

Aarhus School of Architecture // Design School Kolding // Royal Danish Academy

Vindmiljø i arkitekturen

Bjerg, Søren Nielsen

Publication date:
2012

Document Version:
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Bjerg, S. N. (2012). *Vindmiljø i arkitekturen*. Arkitekt skolens Forlag.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

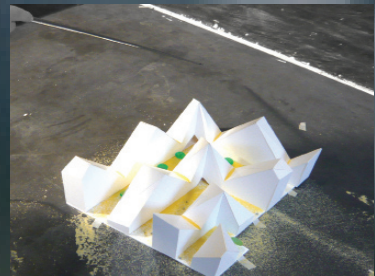
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

VINDMILJØ I ARKITEKTUREN

Søren Nielsen Bjerg



VINDMILJØ I ARKITEKTUREN

Søren Nielsen Bjerg

© Arkitektskolens Forlag / Søren Nielsen Bjerg 2012.

Søren Nielsen Bjerg, lektor, arkitekt MAA, har været leder af Arkitektskolens Vind- Klimalaboratorium fra 1995 til 2011.

Grafisk tilrettelægning ved forfatteren og Rikke Øvad.

Udgivet med støtte af Thorvald Dreyer og hustrus fond.

Arkitektskolens Forlag
Nørreport 20
DK 8000 Aarhus C
Telefon +45 89360000
forlag@aarch.dk
www.aarch.dk

Tak til DMI, Claus Houlberg, Jesper Theilgaard, Erik Reitzel, Claus Bonderup, Harald Hoyem, Ulla Westerberg og tegnestuen Cebra for tilladelse til at bruge originale tegninger og fotos.

Indhold

5 Forord

7 Vind og vejr

- 8 Vind
- 9 Friktionslaget
- 10 Vindmåling og data
- 11 Vind og vejr i Danmark

13 Vindmiljø og komfort

- 14 Egenskaber og påvirkninger
- 15 Klimakomfort
- 16 "Stillesiddende" udeophold
- 17 Vejr- og vindudsatte trafikanter

19 Vindmiljø og lægivere

- 20 Vind og form
- 21 Vindmiljø i terræn
- 22 Vindmiljø omkring bygninger
- 23 Vindmiljø i bebyggelser
- 24 Vindmiljø i byrum
- 25 Læskærme
- 26 Grønne lægivere
- 27 Jordvolde og diger

29 Metoder og redskaber

- 30 Registrering af vinddata
- 31 Registrering af lokale vindforhold
- 32 Modelforsøg
- 33 Dokumentation

35 Projekter

- 36 Lokal byggeskik
- 37 Huse formet efter vinden
- 38 Etagehuse
- 39 Grønne lægivere
- 40 Læskærme

42 Vindvisere og mobiler

43 Vindskala

44 Litteraturliste m. m.

Forord

Det blæser meget i Danmark - det giver mange gener og ubehagelige oplevelser, når vi skal opholde os eller færdes udendørs.

I de nære udeopholdsrum i forbindelse med vore boliger, institutioner, arbejdspladser m.m. kan en generende vind nedsætte brugsværdien og dermed nødvendiggøre en lægivende formgivning.

Gågader, torve og pladser i vore byer er blevet populære samlingssteder året rundt. Også her kan gener fra vinden nedsætte og kræve en indsats i den arkitektoniske udformning for at skabe læ.

Vinden har betydning for bygningers energiforbrug og naturlige ventilation, begge dele vigtige for en bæredygtig arkitektur. En lægivende udformning af bebyggelsesplaner kan mindske energiforbruget og gavne miljøet generelt.

Vi kan som arkitekter ikke ændre vort vindblæste klima, men vi kan lokalt, gennem en bevidst formgivning som også inkluderer vindmiljøet, være med til at imødegå nogle af de gener og ubehagelige oplevelser, som vinden medfører.

"Vindmiljø i Arkitekturen" er tænkt som et "værktøj", som skal hjælpe arkitekter til at leve op til disse bestræbelser. Inspiration til indholdet er hentet fra undervisning og opgaver udført på Aarhus Arkitektskoles Vind- og Klimalaboratorium, suppleret med relevant materiale fra faglitteratur om vindmiljø. Indholdet er givet en systematisk og overskuelig form, som kortfattet introducerer viden og metoder til brug i konkrete opgaver. Ved behov for yderligere information og fordybelse henvises til litteraturlisten.

Søren Nielsen Bjerg



Vind og vejr

En grundlæggende viden om vind og vejr kan være en nyttig baggrund i opgaver, hvor vindmiljøet er i fokus. En sådan viden kan også forklare vindmiljøets stedbundne karakter, og at vindmiljøet ikke to steder er ens og derfor må nyvurderes fra opgavested til opgavested - et forhold som gælder såvel globalt som regionalt og lokalt.

Indledningsvis er derfor samlet et materiale om vind og vejr, som i grove træk fortæller om sammenhængen mellem den globale vindcirkulation og regionale og lokale vinde, og hvordan disse sammen med lokale geografiske og landskabelige forhold er bestemmende for vindmiljøet i forskellige egne af Danmark. Hovedparten af indholdet er hentet fra faglitteratur, udarbejdet af meteorologer og klimaforskere.

Vind

Drivkraft

Solindstrålingen er drivkraften i globale og lokale vinde. Hvor jordoverfladen varmes op af solens stråler, stiger luftmasserne til vejrs, og der dannes lavtryk. Hvor de afkølede luftmasser synker ned igen, dannes der højtryk. Vind blæser ved jordoverfladen fra områder med højtryk mod områder med lavtryk. På grund af jordens rotation afbøjes vinden. På den nordlige halvkugle afbøjes vinden mod venstre, og på den sydlige halvkugle mod højre.

Globale vindsystemer

Den store temperaturforskel på jordens overflade mellem polerne og ækvator, som skyldes variationen i solindstrålingens intensitet på grund af jordens kugleform, danner på de to halvkugler en række klimabælter med meget forskellige vindforhold.

I de to bælter omkring ækvator danner den stærke opvarmning af luftmasserne to cirkulerende luftstrømme, som ved jordoverfladen giver en jævnt strømmende vind i retning mod ækvator, de såkaldte passatvinde. I polarområderne omkring de to poler ligger de afkølede, tungere luftmasser næsten stille. I vestenvindsbælterne, hvor den kolde polarluft og den varme tropiske luft mødes i hyppige frontdannelser, er aggressive vinde og skiftende vindretninger karakteristiske det meste af året.

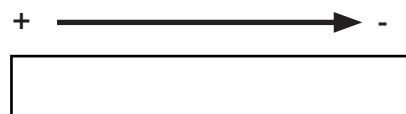
På grund af jordens skiftende stilling i forhold til solindstrålingen hen over året ændres vindforholdene fra sommer til vinter i de enkelte klimabælter. Kun ved jævndøgn, forår og efterår, er atmosfærens cirkulation på de to halvkugler symmetrisk omkring ækvator. Også variationer mellem land- og havområder påvirker de enkelte klimabælters geometri og udstrækning og dermed også mønstret i de globale vindsystemer.

Danmarks beliggenhed i vestenvindsbæltet på den nordlige halvkugle er bestemmende for grundtrækkene i vindmiljøet, vi her lever i.

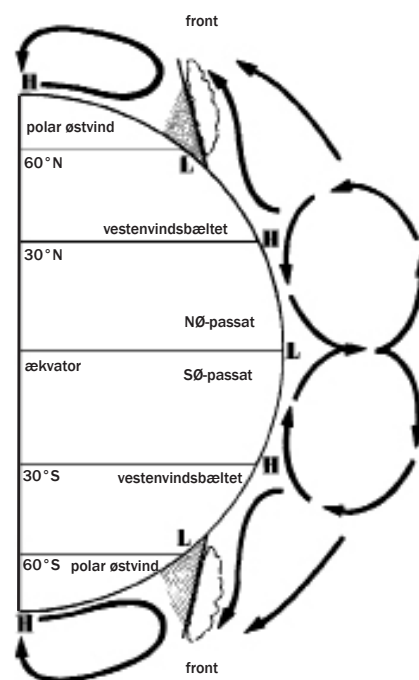
Lokale og regionale vinde

Lokale og regionale vinde vil, som de globale vinde, være et resultat af termiske variationer på jordoverfladen. I bjergrige lande kan temperaturforskellen mellem bjergtoppe og dale skabe markante vinde, som kan påvirke vindmiljøet radikalt. I tropiske områder kan høje havtemperaturer udvikle tropiske orkaner med vindstyrker, som over land kan vælte træer og huse.

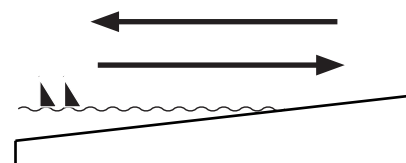
I Danmark er søbrisen ved vore kyster, som skyldes temperaturforskellen mellem land og vand, den mest markante, lokale vind, og hovedårsagen til at kystnære områder er mere forblæste end områder inde i landet.



Vind blæser ved jordoverfladen fra områder med højtryk mod områder med lavtryk.



Skematisk snitafbildning af atmosfærens cirkulation på grund af de store forskelle på temperaturen mellem polerne og ækvator efter Jesper Theilgaard. Kilde: Vejret omkring os.



Søbrisen skifter retning fra nat til dag afhængig af temperaturforskellen mellem land og vand.

