggelse ved de påtænkte aktiviteter er illustreret på figur 0.2. Til sammenligning er det samlede vindmiljø ved Axeltorv med den gamle Scala-bygning ved de samme påtænkte aktiviteter illustreret på figur 0.3.

I store områder omkring den nye bebyggelse vil vindmiljøet være *behageligt*. På den hævede terrasse vil vindmiljøet kunne kategoriseres som *ubehageligt*, bl.a. grundet kanaliseringen af vinden ind i mellem de cylinderformede bygninger. Vindmiljøet på selve Axeltorv vil være *acceptabelt* til *ubehageligt*. I området med de udendørs caféer er



vindmiljøet kategoriseret til *ubehageligt*, hvilket bl.a. skyldes de skærpede krav til områder med lavt aktivitetsniveau.

Vindmiljøet på Axeltorv ved den gamle Scala-bygning ligner vindmiljøet ved den nye bebyggelse, ved de påtænkte aktiviteter, se figur 0.3. I en del af området på Axeltorv vil vindmiljøet være *meget ubehageligt*, hvilket bl.a. skyldes den mindre lægiving i form af beplantning. Det konkluderes, at vindmiljøet ikke forværres på selve Axeltorv ved den nye bebyggelse med den anvendte beplantning sammenlignet med vindmiljøet ved den gamle Scala-bygning.

Det anbefales at etablere yderligere lægivende foranstaltninger på Axeltorv samt på den hævede terrasse. Den foreslåede beplantning fra arkitekterne på Axeltorv er 8 m høje opstammede træer, hvor trækronen starter ca. 4 m oppe på stammen. Hvis der mellem flere af disse træerne etableres lavere tætte buske, der kan afskærme vinden nede i terrænniveau, vil vindmiljøet forbedres væsentligt. På den hævede terrasse mellem de cylindriske bygninger kan vindmiljøet gøres bedre ved at etablere ca. 2 m høje læskærme helst perforerede (1/3 hullet og 2/3 tæt), i mellemrummene mellem de cylinderformede bygninger, for at begrænse de forøgede vindhastigheder.

Disse lægivende foranstaltninger vurderes at medføre et behageligt til acceptabelt vindmiljø i alle fokusområderne, se figur 0.4.

Hvis det påtænkes på sigt at etablere længere tids opholds muligheder mellem den nye bebyggelse og den eksisterende bygning nordøst for Axeltorv, bør den smalle sti afskærmes, da der vil kunne forekomme store vindhastigheder i passagen.

København, den 23. august 2012
Svend Ole Hansen ApS

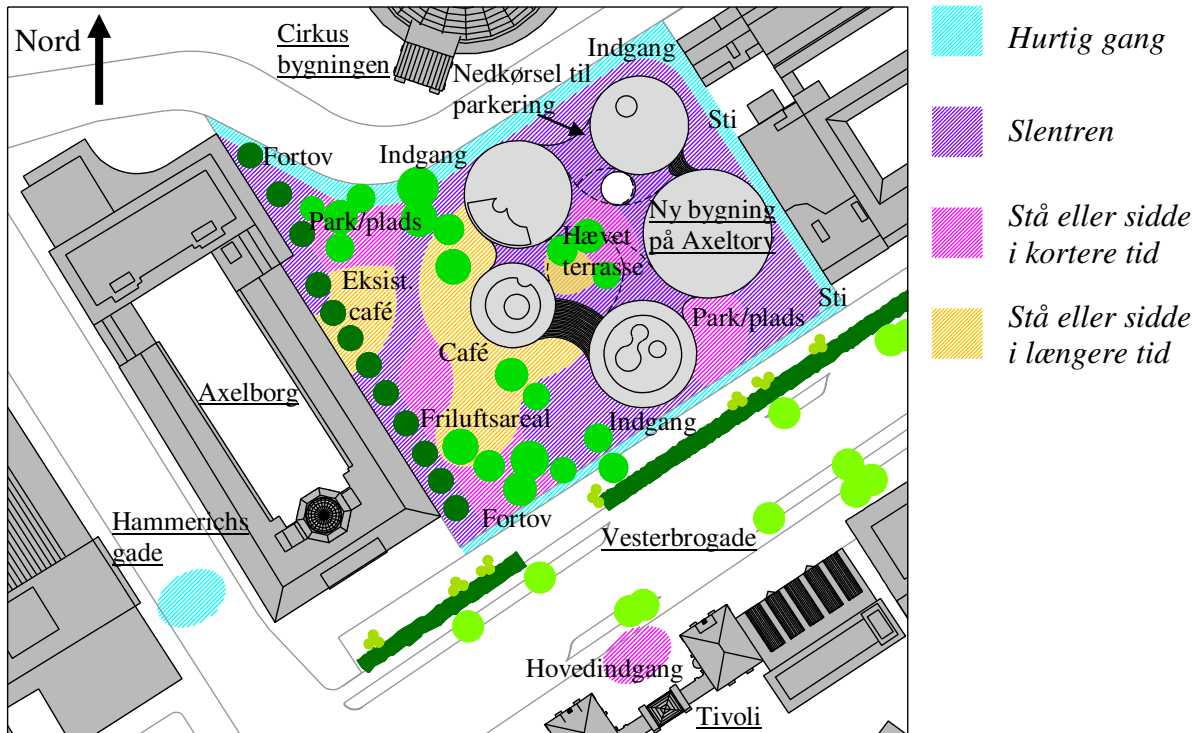
A handwritten signature in blue ink that reads "Svend Ole Hansen".