Friktionslag

Ruhed

I den nederste del af atmosfæren bremses vinden af friktionen med jordoverfladen og den deraf følgende reduktion af hastigheden. Jordoverfladens beskaffenhed eller "ruhed" bestemmer styrken af opbremsningen og påvirkningen af hastigheden op i atmosfæren. Den del af atmosfæren, der herved påvirkes, kaldes friktionslaget.

Vindhastighedsprofil

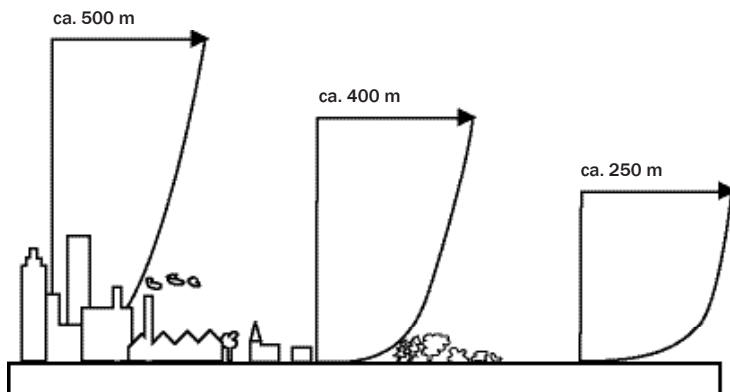
Friktionslagets højde over terrænen varierer. Højden er størst, hvor ruheden er størst, f. eks. ved terrænen med høj, bymæssig bebyggelse - og lavest, hvor ruheden er mindst, f. eks. over bar mark og vandområder. Normalt inddeles landskabet i tre ruhedsgrader. Reduktionen af vindhastigheden i friktionslaget kan tegnes som en kurve, "vindhastighedsprofilen", som fortæller om opbremsningen af hastigheden i forskellig højde over terrænen. Den stærkt stigende vindhastighed i den nederste del af friktionslaget er medvirkende årsag til det ofte turbulente vindmiljø, vi oplever omkring højhuse. Ved modelforsøg i vindtunnel har etablering af korrekt vindhastighedsprofil betydning for præcisionen i forsøgene.

Turbulensfrekvens

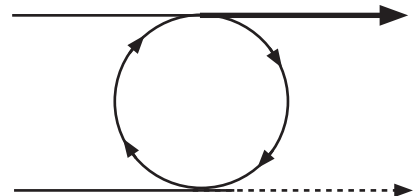
I friktionslaget består vinden af lufthvirvler af forskellig størrelse, skabt ved opbremsningen fra terrænen, vegetation og bebyggelse. Jo større ruhed, desto kraftigere opbremsning og dermed turbulens og hvirveldannelse.

Frekvensen af turbulens- og hvirveldannelse påvirkes også af vindhastigheden. Ved høje vindhastigheder opleves vindmiljøet ved jordoverfladen mere uroligt og stødende end ved lave. Specielt i byområder med høj bebyggelse vil høje vindhastigheder medføre et turbulent vindmiljø.

Turbulensfrekvensen kan i en konkret opgave bruges i en vurdering af karaktertrækkene i det lokale vindmiljø.



Paragliding og opsætning af drage kan give et godt kendskab til vindforholdene i den nederste del af atmosfæren.



Turbulens kan være selvforstærkende og medføre urolig og stødende vind.
Kilde: Vind- og læ i bebyggelser

Vindhastighedsprofil for landskab med forskellig ruhedsgrad efter Melander m. fl.

Kilde: SBI-anvisning 181

Vindmåling og data

Beaufort

Englænderen Beaufort udarbejdede i 1805 en vindskala på baggrund af visuelle observationer af vindens virkning på de fysiske omgivelser. I første omgang til vands til brug for søfarten, senere omformuleret til brug på landjorden. På vandet var det bølgenes højde og størrelse, som var målestokken. På landjorden var det rusk i grene og blade. Han inddelte sine observationer i 12 skalatrin, en inddeling som stadig bruges ved beskrivelse af vindhastigheder.

Vindmåling

Med opfindelsen af anemometret til måling af vind blev det muligt at omsætte vindhastigheden til mere præcise tal. På grund af vindens urolige karakter angives måling af vindhastighed som gennemsnitshastigheden for den målte periode, evt. suppleret med højeste og laveste hastighed i vindstødene - vind/max og vind/min. I Danmark anvendes måleenheden meter pr. sekund, forkortet m/s. I engelsktalende lande angives vindens hastighed i knob.

Vindmålinger udføres i Danmark af Meteorologisk Institut fra målestationer spredt ud over landet. For at gøre måleresultater sammenlignelige udføres målingerne efter ensartede regler, som også gælder internationalt. Alle målinger udføres 10 meter over terræn i et åbent landskab med god afstand til bebyggelse og beplantning, som kan påvirke måleresultatet. Målinger udskrives systematisk på baggrund af måling i en 10 minutters periode i hver time.

Vinddata

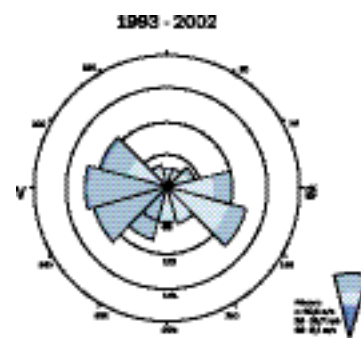
I Danmark har der været foretaget målinger af vinden i over 100 år. Der foreligger således et omfattende målemateriale, som kan fortælle, hvilke vindretninger og hastigheder der har været fremherskende i forskellige egne af landet i den målte periode. Målingerne bearbejdes statistisk for 10 og 30 års perioder og udgives som tabeller eller vindroser.

Vindrose

Vindrosen er en kompasrose inddelt i sektorer a' 30°. Størrelsen på hver sektor afspejler tiden, det blæser fra den pågældende retning, og en signatur fortæller om vindhastigheden inddelt i 3 kategorier. Vindroser udarbejdes som standard måned for måned eller for et helt år for alle DMI's målestationer. En sammenligning af vindroser fra målestation til målestation kan give et billede af forskellen i vindforholdene fra egn til egn. Vindroser fra danske målestationer er tilgængelige på www.DMI.dk, og i publikationer fra DMI.



Kopanemometer til måling og registrering af vindretning og hastighed.



Vindrose udtegnet for målestation Billund.
Kilde: www.dmi.dk



Danmarkskort fra DMI's hjemmeside med placering af aktuelle målestationer.
Kilde: www.dmi.dk

Vind og vejr i Danmark

Karakteristiske hovedtræk:

Det danske vindmiljø er i hovedtræk bestemt af landets geografiske beliggenhed i vestenvindsbæltet på den nordlige halvkugle.

Det europæiske fastland og det nordatlantiske havområde med den lune golfstrøm udgør vindenes dannelsesområder og har afgørende indflydelse på vindenes temperaturer og fugtighed. Vestlige vinde påvirkes af temperaturen i Vesterhavet og er kølige om sommeren og milde om vinteren, og østlige vinde påvirkes af temperaturen på det europæiske fastland og er lune om sommeren og kolde om vinteren. En kortfattet karakteristik kan se således ud:

- Vestlige vinde er dominerende det meste af året, men vindretningen er generelt meget omskiftelig.
- De hårdeste vinde kommer fra vestlige retninger. Der er herfra lokalt målt vindstød på over 50 m/s.
- Vindstille forekommer kun sjældent (ca. 2% af tiden).
- Forårs-, efterårs- og vintermånederne er de mest blæsende.
- De koldeste vinde er vinterwinde fra øst, som ofte medfører kuldegrader og sne.
- Vind fra nordlige retninger forekommer sjældnest.

Lokale variationer

Lokalt rundt om i landet forekommer variationer i vindforholdene. I kystområder vil vindhastighederne generelt være højere end inde i landet, bl. a. på grund af søbrisen. Vestjylland er på grund af den dominerende vestenvind og lave ruhed mere forblæst end den øvrige del af landet. Byområder med tæt, høj bebyggelse vil generelt have mindre vind end det åbne land. Til gengæld vil vinden være mere turbulent og uforudsigelig. I overgangen mellem byen og det åbne land, især mod vest, vil der altid være en ekstra kraftig vindpåvirkning, som kræver særlig opmærksomhed.

Drivhuseffekt

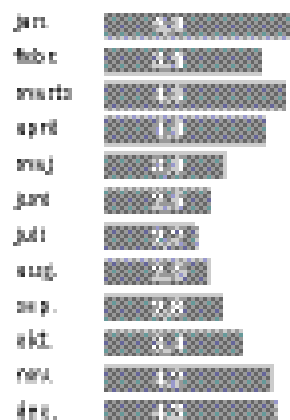
Drivhuseffekten vil generelt øge behovet for hensyntagen til vinden ved formgivning af vore fysiske omgivelser. Drivhuseffekten forventes i vores del af verden at medføre et mere aggressivt vindmiljø med flere vinde af stormstyrke. Årsagen er en stigende temperaturforskel mellem polerne og ækvator og et dermed øget behov for ventilerende, globale vinde til udligning af denne. Vindhastighedsrekorden med et vindstød på 52 m/s, målt på Fanø, som blev sat i decemberstormen i 1999, må antages at være en konsekvens af denne udvikling. Den tidligere rekord lå på 32 m/s.



De mange levende hegn i landskabet fortæller om et klima, hvor læ for vinden er vigtig for afgrøder og gårde.



Bynavn i en vindblæst egn ved Limfjorden.



Antal dage pr. måned med vindstyrke over 10 m/s.

Kilde: DMI

Konklusion:

Hvor bør man tage særligt hensyn til vindmiljøet ved formgivning af vore fysiske omgivelser?

- *Langs alle kyster og større vandområder*
- *I det åbne land*
- *I overgangen mellem by og åbent land*
- *I byområder med et turbulent vindmiljø*

Hvilke vinde og vindretninger skal man være særlig opmærksom på?

Hele året:

- *Vinde fra vestlig retning er dominerende og kan opnå de største hastigheder*

Specielt i vinterhalvåret:

- *De kolde vinde fra øst*



Vindmiljø og klimakomfort

Vinden har såvel gode som dårlige egenskaber, som påvirker os ved ophold udendørs. Vindens ventilerende egenskab er generelt helt afgørende for vores sundhed og velbefindende. Vindens mekaniske og termiske påvirkninger har såvel positiv som negativ indflydelse på vort velbefindende. Ved udeophold omkring vore bygninger eller i by- og landskabsrum er det disse egenskaber, som sammen med solindfaldet er grundlæggende bestemmende for klimakomforten.

Til inspiration i konkrete opgaver er i dette afsnit samlet et udpluk af klimaforskeres undersøgelser og anvisninger på, hvor og hvornår og for hvem der er grund til at være særlig opmærksom på klimakomforten ved formgivning af udeopholdsrum.

Vindpåvirkning

Ventilation

Vindens ventilerende egenskaber er helt afgørende for vores sundhed og velbefindende og bør generelt have høj prioritet ved disponering og formgivning af byer og byrum. Med vinden fjernes forurenede luft fra luftforurenende virksomheder, og der tilføres ny, frisk luft fra atmosfæren. Luftforurenende virksomheder bør placeres under hensyntagen til dominerende vindretninger, så forurenede luft blæses væk fra bymæssig bebyggelse. Udstødningsgasser fra motoriseret trafik er en væsentlig forureningskilde i vore byer, som bør nedbringes ved en udformning og orientering af trafikerede byrum, som bedst muligt sikrer gennemstrømning af ventilerende vind. Generelt bør luftforurening bekæmpes ved kilden.

Mekanisk påvirkning

Ved vindens møde med fysiske genstande overføres kræfterne i vinden som tryk- og trækkræfter - et kendt fænomen ved konstruktion af bygninger, hvor stabilitet og holdbarhed dimensioneres til at modstå disse påvirkninger. Ved en fordobling af vindhastigheden øges vindkræfternes påvirkning med næsten det firedobbelte. Ved bygninger er det ofte trækkræfterne eller suget, som er årsag til kollaps. På mennesker vil gener på kroppen fra den mekaniske påvirkning begynde ved vindhastigheder på 4-5 m/s. Vindhastigheder over 10 m/s kan give begyndende balanceproblemer - specielt ved stødende vind. Over 20 m/s kan opstå vanskeligheder med at holde sig oprejst. Ved turbulens med stødende vind vil generne fra vindens mekaniske påvirkning generelt være større end ved jævnt strømmende vind.

Termisk påvirkning

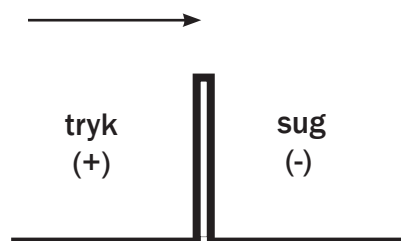
Legemer afgiver varme til omgivende luft. Ved vindstille er varmeafgivelsen proportional med temperaturforskellen. Ved stigende vindhastighed øges varmeafgivelsen/konvektionen efter en progressiv skala.

For bygninger har vindens termiske påvirkning indflydelse på varmeafgivelsen til omgivelserne og dermed energiforbruget til opvarmning. For menneskekroppen betyder vindens termiske påvirkning, at vi ved ophold udendørs må beskytte os det meste af året med vindtæt påklædning for at opretholde en behagelig kropstemperatur. Fysisk aktivitet, solindfald og luftfugtighed har også betydning for termisk komfort ved udendørs ophold.

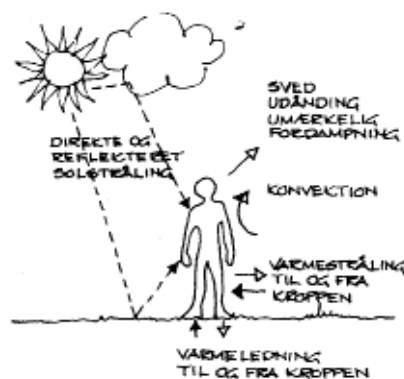
I lande med et varmere klima vil prioriteringen af vindens termiske egenskaber være anderledes. Her vil vindens kølende egenskaber ofte medvirke til at forbedre klimakomforten og derfor have højere prioritet ved formgivning af de fysiske omgivelser.



Udstødningsgasser fra biler er en væsentlig forureningskilde i byrum.



Mekanisk påvirkning på grund af overtryk og undertryk på simpel skærm med den givne vindretning ifølge P. Gammel.
Kilde: Statik og konstruktiv forståelse



Faktorer som sammen med påklædning påvirker varmebalancen mellem menneskekroppen og omgivelserne ifølge Claus Houlberg.
Kilde: Vind og læ i bebyggelser

Klimakomfort

Komfortkriterier

Klimakomfort varierer fra person til person, og det kan derfor være vanskeligt at fastlægge præcise, objektive kriterier i konkrete opgaver. De fleste af de eksempler, vi kender, på steder med et ubehageligt vindmiljø kommer fra brugere eller brugergrupper, som på baggrund af individuelle oplevelser har ytret sig negativt om vindmiljøet, og fra egne oplevelser ved udendørs færden.

Vindmiljøforskning

Fra forskningen kan hentes nogen inspiration til, hvor og hvornår det er nødvendigt at forbedre vindmiljøet med læggivende tiltag. Flere forskeres undersøgelser af vindmiljøet i byrum med et ubehageligt, turbulent vindmiljø viser samstemmende, at vindhastigheder over 5 m/s forekommer over 20 % af den målte tid. 5 m/s kriteriet er dog ikke nogen ubetinget grænse, men en indikation på at en forbedring af vindmiljøet kan være påkrævet. I private udeopholdsrum vil komfortgrænsen for et acceptabelt vindmiljø være betydeligt lavere. Disse undersøgelser knytter sig alle til steder, hvor brugergrupper samstemmende har ytret sig negativt om vindmiljøet, og hvor forskere efterfølgende har målt og registreret vindforholdene over en længere periode.

Ud over vindhastighed, turbulens og varighed peger vindforskere på fysiologiske og psykologiske forhold hos brugere af vore udeopholdsrum som et væsentligt kriterium for bestemmelse af komfortniveau i en konkret opgave. Fra denne forskning kan hentes viden om, hvilke brugergrupper der bør vises særlig opmærksomhed ved fastlæggelse af komfortkriterier i forbindelse med planlægning og udformning af vore fysiske omgivelser.

- Alder - hos ældre mennesker svækkes fysikken, hvilket kan gøre denne aldersgruppe særlig følsom over for især urolig og stødende vind. Visse typer af handicappede kan have tilsvarende komfortproblemer.
- Motivation - f. eks. en tur til stranden for at blive blæst godt igennem - en vindoplevelse, som generelt er positiv - i relation til at stå og vente på bus eller tog en kold, blæsende vinterdag - en vindoplevelse, som generelt er negativ
- Aktivitet - generelt er kravet til komfortniveau højere ved udeophold med stillesiddende aktivitet end udeophold med fysisk aktivitet.
- Lokale traditioner - livsstil, adfærd og påklædning indretter sig efter klimaet og dermed opfattelsen af et tilfredsstillende vindmiljø.



Vindoplevelse ved 20 m/s i vindtunnel.

“Stillesiddende” udeophold

Sæsonlængde

Sæsonen for “stillesiddende” udeophold i Danmark er relativ kort. Sæsonens varighed svinger fra år til år med juni, juli og august som kerneperioden, hvori klimaet tillader, at vi kan flytte udenfor med aktiviteter, vi normalt laver indendørs. I det blæsende danske klima er gennemtænkte læforhold generelt med til at øge kvalitet og sæsonlængde for udeophold betydeligt.

Boligens uderum

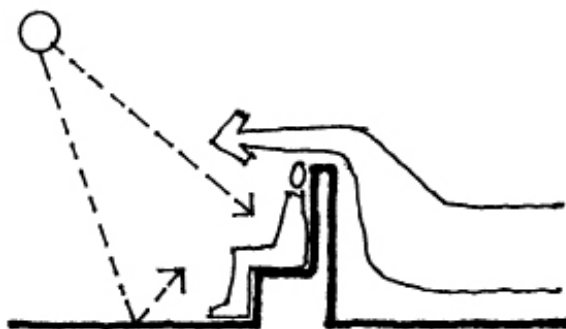
I boligens uderum - altaner, terrasser, gård- og haverum - er læ for vinden helt afgørende for brugsværdien. I den korte udeopholdssæson er soldyrkning en aktivitet, som kræver læ. Med grillen er tilberedning og indtagelse af mange måltider udendørs blevet en vigtig del af livsstilen i udendørssæsonen. En effektiv lægivning vil øge brugsværdien af vore udeopholdsrum til begge disse formål væsentligt.