Svend Ole Hansen






Projektingeniør

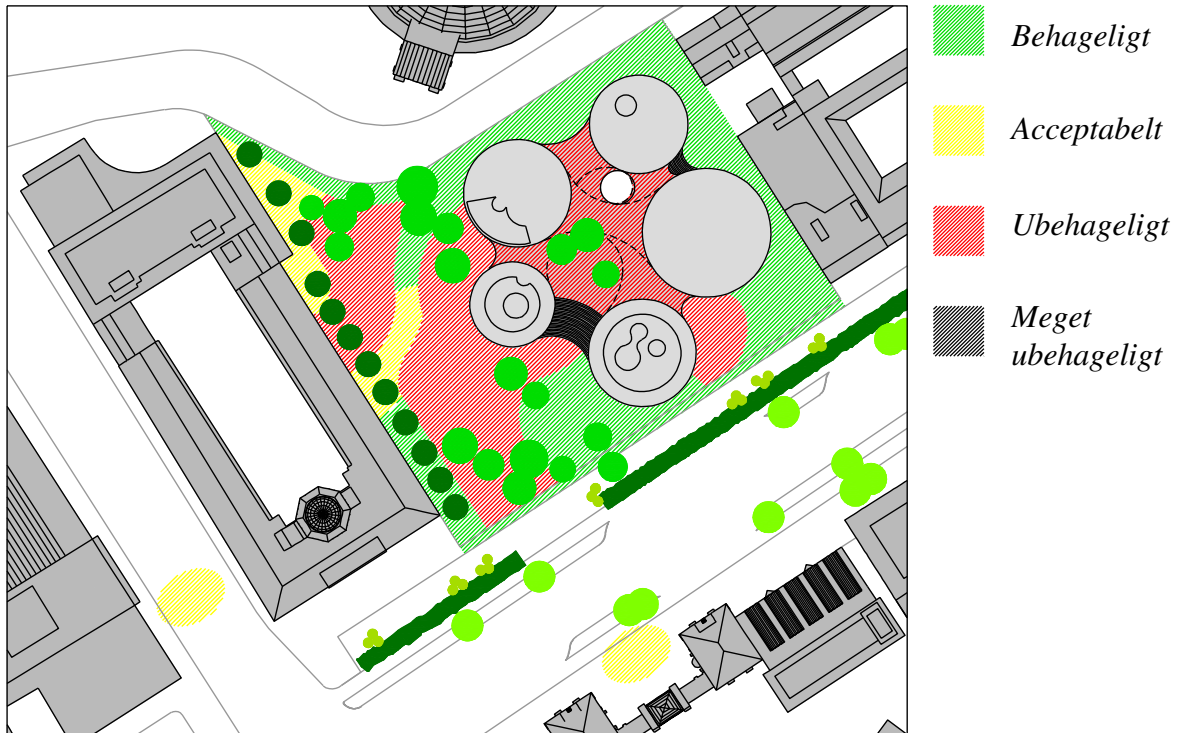
A handwritten signature in blue ink that reads "Marie Louise Pedersen".

Marie Louise Pedersen

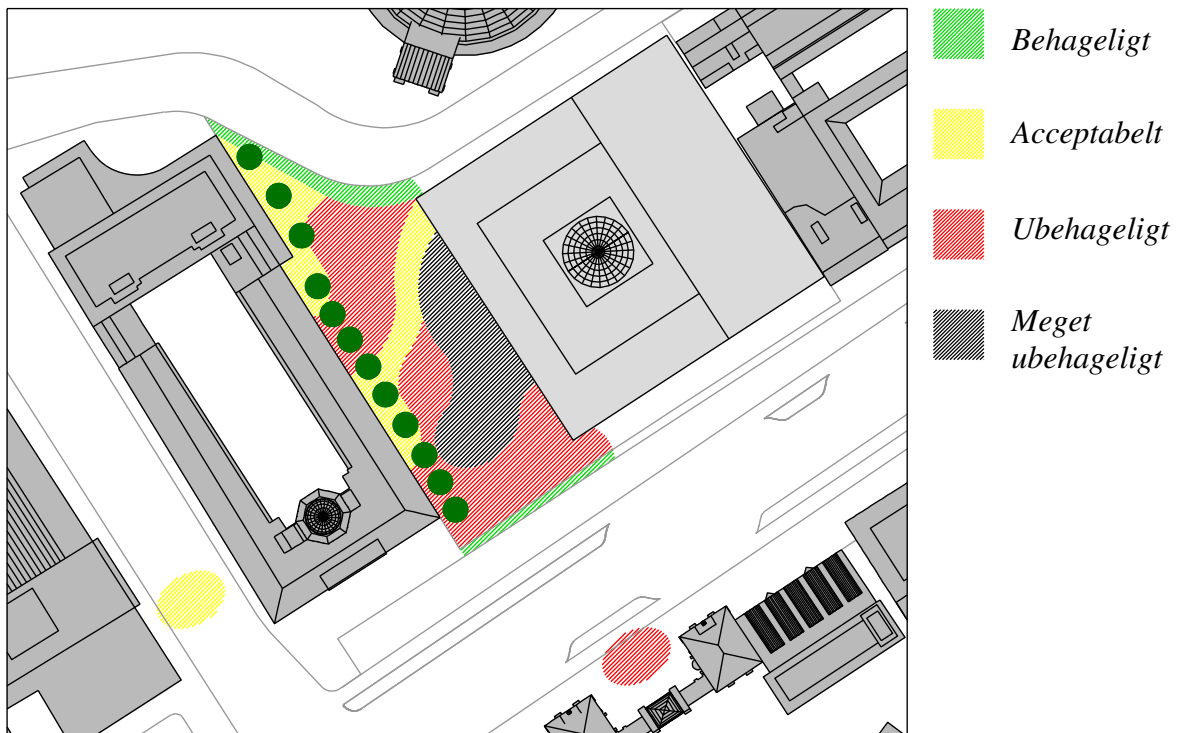


Figur 0.1. Illustration af aktiviteten i fokusområderne ved Axeltorv.