Udeservering

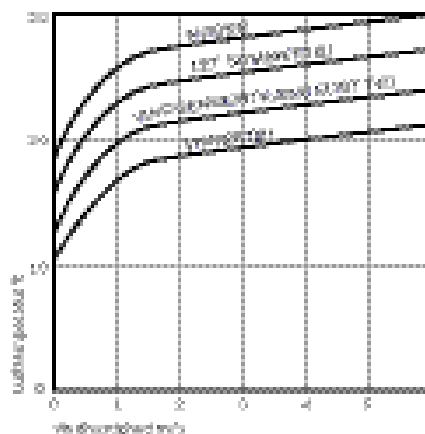
Udeservering i forbindelse med cafeer og restauranter stiller generelt samme krav til komfort og læ som boligens uderum. Udesæsonen er her dog betydelig længere bl. a. på grund af udviklingen i gågadelivet i vore større byer, og strækker sig efterhånden over hele året.

“Fang solen og skærm for vinden”

Lufttemperaturen er grundlæggende bestemmende for komfortniveauet udendørs, men påvirkes lokalt af solindfald og vind. Solindstrålingen varmer, og vinden køler. Derfor kan god solorientering sammen med læ for vinden lokalt forbedre komfortbetingelserne væsentligt og strække udeopholdssæsonen ud til forårs- og efterårsmånederne.



En lægivende, solorienteret “gryde” er her med til at forbedre komfortbetingelserne for stillesiddende udeophold.



Krav til komforttemperaturen ved stillesiddende udeophold efter Penwarden og Wise. Kilde: SBI- anvisning 181

God solorientering og læ har især betydning i de kølige forårs- og efterårsmåneder.

Vejr- og vindudsatte trafikanter

Offentlige uderum

I forbindelse med bebyggelsesplanlægning og byrumsdesign i det blæsende danske klima bør læ for vinden og klimakomfort generelt være et vigtigt formgivningshensyn.

Gågader, torve og pladser

Gågader, torve og pladser, specielt i de centrale bydele, er blevet byens udestuer og mødesteder året rundt. Et ubehageligt, turbulent vindmiljø kan være med til at forringe komfortbetingelserne og dermed brugen af disse steder - et problem, som desværre er rimelig udbredt.

Veje og stier

Ved planlægning og udformning af veje og stier for vejr- og vindudsatte trafikanter som fodgængere og cyklister, bør hensynet til vinden være med i overvejelserne. Denne type trafikanter omfatter mange ældre og handicappede, brugergrupper for hvem der generelt bør udvises særligt hensyn til klimakomfort i uderum.

Ventesituationer

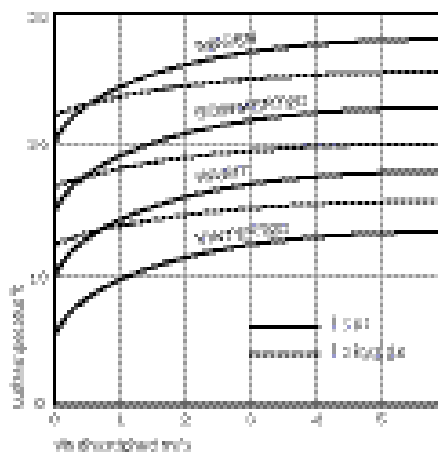
Opmærksomhed bør udvises ventesituationer som f. eks. busstoppesteder og lignende, hvor vind og træk kan være stærkt generende specielt i de kolde vintermåneder, hvor vindens termiske påvirkning er ubehagelig selv ved beskeden vindhastighed.

Fritidsaktiviteter

Uderum til forskellige former for fritidsaktiviteter som leg og idræt bør af hensyn til såvel udøvende som tilskuere sikres en passende afskærmning for vinden. Mange idrætsgrene stiller særlige krav til vind/læforhold, som bør undersøges nærmere, inden en endelig udformning finder sted.



På en kold blæsende vinterdag kan læ for vinden hæve klimakomforten væsentligt, når der ventes på bussen.



Krav til komforttemperaturen ved langsom gang for forskellige grader af påklædning i henholdsvis sol og skygge efter Penwarden og Wise.

Kilde: SBI-anvisning 181

Turbulent vind opleves som pludselige vindstød, der kan give balanceproblemer ved høje vindhastigheder.

Kilde: Vind og læ i bebyggelser

Konklusion:

Hvor bør der ydes en særlig formgivningsindsats for at skabe læ i forbindelse med udeophold under danske klimabetingelser?

- *I boligens uderum - altaner, terrasser, gård - og haverum mv.*
- *I offentlige rum - torve, pladser og gågader generelt - og især udeserveringsarealer i forbindelse hermed*
- *På ventepladser til kollektiv trafik*
- *På sports- og legepladser*
- *I bebyggelser som helhed - af hensyn til vindmiljø, energibesparelse og mikroklima*



Vindmiljø og lægivere

Vindens møde med det fysiske miljø i vore omgivelser - terræn, vegetation og bygninger - er bestemmende for det vindmiljø, vi oplever lokalt, når vi færdes udendørs - oplevelser som ofte er overraskende og uforudsigelige.

I vindforskningen kan findes forklaringer på, hvordan vinden opfører sig ved mødet med vore fysiske omgivelser - terræn, vegetation og bebyggelse - og som kan give viden og inspiration til brug i konkrete projekter.

Fra denne forskning er samlet et udvalg af typiske eksempler, som har været genstand for forskernes undersøgelser og visualiseringer. Eksemplerne, hvoraf de fleste er baserede på modelforsøg i vindtunnel, er generelt forenkledede i deres formvalg og detaljering i forhold til konkrete projekter, og må derfor kun bruges vejledende.

Vind og form

Vindmiljø

I beskrivelsen af vindmiljø skelnes mellem to vindformer:

- Fri vind - en laminær luftstrøm med samme retning.
- Turbulens - vind opløst i cirkulære hvirvler.

Fri vind er kun påvirket af trykforskelle i atmosfæren. Turbulens er hvirveldannelser, som opstår ved mødet mellem fri vind og en fysisk form. De to begreber kan bruges om vind i såvel stor som lille skala.

Trykforhold, vindhastighed og turbulens

Ved mødet med en fysisk form bremses vinden, og der dannes overtryk i vindsiden og undertryk i læsiden. Omkring de to trykzoner øges vindhastigheden. Inde i trykzonerne dannes hvirvler med forskellig retning og hastighed. Med øget vindhastighed øges trykforskellen mellem vindside og læside og dermed også hvirveldannelse og turbulens.

Læzoner

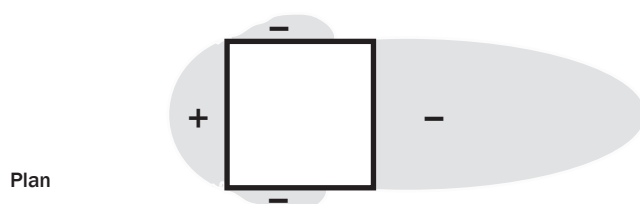
Ved vindens opbremsning opstår zoner med reduceret vindhastighed. I vindsiden en læzone med overtryk, og i læsiden en noget større zone med undertryk. Inden for læzonen vil vinden cirkulere med varierende hastighed. Lævirkningen kan beskrives som reduktionen af hastigheden i forhold til fri vind udtrykt i procent.

Geometri

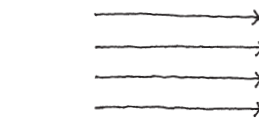
Formens geometri er bestemmende for omfang og mønster i turbulensdannelse og læzoner. Runde former eller former med afrundede hjørner giver en mere turbulensfri vindstrøm end kantede. Kun dråbeformen kan give en turbulensfri strømning.



Snit



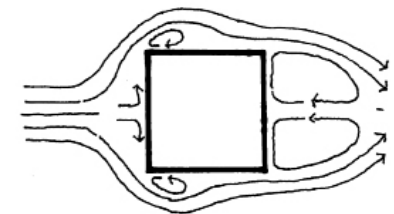
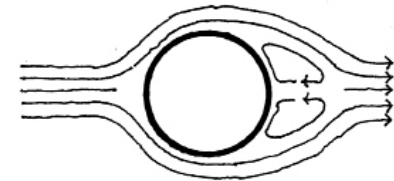
Plan



Fri vind



Turbulens



Mønstre i vindstrøm og turbulens omkring fysiske former med forskellig geometri efter Glaumann m. fl.

Kilde: Klimatplanering /Vind

Læzoner og trykforhold omkring en kubisk bygningsform placeret på et plant terræn efter Evans.

Kilde: Klimatplanering /Vind

Vindmiljø i terræn

Terrænformer

Vindens bevægelsesmønster og hastighed hen over landskabet påvirkes af terrænets form. I et plant slettelandskab vil vindens retning og hastighed kun påvirkes af evt. vegetation og vådområder. I et bakket landskab kan vindens retning og hastighed ændres væsentligt ved mødet med terrænets former.