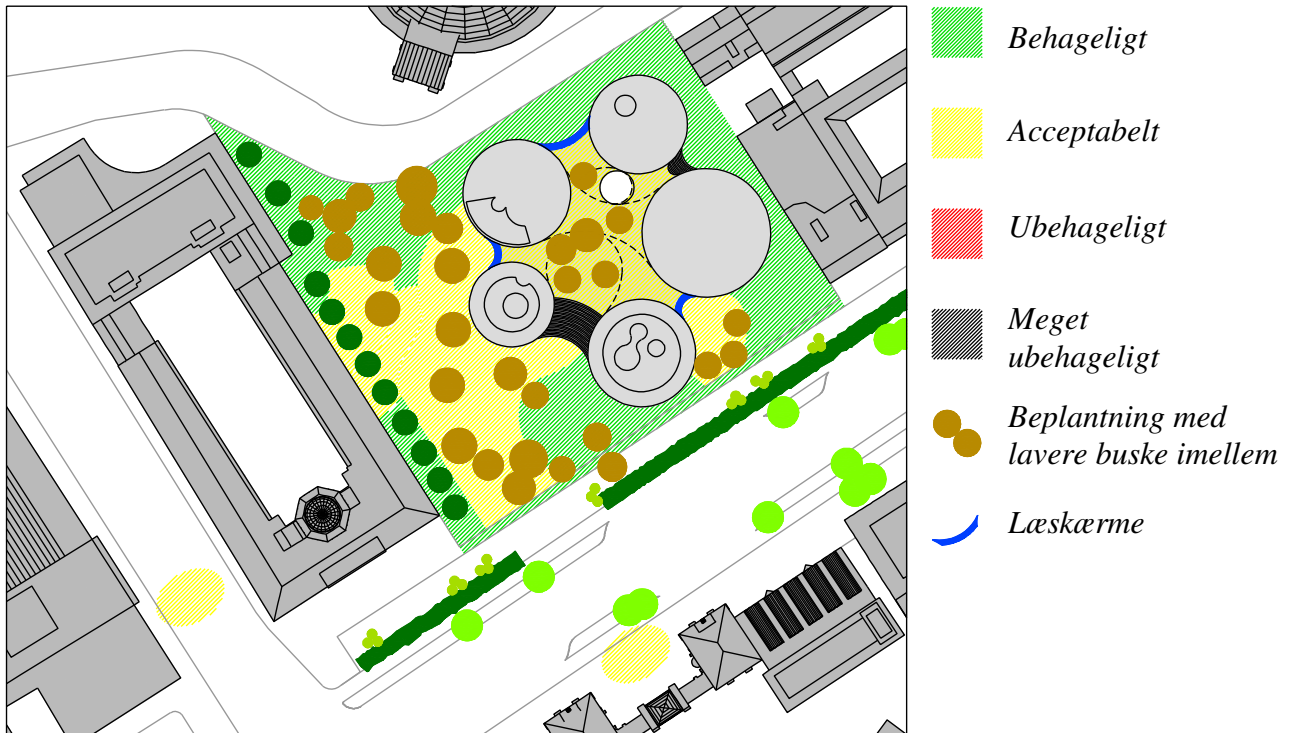
-  Eksisterende beplantning ved Axelborg, ca. 8 m høje
-  Træer på heller, forventet højde max. 8 m
-  Trærække, forventet højde max. 15 m
-  Beplantning i hævede bede, forventet højde max. 5 m
-  Ny beplantning på Axeltorv, ca. 8 m høje



Figur 0.2. Illustration af vindmiljø i fokusområderne ved Axeltorv ved ny bebyggelse.



Figur 0.3. Illustration af vindmiljø i fokusområderne ved Axeltorv med gammel Scala-bygning.



Figur 0.4. Illustration af vindmiljø i fokusområderne ved Axeltorv ved ny bebyggelse, med forbedret lokal lægiving.



1 Introduktion

Formålet med den foreliggende rapport, som er udarbejdet for ProCon Danmark ApS, er at beskrive vindmiljøet ved Axeltorv med ny bebyggelse.

Grundlaget for analyserne er et vindtunnelforsøg udført med en model af Axeltorv og bebyggelse og de omkringliggende nabobygninger i skala 1:200. Lundgård og Tranberg Arkitekter har leveret tegningsmateriale og situationsplan i perioden 22/6-3/7 2012.

Den nye bebyggelse består af fem cylinderformede bygninger med varierende højder og diametre placeret på en sammenhængende stueetage. Højden på bygningerne varierer fra 28 m til 61 m. Fra 2. og til 11. etage sammenbygges de runde bygninger forskellige steder.

Vindmiljøet undersøges i udvalgte fokusområder bestemt i samarbejde med arkitekterne:

- Udendørs café
- Friluftsarealer
- Hævet terrasse
- Parker og pladser
- Butiksgader og parker
- Indgange
- Fortov og sti

Vindmiljøet vurderes efter aftale ikke på de grønne tagterrasser af de nye cylinderformede bygninger på Axeltorv. Vindmiljøet ved Axeltorv undersøges i vindtunnelen på terræn samt på det hævede terrasseområde mellem de nye cylindriske bygninger. Omfanget af nabobygninger kan ses på figur 1.1. Til sammenligning undersøges vindmiljøet også ved den gamle Scala-bygning på Axeltorv.