Vindhastighed og læ

I det bakkede landskab vil vindhastigheden påvirkes af terrænets form efter følgende principper:

- Henover bakkedoppe presses luftmasserne sammen, hvorved vindhastigheden øges. I lavninger og dale udvides luftmasserne, hvorved vindhastigheden modsvarende dæmpes.
- Terrænets hældningsgrad vil påvirke mønstret i vindens hastighed og strømning. Mødet med stejle skrænter ($\geq 30^\circ$) tvinger vinden opad og påvirker vindprofilet højt over terræn. Et forhold som er særlig tydeligt ved erosionskyster med stejle skrænter mod havet.
- I sammenhængende dalstrøg kan opstå vindkorridorer med øgning af vindhastigheden. Fænomenet er mest udbredt i dalstrøg parallelt med dominerende vindretning. Vandområder i bunden af disse dalstrøg kan yderligere øge hastigheden.

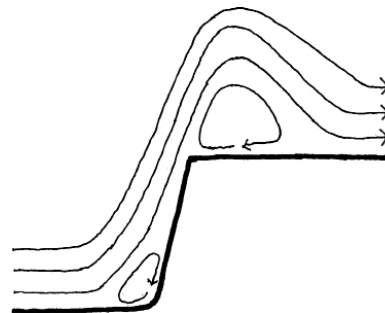
Ved lokalisering og placering af bygninger og bebyggelser i terrænet bestemmes de grundlæggende vindmiljøbetingelser og behovet for lægivende tiltag.



Bakke



Dal



Skrænt

Eksempler på vindstrømning, turbulens og lædannelser henover kuperet terræn efter Melander med fl.

Kilde: Vind og læ i bebyggelser

Vindudsat og lægivende placering af bygning i kuperet terræn.

Vindmiljø omkring bygninger

Principper

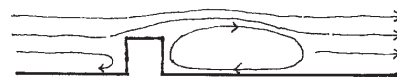
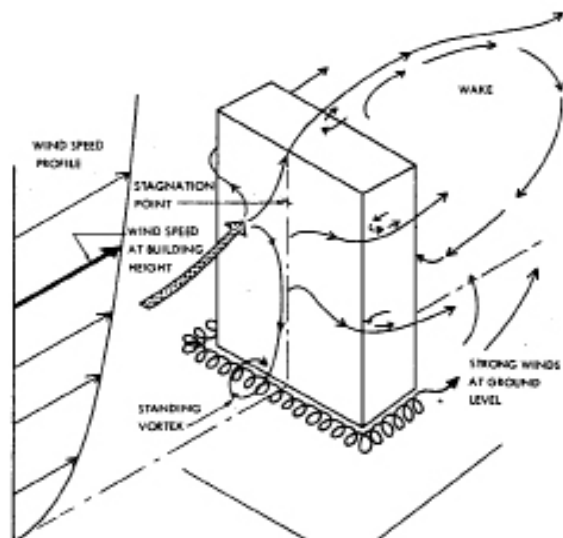
Vindmiljøet omkring solitære bygninger følger i princippet de samme regler, som beskrevet under vind og form. Ved mødet med bygningsformen bremses vinden op, og der dannes overtrykslæ i vindsiden og undertrykslæ i læsiden. Omkring de to læzoner vil vindhastigheden øges. Ved bygningens hjørner vil i vindsiden dannes markante hjørneturbulenser. Ved at afrunde hjørnerne kan disse reduceres, men samtidig mindskes lævirkningen.

Vindretning

Skiftende vindretning kan ændre form og udstrækning af turbulens- og læzoner radikalt omkring den samme bygningsform. Ved længehuset betyder dette, at en vindretning på tværs af husets længderetning giver en kraftigere opbremsning og dermed en væsentlig større turbulens- og læzone på læsiden end vind på langs ad huset. Lævirkningen vil i læsiden kunne måles i en afstand af ca. 10 gange hushøjden. Vindretning diagonalt på længehuset vil give en asymmetrisk turbulens- og læzone og mindske lævirkningen.

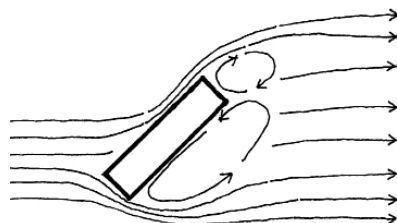
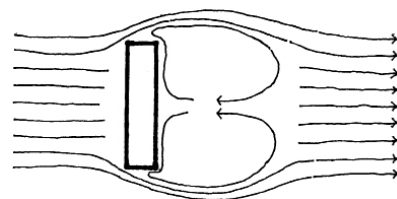
Højhus

Højhus- og blokbyggeri kritiseres ofte for et ubehageligt og turbulent vindmiljø. En af årsagerne hertil er, som tidligere beskrevet, vindhastighedsprofilen med en stigende vindhastighed over terrænet. Det deraf følgende højere vindpres på den øverste del af bygningen transformeres i hvirveldannelser ned langs facaden og omdannes ved højhusets fod til generende spiral- og hjørneturbulenser. Problemet øges med hushøjden og vindhastigheden - men også vindretning og bygningsgeometri har indflydelse på problemets størrelse.



Profil af vindstrømning over en bygningsform efter Evans.

Kilde: AHO skrift IV



Forholdet mellem vindretning og læzoners form og udstrækning ved samme bygningsform efter Evans.

Kilde: AHO skrift IV

Skematisk gengivelse af turbulens omkring et højhus med vindhastighedsprofil indtegnet ifølge Gandemer.

Kilde: AHO skrift IV

Vindmiljø i bebyggelser

Principper

I samlede bebyggelser påvirkes vindmiljøet efter samme grundprincipper som ved fritliggende bygninger, men kompleksiteten i turbulens- og læzoner stiger med antallet af bygninger og påvirkes yderligere af husformer, bygningshøjder, bebyggelsesmønstre og afstande mellem bygninger.

“Lav tæt”

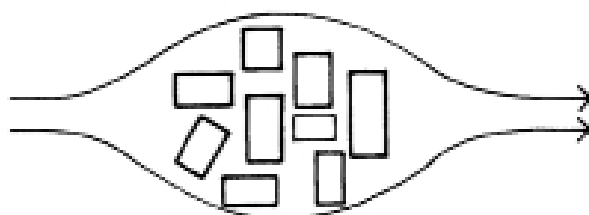
I lave, homogene bebyggelser med begrænset afstand mellem bygningerne kan opstå en lægivende “tæppevirkning”, som løfter vinden henover bebyggelsen og mindsker turbulens imellem de enkelte bygninger. Omkransende række- eller kædehuse ud mod åbne arealer og supplerende lægivende beplantning kan forstærke denne virkning. Gode eksempler på bebyggelser med “tæppevirkning” kan findes i ældre købstæder og i nyere “lav tæt” bebyggelser.

Blokbebyggelse

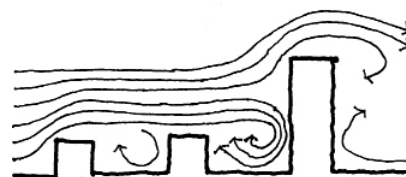
Blokbebyggelsens “åbne” karakter og store bygningsflader giver generelt et meget turbulent vindmiljø på omgivende friarealer. Især ved hushjørner og i passager mellem to blokke kan opleves øget vindhastighed og ubehagelig turbulens. Lægivende, supplerende beplantning er generelt nødvendig for at skabe et acceptabelt vindmiljø.

Karrébebyggelse

Karrebebyggelse har vindmiljømæssigt en differentieret problematik. Gårdrummet vil generelt være skærmet for vind fra alle retninger. Afhængig af maskevidde og bygningshøjde kan der ved høje vindhastigheder opstå turbulens i gårdrummet. Gadenettet virker, afhængig af vindretning, som vindkorridorer med ubehagelige vindstød ved gadehjørner og i portåbninger på blæstdage.



Bygningshøjde og afstand mellem bygninger har betydning for lævirkning og turbulens i blokbebyggelse efter Wise m. fl.
Kilde: Klimatplanering-Vind



Højhus imellem lavt byggeri vil give øget turbulens ved højhusets fod efter Wise m. fl.
Kilde: Klimatplanering-Vind



I karrestruktur er bygningshøjde og maskevidde afgørende for turbulens- og læforhold efter Alberts.
Kilde: AHO skrift IV

Principskitse for lav tæt bebyggelse med lægivende “tæppevirkning” ifølge H. Høyem.
Kilde: “Vind og Vær”

Vindmiljø i byrum

Problem

I vindforskningen er udpeget en række eksempler på bygnings- og byrumsformer, som på blæstdage lokalt kan medføre ubehagelige vindoplevelser med turbulens og øget vindhastighed. Problemet er mest fremtrædende i blok- og stokbebyggelse i 3-5 etager eller højere, men kan også genkendes i vindoplevelser i lavere bebyggelser. De udpegede bygnings- og byrumsformer har lagt navn til de medfølgende vindmiljøeffekter.

Barriereeffekt

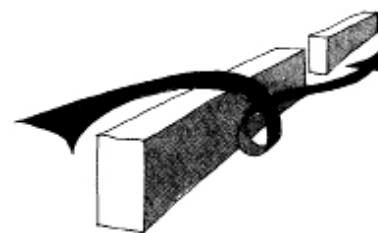
Barriereeffekten kan opstå ved en bygning, hvor højden er forholdsvis beskeden i forhold til længden. Ved vindretninger på tværs af bygningens længderetning kan en trykudligning henover bygningen give en kraftig turbulensvirkning på bygningens læside. Problemet er mest fremtrædende ved vindretninger diagonalt på bygningens længderetning.

Tragt- og porteffekt

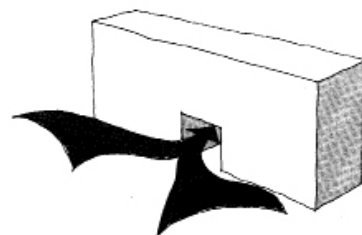
Tragteffekten er et velkendt fænomen ved portåbninger og ved smalle passager mellem to bygninger, hvor vinden skal passere. Vindhastigheden øges ved sammenpresningen og er størst, hvor passagen er smallest. Efter passage af tragten vil vindhastigheden igen aftage.

Korridoreffekt

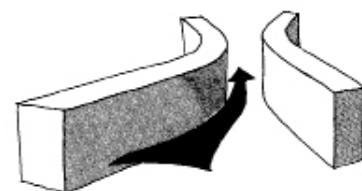
Korridoreffekten kan opleves i et langt, lige gaderum uden hindringer for vindens strømning. Her kan trykudligning på langs ad gaderummet øge vindhastigheden betydeligt. Effekten er mest udpræget i gader parallel med dominerende vindretninger.



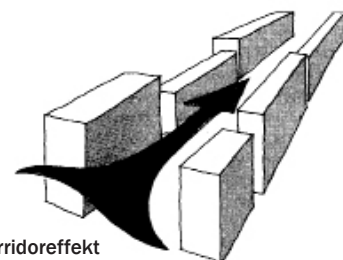
Barriereeffekt



Porteffekt



Tragteffekt



Korridoreffekt

Eksempler på bygnings- og byrumsformer med mulighed for ubehagelige vindoplevelser ifølge Gandemer.

Kilde: Vind og læ i bebyggelser



Skejbygårdkollegiet i Aarhus er et eksempel på, at kombinationen af højhus og tragtvinning kan føre til en ekstrem vindoplevelse.

Kilde: Registrering på stedet

Læskærme

Problem

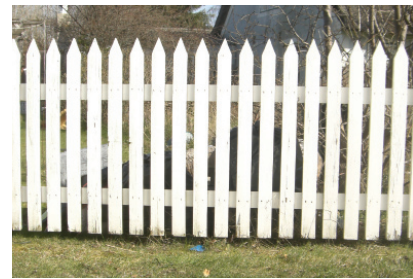
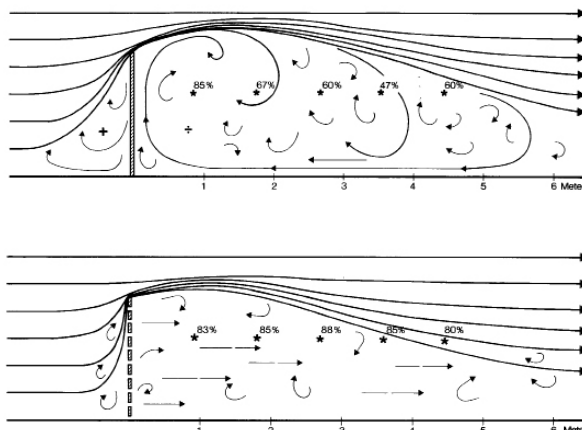
Det komplicerede og turbulente vindmiljø omkring bygninger og vind fra skiftende retninger nødvendiggør ofte supplerende, lægivende skærmning af rum og arealer til udeophold for at opnå et acceptabelt vindmiljø.

Hulprocent og lævirkning

Som lægiver må generelt anbefales en perforeret skærm, der giver mulighed for trykudligning gennem skærmen. Forsøg har dokumenteret, at en skærmvæg med en hulprocent på 30 - 40% jævnt fordelt over fladen giver det mest turbulensfri læ. Er hulprocenten større, vil lævirkningen mindskes. Er hulprocenten mindre, øges turbulensen på skærmens læside. En perforering, som afviger fra idealet, er dog bedre end ingen, og en perforering langs skærmens kanter kan i nogen grad kompensere for en jævnt fordelt perforering. Ved massive skærme kan en opdeling i moduler med jævnt fordelte mellemrum ligeledes kompensere for en manglende perforering. Ved læskærme uden perforering eller opdeling kan turbulens dæmpes med supplerende beplantning.

Skærmvægstyper og materialer

Valg af materiale må udover krav til lævirkning forholde sig til en arkitektonisk helhed, som kan veksle fra opgave til opgave. Læhegn af rafter, trælister eller brædder i mange forskellige udgaver findes som katalogvarer. I etagebyggeri er perforerede metalplader meget anvendte omkring altaner. Metalplader kan dog under uheldige omstændigheder medføre generende summelyde ved høje vindhastigheder. Glasskærme kan anvendes, hvor udsigten skal bevares, men bør opdeles i moduler med små mellemrum for at begrænse turbulensen. I egne af landet, hvor der stadig findes en lokal tradition for læskærme eller lægivende stakitter, bør denne respekteres.



Lokal tradition



Plankeværk



Perforet metalplade



Fiberdug

Læskærme i forskellige materialer med varierende hulprocent.

Lævirkning og turbulens omkring læskærme med og uden perforering.

Kilde: Tætte parcelhusområder, SBI byplanlægning 50

Grønne lægivere

Lævirkning

Træer og buske er ideelle som lægivere. Eneste minus er den tid, det tager, at få væksten op i en lægivende højde. Løv og grenes spændstighed bremser vinden blødt og giver, afhængig af grenenes tæthed, en turbulensfri dæmpning. Løvfældende træers lævirkning mindskes ved løvfald.

Levende hegn

Brug af levende hegn som lægiver har en lang tradition i det danske landbrugsland. Levende hegn forbedrer vækstvilkår for afgrøder på markerne og begrænser erosion og sandflugt på lette jorde. Fra omfattende brug af nåletræer til læhegn, specielt i Vestjylland, bruges i dag næsten udelukkende løvfældende træer og buske. Tidligere enrækkede hegn afløses i stigende grad af flerrækkede, som er mere robuste og giver bedre levevilkår for dyr og planter. Artssammensætning og plantevalg bør tage hensyn til lokal flora og fauna. Hedeselskabet eller lokale plantekonsulenter yder råd og vejledning ved nyplantning.

Klippede hække

Klippede hække er for villahaven, hvad læhegnet er for landbrugslandet. Ved jævnlig klipning får hækken, næsten uanset plantevalg, en ensartet, tæt struktur, som er ideel som lægiver omkring havens afgrøder og udeopholdspladser. Hække kan også anvendes som lægivere i det åbne land.

Opstammede træer

I byrum kan opstammede træer virke dæmpende på turbulens fra omgivende bygninger og derved forbedre vindmiljøet. I åbne omgivelser er den opstammede form en dårlig lægiver.



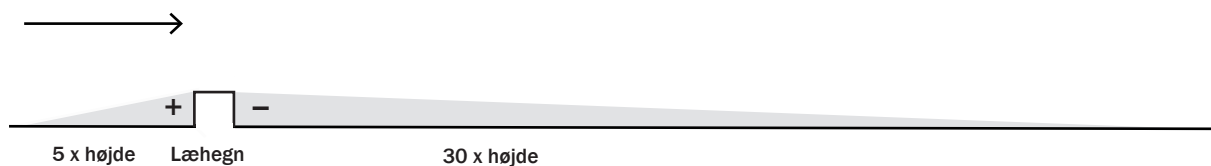
Trerækket læhegn



Hække som lægivere



Opstammede træer



Profil af lævirkning fra trerækket læhegn med varieret artssammensætning.
Kilde: Tætte parcelhusområder, SBI byplanlægning 50

Jordvolde og diger

Lævirkning

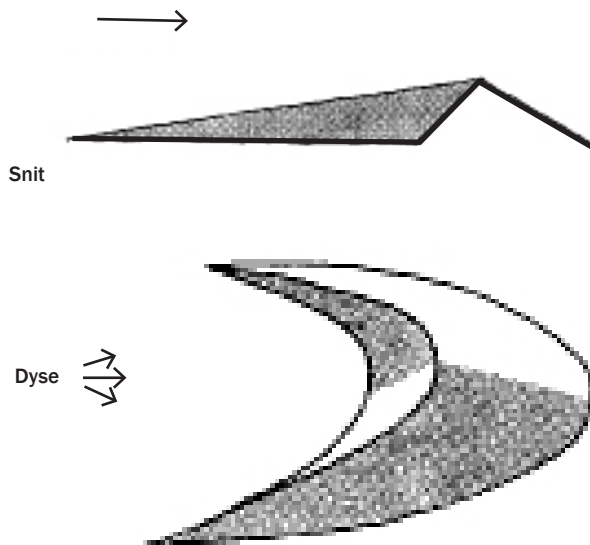
Jordvolde og diger har samme tendens til hvirveldannelse som massive bygninger. Voldens profil og hældningsgrad er bestemmende for turbulensdannelse og lævirkning. En hældning under 30° vil have minimal lævirkning. Lav hældning på voldens sider giver mindre hvirveldannelse end stejl, men også mindre læ. Et cirkulært voldanlæg giver læ for alle vindretninger. Med supplerende beplantning kan jordvoldes og digers lævirkning øges væsentligt.

Anvendelse

Jordvolde og diger er kendte elementer i det danske landskabsbillede. Jordvolde har været brugt til forsvarsanlæg siden vikingetiden. Diger af kampesten eller græstørv har fra gammel tid været almindeligt brugt til markering af mark- og haveskel. Tangdiger har i visse kystnære områder været brugt til skærmning af havebrug. Jordvolde og diger bør anvendes, hvor der udover læ også ønskes en dæmpning af støj.