Der udføres visualiseringsforsøg med den nye bebyggelse uden beplantning i området, se Anneks B. Der er udført 3 serier af hotwireforsøg, hvor de aktuelle vindhastigheder måles med et passende antal hotwires i de udvalgte fokusområder på skalamodellen i vindtunnelen. 12 vindretninger undersøges med spring på 30°. 0° angiver nord som på figurerne i nærværende rapport vil være angivet opad. Vindmiljøet er bestemt ved at kombinere målingerne med vindhyppigheder og sammenholde resultatet med kriterier for den påtænkte aktivitet i området. Den ene serie måles på skalamodellen med den gamle Scala-bygning og de to serier måles på skalamodellen med den nye bebyggelse, se Anneks A. Til hotwireforsøgene medtages lokal lægvingning i form af beplantning i området.



Figur 1.1. Vindtunnelmodel af Axeltorv samt nabobebyggelse.



2 Overordnede vindpåvirkninger

Axeltorv er beliggende i det centrale København med Tivoli syd til sydvest for torvet. Terrænet omkring Axeltorv kan i stor udstrækning karakteriseres som byområder med tæt bebyggelse, hvor bygningshøjden gennemsnitligt overstiger 15 m svarende til terrænkategori IV i Eurocoden EN 1991-1-4:2007. Den mest fremherskende vind i området kommer fra syd, sydvest og vest, se nedenstående vindrose på figur 2.1, og fra disse retninger vil Axeltorv være særligt vindeksponeret.



Figur 2.1. Vindrose for vinde i området ved Axeltorv.

Resultaterne fra vindtunnelforsøgene kombineres med vindhyppigheder for området givet i SBI-anvisning 158 i form af relevante Weibullparametre i 10 m højde. Den gennemsnitlige procentdel af tiden S med vindhastigheder over 5 m/s bestemmes som

$$S = \sum_{\theta} h_{\theta} \left(- \left(\frac{v}{A_{\theta}} \right)^{C_{\theta}} \right)$$

hvor v er den uforstyrrede vind svarende til 5 m/s i målepunktet, h_{θ} er den procentvise hyppighed af vindretning θ , og A_{θ} og C_{θ} er Weibullparametrene for vindretning θ . Den beregnede procentvise tid S sammenlignes med kriteriet beskrevet i det følgende.



3 Vindmiljøkriterier

SBI-anvisning 128 er anvendt som reference for beskrivelse af vindmiljøet, se tabel 3.1. Referencen er baseret på den gennemsnitlige procentdel af tiden med vindhastigheder over 5 m/s ved hvert undersøgt målepunkt. Kriterierne fokuserer på aktiviteten, da oplevelsen af vindmiljøet er stærkt afhængig af, hvad man foretager sig. Vindmiljøet i et område skal så vidt muligt være mindst lige så godt som de forventninger, brugerne har til områdets vindmiljø. Kriterierne er angivet i tabel 3.1.

Tabel 3.1. 5 m/s kriteriet specificeret i SBI-anvisning 128. Alle vindretninger sammen.

Aktivitet	Områder	Acceptabelt	Ubehageligt	Meget ubehageligt til farligt
Hurtig gang	Fortove, stier	43 %	50 %	53 %
Slentren	Parker, butiksgader	23 %	34 %	53 %
Stå eller sidde i kortere tid	Parker, pladser	6 %	15 %	53 %
Stå eller sidde i længere tid	Udendørs café	0.1 %	3 %	53 %

Hvis f.eks. den gennemsnitlige procentdel af tid med vindhastigheder over 5 m/s er bestemt til 21 % for et område, hvor den typiske aktivitet kan beskrives som rolig gang eller slentren, da er vindmiljøet i kategorien *acceptabelt* efter SBI-anvisning 128, da grænsen for denne kategori her er 23 %.

For området ved Axeltorv kan 5 m/s kriteriet anvendes som anført i tabel 3.2.

Tabel 3.2. 5 m/s kriteriet for området ved Axeltorv.

Aktivitet	Behageligt	Acceptabelt	Ubehageligt	Meget ubehageligt
Hurtig gang	< 38 %	38 % til 48 %	48 % til 60 %	> 60 %
Slentren	< 18 %	18 % til 28 %	28 % til 50 %	> 50 %
Stå eller sidde i kortere tid	< 3 %	3 % til 10 %	10 % til 30 %	> 30 %
Stå eller sidde i længere tid	< 0.1 %	0.1 % til 4 %	4 % til 20 %	> 20 %

Nærværende betegnelse *behageligt* er en delmængde af specifikationen *acceptabelt* i SBI-anvisning 128. På samme måde er nærværende betegnelse *meget ubehageligt* en delmængde af specifikationen *meget ubehageligt til farligt* i SBI-anvisning 128.

At et område eksempelvis kategoriseres som *acceptabelt* skal forstås som en generel opfattelse af området. Der vil eksempelvis også kunne opleves vejr-situationer, hvor vindmiljøet her føles behageligt eller ubehageligt.

Tabel 3.2 kan ikke bruges direkte til at vurdere vindmiljøet for specifikke vindretninger, især ikke for vindretninger med små hyppigheder.