Barkaner

Barkaner er naturskabte, parabelformede klitter, som kan opstå i klitlandskaber, hvor der er sandfygning i forbindelse med en dysevirkning i landskabet. Ved fygning over længere tid vil sandet lægge sig i en hesteskoformet klitdannelse i en afstand fra dysen, som afspejler vindens faldende hastighed. Barkaner fascinerer ved deres form og størrelse, som kan blive op til flere hundrede meter i tværsnit. Anvendt som lægiver vil formen sandsynligvis have gode, lægivende egenskaber ved vind fra modsat retning end dysen.



Lægivende jordvold omkring vindudsat parkeringsplads. Den cirkulære form er med til at øge lævirkningen.



Vindstrømning omkring en jordvold efter Melander m. fl.

Kilde: Vind og læ i bebyggelser

Barkan dannet af sandflugt i forbindelse med en dysevirkning i klitlandskabet ifølge C. Houllberg.

Kilde: Levende hegn og læskærme

Konklusion:

Bygningers og bebyggelsers placering i terræn er bestemmende for vindmiljø og behov for lægivende skærmning.

“Bløde” og runde bygningsformer giver et mere turbulensfrit vindmiljø end firkantede.

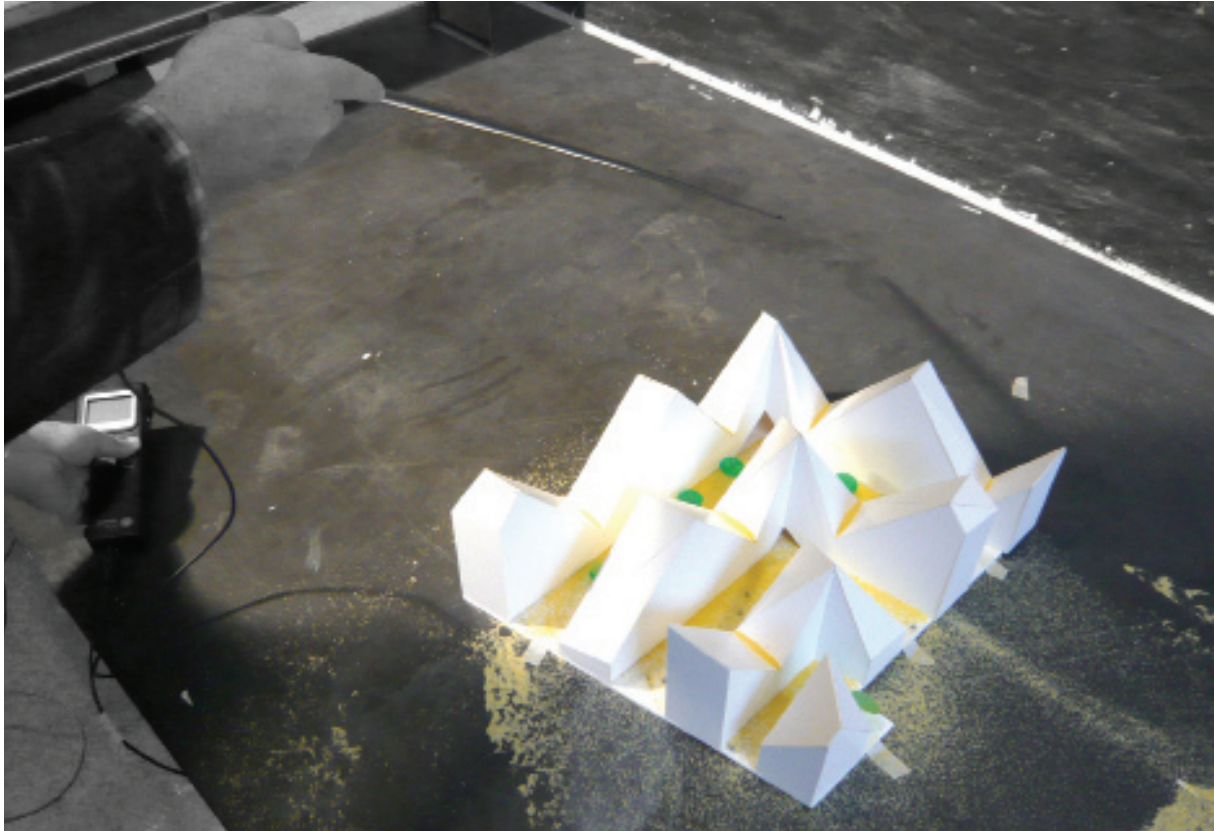
Tætte og lave bebyggelser med “tæppevirkning” giver det mest turbulensfrie vindmiljø.

Højhuse vil altid give forhøjet vindhastighed og turbulens på omkringliggende arealer, en virkning som forstærkes ved placering imellem lavere bebyggelse.

Bygninger har både gode og dårlige vindmiljømæssige egenskaber, som bør undersøges, før placering og udformning af udeopholdspladser bestemmes.

Perforerede læskærme og levende hegn øger lævirkningen og giver det mest turbulensfri læ. En hulprocent på 30-40% anses for at være mest optimal.

Digers og jordvoldes lævirkning kan forbedres ved beplantning.



Metoder og redskaber

Metoder og redskaber, som er beskrevet i dette afsnit, er udviklet til opgaver, hvor hensynet til et lokalt vindmiljø indgår i den arkitektoniske formgivningsproces.

Metoderne er inspireret af den norske arkitekt og professor Anne Britt Børve. I sit arbejde som forsker og underviser på Arkitektskolen i Oslo indså hun et behov i arkitektfaget for simple metoder og redskaber til brug i projekter med et problematisk vindmiljø. Hendes teorier og metoder er udførligt beskrevet i hendes doktorafhandling - AHO skrift IV, Arkitektthøgskolan i Oslo - og i udførte projekter.

Tilpasset til danske vindforhold og klimabetingelser har hendes metoder og redskaber været anvendt og videreudviklet i undervisningen på Aarhus Arkitektskoles Vind- og Klimalaboratorium. Udover anvendelsen i øvelser og skitseopgaver, har de bidraget til en grundlæggende indsigt og forståelse for vindmiljøets betydning ved formgivning af vore fysiske omgivelser.

Registrering af vinddata

Vindrose

Et billede af vindretninger og hastigheder i et opgaveområde kan erhverves ved at studere DMI's vindroser fra en nærliggende målestation. I en konkret opgave vælges den målestation, som ligger nærmest det aktuelle opgaveområde og har samme landskabelige karaktertræk. Er opgaveområdet kystnært, vælges en målestation placeret ved en nærliggende kyst med samme orientering. Er opgaveområdet placeret inde i landet, vælges en målestation med tilsvarende landskabelig beliggenhed. Er opgaveområdet beliggende midt mellem to målestationer, kan der interpoleres mellem målingerne fra de to stationer for at få det mest retvisende billede af vindforholdene på stedet.

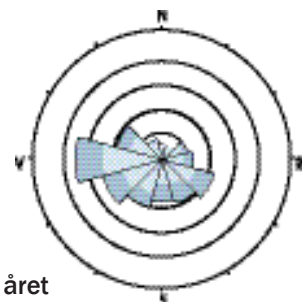
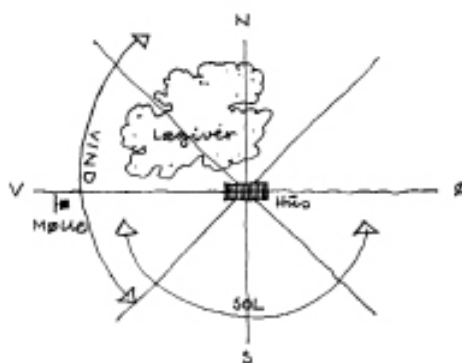
Vindroser fra DMI's målestationer viser vindforhold 10 m over terræn på målestedet. I terrænhøjde vil vindhastigheden være noget reduceret. Vindroser kan hentes på DMI's hjemmeside www.dmi.dk.

Årstidsbestemte vinde

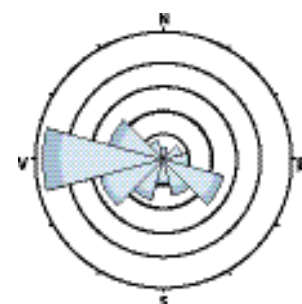
Drejer opgaven sig om en sæsonpræget aktivitet, kan information om årstidsbestemte variationer i vindmiljøet være hensigtsmæssig. DMI' udarbejder vindroser for hver enkelt måned året rundt, som kan bruges til dette formål. Vindroser for særligt udvalgte perioder kan hentes ved henvendelse direkte til DMI.

Grafisk udformning

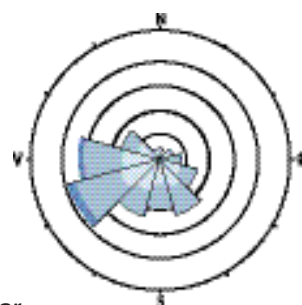
Vindrosen kan i en konkret opgave være udformet med oplysninger om registrerede fysiske forhold, lægivere m.v., som kan påvirke det generelle mønster. Ofte kan en grafisk forenklet udgave fremme forståelsen. Vindrosen kan også være suppleret med andre forhold, som har betydning for projektets disponering og udformning, som f. eks. sol/skyggeforhold, udsigt m. v.