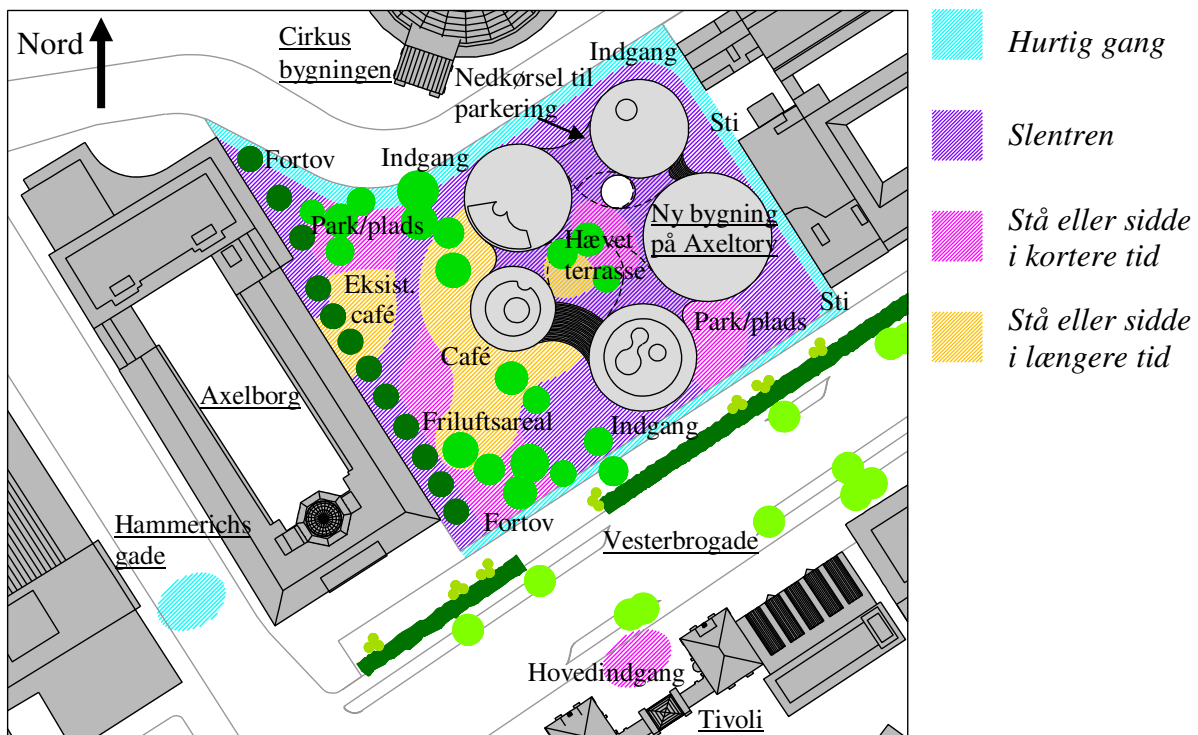
4 Fokusområder

Følgende fokusområder er undersøgt i vindtunnelforsøget og illustreret på figur 4.1:

- Udendørs café - aktivitet: *stå eller sidde i længere tid.*
- Friluftsarealer - aktivitet: *stå eller sidde i længere tid.*
- Hævet terrasse - aktivitet: *stå eller sidde i længere/kortere tid.*
- Parker og pladser - aktivitet: *stå eller sidde i kortere tid.*
- Butiksgader og parker - aktivitet: *slentren.*
- Indgange - aktivitet: *slentren.*
- Fortov og sti - aktivitet: *hurtig gang.*

Vindmiljøet vurderes på terrænen og på den hævede terrasse. De stiplede linjer tværs over den hævede terrasse angiver sammenbygningerne mellem de cylinderformede bygninger, med varierende højde fra, tidligst startende fra 4. etage og op.

Til sammenligning med Axeltorv undersøges vindmiljøet også i Hammerichsgade. For at se den nye bebyggelses indflydelse på vindmiljøet i nærområdet udenfor Axeltorv, undersøges området ved hovedindgangen til Tivoli.



Figur 4.1. Illustration af aktiviteten i fokusområderne ved Axeltorv.



5 Gennemførte målinger

Der er gennemført visualiseringsforsøg og serier af vindhastighedsmålinger med hotwire for at afdække vindmiljøet i området ved Axeltorv.

Visualiseringsforsøg

Resultaterne af visualiseringsforsøgene er vist i Anneks B. Afsnit B.2 viser visualiseringsforsøgene for fire vindretninger på modellen med den nye bebyggelse på Axeltorv og ingen lokal lægivning i form af beplantning. Visualiseringen af vindmiljøet illustreres ved fire fotos. Ved forsøgets start strøs et fint lag hvidt pulver udover terrænet på modellen, se fx figur 5.1. Derefter blæses der på modellen ved lav vindhastighed og den nye fordeling af pulveret registreres med et foto. Ligeledes gøres der med mellem og høje vindhastigheder, se fx figur 5.2, hvor der er blæst med høje vindhastigheder fra en nordlig vindretning.

De fire visualiseringsforsøg i Anneks A viser, at der er betydelige vinde på Axeltorv. For nordlige og sydlige vindretninger fjernes det hvide pulver først på Axeltorv især ved det sydlige hjørne af Axelborg dvs. der er større vindhastigheder her sammenlignet med de omkringliggende områder, hvor der er strøet pulver, se bl.a. Figur 5.2. De øgede vindhastigheder på Axeltorv opstår pga. den kanaliserende effekt for vinden, Axelborg og den nye bebyggelse vil skabe i mellem sig. For vinde fra østlig retning vil der være mere læ på Axeltorv.

Lægivning evt. i form af beplantning vil være nødvendig for at for at bremse vinden tilstrækkelig på Axeltorv, specielt ved det sydlige hjørne af Axelborg, hvis der skal være mulighed for ophold.



Figur 5.1. Visualiseringsforsøg uden vind.








Figur 5.2. Visualiseringsforsøg med høj vind fra nord.



Hotwireforsøg

Resultaterne fra vindtunnelforsøgene med hotwire er vist i Anneks A. Der er udført forsøg med den gamle Scala-bygning på Axeltorv og derefter med den nye bebyggelse. Følgende beplantning, oplyst af Lundgård og Tranberg Arkitekter er anvendt i hotwireforsøgene:

-  Eksisterende beplantning ved Axelborg, ca. 8 m høje
-  Træer på heller, forventet højde max. 8 m
-  Trærække, forventet højde max. 15 m
-  Beplantning i hævede bede, forventet højde max. 5 m
-  Ny beplantning på Axeltorv, ca. 8 m høje

Figurerne A.3.1 til A.3.8 viser vindmiljøet ved den nye bebyggelse og ved den gamle Scala-bygning ved fire forskellige aktiviteter: *hurtig gang*, *slentren*, *stå eller sidde i kortere tid*, og *stå eller sidde i længere tid*. Vindmiljøet er inddelt i kategorierne: *behageligt*, *acceptabelt*, *ubehageligt* og *meget ubehageligt*. De anvendte kriterier herfor er forklaret i tabel 3.2.

Tabel A.4.1 til A.4.3 i Anneks A viser den gennemsnitlige procentdel af tid med vindhastigheder over 5 m/s for hver vindretning og for alle vindretninger sammen. Tallene for alle vindretninger sammen er bestemt ved at addere den procentdel af tiden, hvor vindhastigheden er over 5 m/s for hver vindretning vægtet med sandsynligheden for den givne vindretning.

Brugen af tabellen forklares lettest ved et eksempel: Den gennemsnitlige procentdel af tid med vindhastigheder over 5 m/s er bestemt til 16 % ved målepunkt b6 i forsøget, se tabel A.4.2 i Anneks A. Dette er indenfor kategorien *behageligt* ved aktiviteten *slentren*. Hvis aktiviteten derimod er *stå eller sidde i kortere tid* kan vindmiljøet kategoriseres som *ubehageligt*.

Resultaterne skal ses som overordnede retningslinjer med en usikkerhedsmargin, idet vurdering af vindmiljø er en følelsesmæssig sag, der varierer fra person til person.

Resultaterne fra hotwireforsøgene for den nye bebyggelse på Axeltorv i Anneks A er beskrevet nærmere i kapitel 6.



6 Vindmiljø

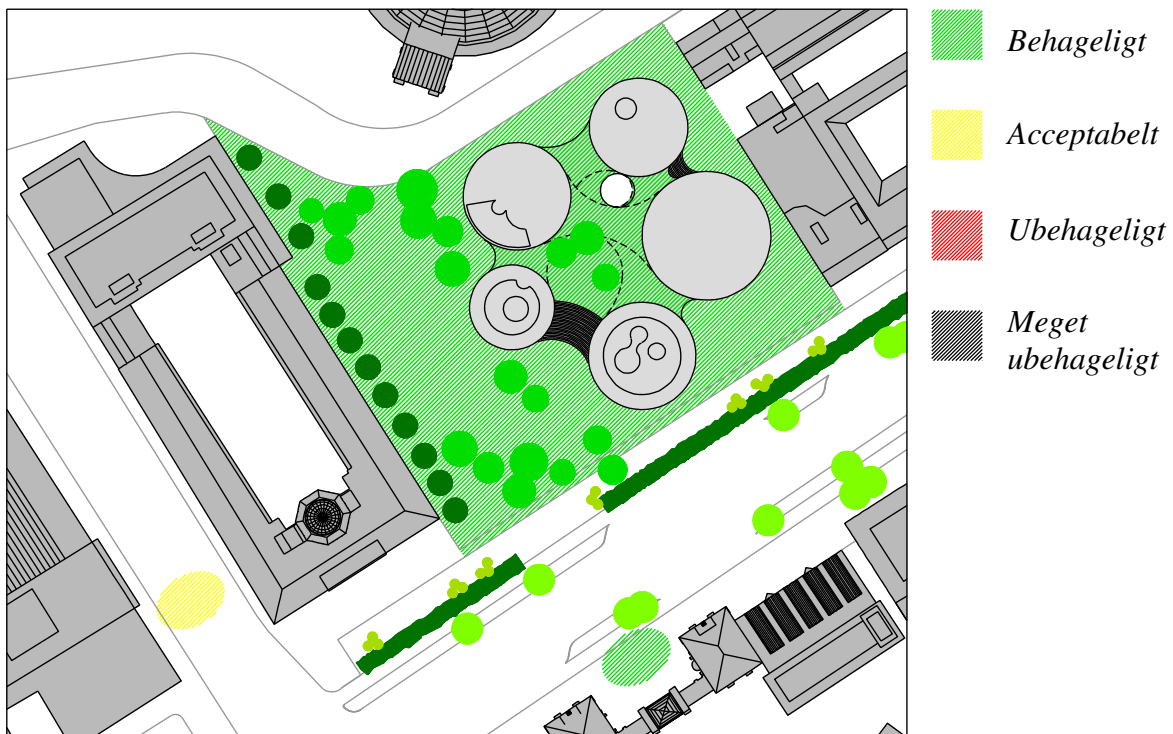
Nedenfor beskrives vindmiljøet som funktion af aktiviteten i området.

Hurtig gang

På figur 6.1 er vindmiljøet ved Axeltorv illustreret under forudsætning af, at den typisk forekomne aktivitet er *hurtig gang*.

Vindmiljøet kan i dette tilfælde karakteriseres som *behageligt* overalt på Axeltorv og ved hovedindgangen til Tivoli. Til sammenligning vil vindmiljøet i Hammerichsgade være *acceptabelt*.

Aktiviteten *hurtig gang* er en hyppigt forekommende aktivitet på fortove og stier.



Figur 6.1. Illustration af vindmiljøet ved Axeltorv ved aktiviteten *hurtig gang*.

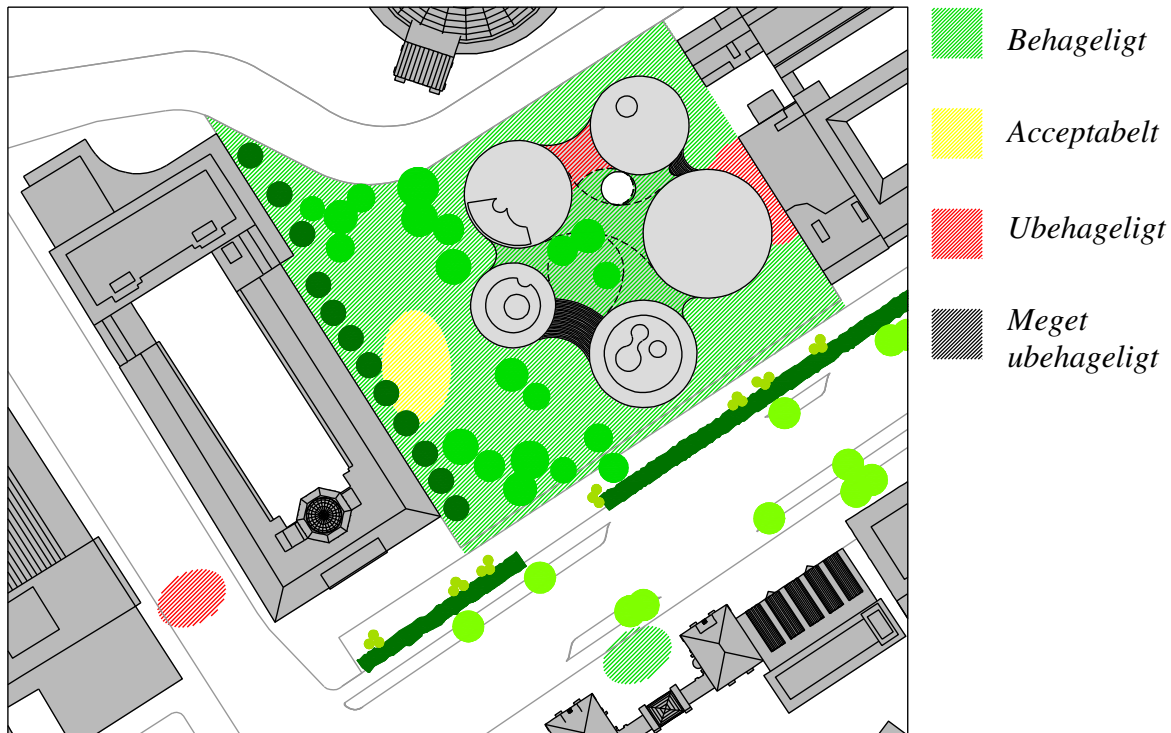


Slentren

På figur 6.2 er vindmiljøet ved Axeltorv illustreret under forudsætning af, at den typisk forekomne aktivitet er *slentren*.

Vindmiljøet kan i dette tilfælde karakteriseres som *behageligt* i store dele af området på Axeltorv og ved hovedindgangen til Tivoli. I et mindre område på Axeltorv vil vindmiljøet kunne beskrives som *acceptabelt*, hvor imod i den smalle passage mellem den nye bebyggelse og den eksisterende bygningen mod nordøst samt på i det nordlige område af den hævede terrasse kan vindmiljøet beskrives som værende *ubehageligt*, grundet kanaliseringen af vinden. Til sammenligning kan vindmiljøet beskrives som *ubehageligt* i Hammerichsgade.

Aktiviteten *slentren* er en typisk forekommende aktivitet i parkområder og ved indgange.



Figur 6.2. Illustration af vindmiljøet ved Axeltorv ved aktiviteten *slentren*.

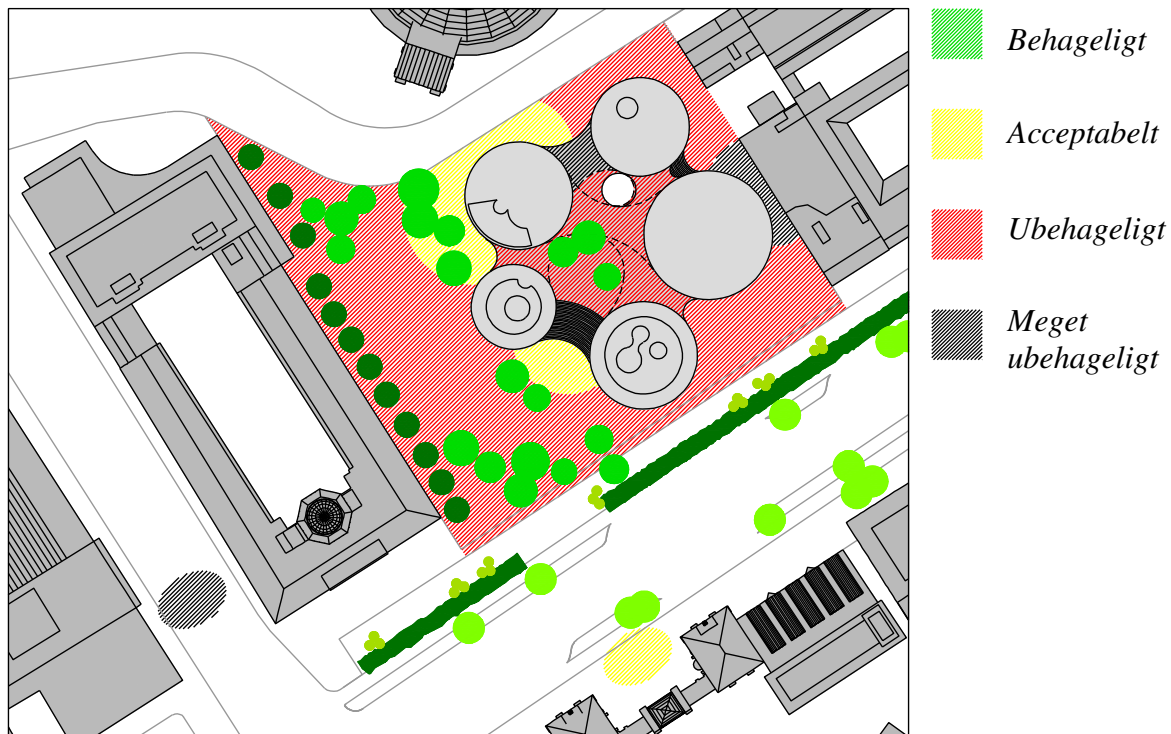


Stå eller sidde i kort tid

På figur 6.3 er vindmiljøet ved Axeltorv illustreret under forudsætning af, at den typisk forekomne aktivitet er *stå eller sidde i kortere tid*.

Vindmiljøet kan i dette tilfælde karakteriseres som *ubehageligt* i store dele af fokusområderne ved Axeltorv. I området på terrænet ved den nordvestlige cylinderformede bygning samt i området inden trappen op mod den hævede terrasse kan vindmiljøet beskrives som *acceptabelt*, hvor imod i den smalle passage mellem den nye bebyggelse og den eksisterende bygningen mod nordøst samt på i det nordlige område af den hævede terrasse kan vindmiljøet beskrives som værende *meget ubehageligt*, grundet kanaliseringen af vinden. Vindmiljøet ved hovedindgangen til Tivoli kan beskrives som *acceptabelt*. Til sammenligning kan vindmiljøet i Hammerichsgade karakteriseres som *meget ubehageligt*.

Aktiviteten *stå eller sidde i kortere tid* er en typisk forekommende aktivitet i parker, opholdsområder og ved større indgange.



Figur 6.3. Illustration af vindmiljøet ved Axeltorv ved aktiviteten *stå eller sidde i kortere tid*.

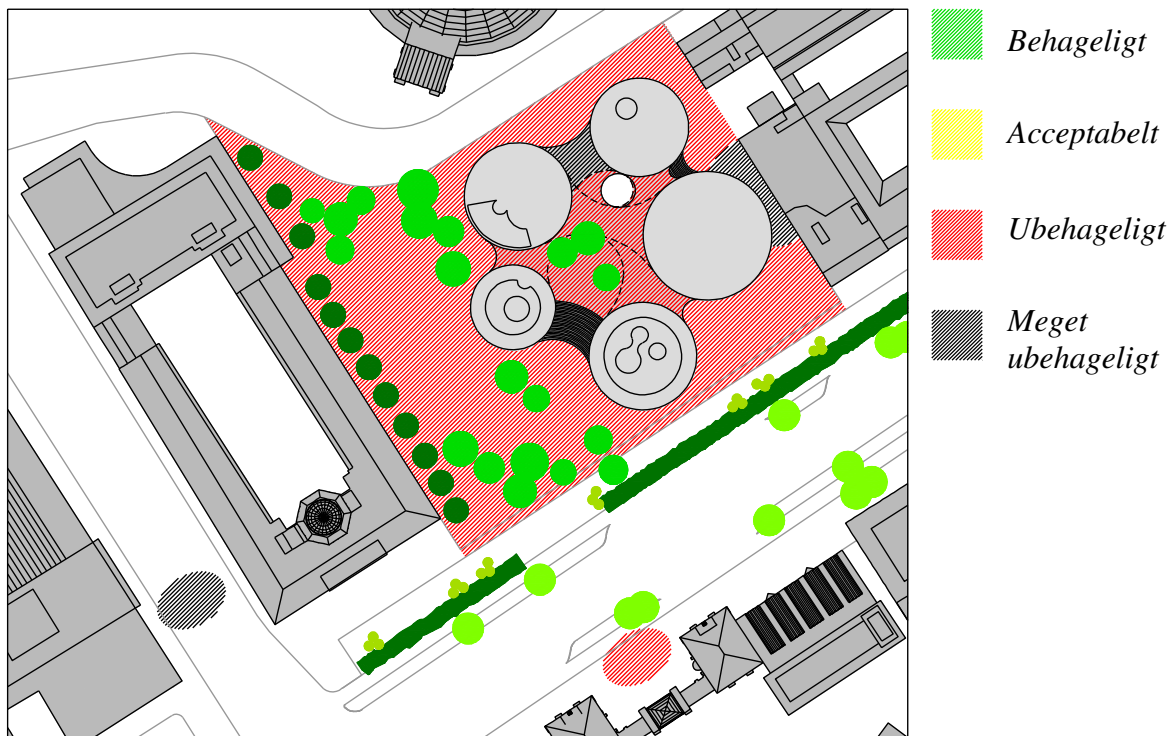


Stå eller sidde i længere tid

På figur 6.4 er vindmiljøet ved Axeltorv illustreret under forudsætning af, at den typisk forekomne aktivitet er *stå eller sidde i længere tid*.

Vindmiljøet kan i dette tilfælde karakteriseres som *ubehageligt* i store dele af området på Axeltorv og ved hovedindgangen til Tivoli. I den smalle passage mellem den nye bebyggelse og den eksisterende bygningen mod nordøst samt på i det nordlige område af den hævdede terrasse kan vindmiljøet beskrives som værende *meget ubehageligt*, grundet kanaliseringen af vinden. Til sammenligning kan vindmiljøet beskrives som *meget ubehageligt* i Hammerichsgade.

Aktiviteten *stå eller sidde i længere tid* er en typisk forekommende aktivitet i udendørs caféområder.



Figur 6.4. Illustration af vindmiljøet ved Axeltorv ved aktiviteten *stå eller sidde i længere tid*.