Hele året



Juni



Januar

Vindroser for hele året og for udvalgte måneder, som viser årstidsbestemte variationer i vindens retning og styrke fra målestation Ødum på Djursland.

Kilde: www.dmi.dk

Kompasserose med indtegning af dominerende vindretning, solindfald og lokal lægivende beplantning, som har betydning for stedets vindmiljø og energibetingelser ifølge Reitzel og Mathiassen.

Kilde: Energi/boliger/byggeri

Registrering af lokalt vindmiljø

Metode generelt

Fysiske forhold som terræn, bebyggelse og beplantning kan lokalt give væsentlige afvigelser fra den valgte vindroses informationer om vindretning og hastighed. En registrering af de fysiske forhold på opgavestedet og deres konsekvenser for vindmiljøet i området er derfor et nødvendigt supplement til vindrosens mere generelle information.

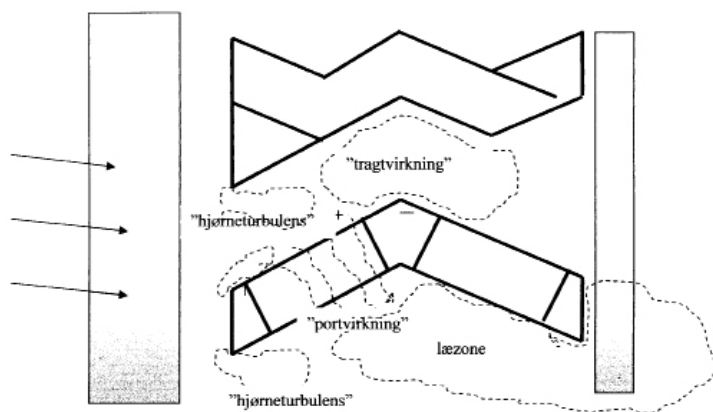
Registreringsemner og metoder

lagttagelse af synlige vindpåvirkninger i og omkring den konkrete lokalitet kan give værdifulde oplysninger om vindmiljøet på stedet, eksempelvis:

- Flag og vimpler kan afsløre enkle forhold om læzoner og hvirveldannelser.
- Læzoner kan aflæses i sne og løse blade, som skubbes rundt af vinden og lægger sig, hvor der er læ.
- Vindslitage på bygninger og vegetation kan fortælle om dominerende og aggressive vindretninger.

En simpel registrering af vindmiljøet kan ske ved ture rundt i området med et stykke uldgarn eller lignende til visualisering af vindretning og hastighed. De registrerede informationer om vindmiljø, vindretning, hastighed, læ- og turbulenzzoner noteres ned på en plan over området til brug i en sammenfattende analyse af vindmiljøet på stedet. En sådan registrering bør gentages på dage med forskellige vindretninger.

Ønskes mere eksakte oplysninger om det lokale vindmiljø, kan målinger udføres ved hjælp af anemometer. Sådanne målinger bør udføres systematisk, og over en længere periode.



Løse blade kan fortælle om hvirveldannelser og læzoner på stedet.



Vindslitage på vegetation kan fortælle om et aggressivt vindmiljø på stedet.



Registrering af lokalt vindmiljø med plastikstrimmel som indikator for vindretning og hastighed.

Simpel registrering af vindmiljøet i VM-husene i Ørestaden indtegnet på en plan af bebyggelsen.

Modelforsøg

Generelt

Modelforsøg kan med rimelig sikkerhed forudsige vindmiljø og lævirkning i et projekt, medens det endnu er under skitsering, og forebygge uheldige vindmiljøoverraskelser i det færdige byggeri. Modelforsøg må generelt anbefales i projekter på vindudsatte steder.

Vindbord

Simple modelforsøg kan udføres på et vindbord. Vindbordet består af en bordplade af passende størrelse (f. eks 120/240) og en ventilator med trinløs regulering. Ved hjælp af et pulver (semulina), strøet i et fint lag udover modellen, kan ved regulering af vindhastigheden fra ventilatoren skabes et billede af læ og turbulenzoner ved forskellige vindhastigheder. Supplerende målinger med anemometer kan give oplysninger om variationer i vindhastigheden i og omkring modellen. Modellens fysiske udformning - terræn, bygninger og beplantning - bør være så realistisk som muligt af hensyn til præcisionen i forsøgene. Forsøg bør gentages fra udvalgte vindretninger og dokumenteres med modelfotos.

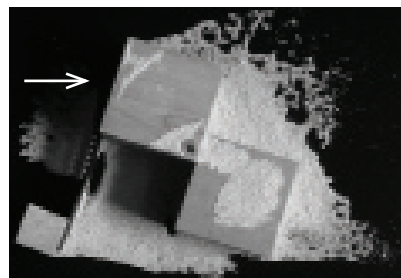
Vindbordets enkle betjening og åbne form er velegnet til brug i skitseringsfasen, hvor alternative forslag skal undersøges, og modellen skal ændres og bearbejdes mellem forsøgene. Vindbordet kan etableres for en beskedent investering og opstilles i et almindeligt tegnestuemiljø.

Vindtunnelforsøg

Kræves en mere grundig dokumentation af vindmiljøet, kan modelforsøg udføres i vindtunnel. En vindtunnel er i princippet et lukket aflangt rum med ventilatorer placeret i den ene ende og luftudtag i den anden. Det lukkede rum gør det muligt i højere grad at kontrollere luftstrømmen og dermed øge præcisionen i forsøgsresultaterne. Selve forsøgene foregår i princippet, som beskrevet ovenfor ved vindbordet. Vindtunnelforsøg udføres på vindlaboratorier af særligt uddannede specialister.

EDB

Software til simulering af vindmiljø på computer er i dag et muligt alternativ eller supplement til fysiske modelforsøg.



Visualisering af læ og turbulenzoner med semulina med vindretning indtegnet.



Glødetrådsanemometer med bulbøler.



Opstilling til modelforsøg i vindtunnel hos Force Technology i Lyngby.



Anne Brit Børves skitse til opstilling af vindbord med tværstrømsventilator.
Kilde: AHO skrift IV

Dokumentation

Generelt

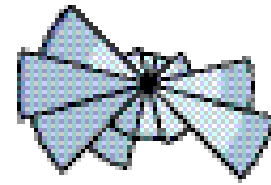
I et konkret projekt er det vigtigt, at det udførte arbejde med vindmiljøet bliver dokumenteret på lige fod med øvrige facts og intentioner, som ligger bag udformningen af projektet. En grundig dokumentation fremmer forståelsen for vindmiljøet på opgavestedet og indflydelsen på udformningen af det færdige projekt.

Præsentation og visualisering

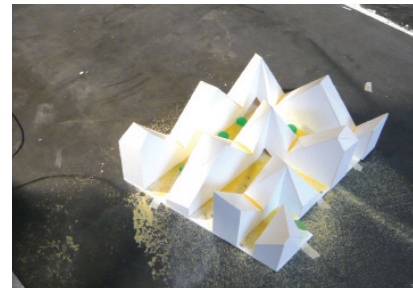
Vinddata og registreringskitser kan samles og præsenteres som vindroser og kortbilag med indtegning af de fysiske forhold, som har betydning for vindmiljøet på stedet. Modeltests kan dokumenteres med modelfotos af udvalgte forsøg og en beskrivelse og konklusion af disse. Materialet kan suppleres med en redegørelse i form af skitser eller modeller, som viser forsøgenes indflydelse på det færdige skitseprojekt.

Er der udført målinger med anemometer, bør målesteder markeres, og beregninger af læprocenter beskrives. Ved særlige modeltests - f. eks. af vinderosion i terræn/sand - kan en videogengivelse give et mere realistisk billede af testforløbet end modelfotos.

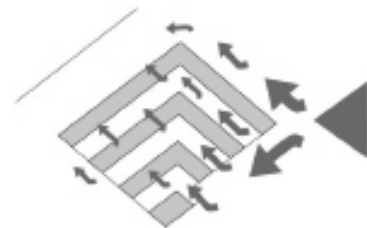
Er der udført analyser af andre klimafaktorer, f. eks. sol/skyggeforhold, nedbør, etc., bør disse indgå i dokumentationsmaterialet sammen med vind.



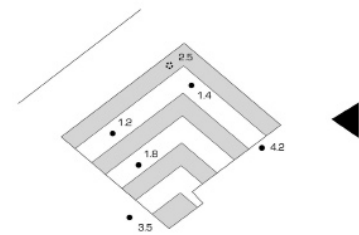
Vindrose fra DMI.



Pulvermetoden og måling med anemometer udført på vindbord.



Vindstrømning og hastighed.



Målepunkter og målte hastighedsvariationer.

Dokumentation af vindmiljø i gaderum fra skitseprojekt til boligbebyggelsen "Isbjerg" på Århus havn.

Kilde: Cebra Arkitekter A/S

Konklusion:

Brug vindroser til at kortlægge de overordnede vindforhold - hyppighed, styrke, retning og evt. årstidsbestemte vinde.

Juster for lokale lægiverer - terræn, bygninger og beplantning.

Opstil kriterier for det ønskede vindmiljø i projektets udeopholdsrum og omgivelser med angivelse af kritiske vindretninger, inden du går i gang med skitseringen.

Brug modeltests til at justere og forbedre vindmiljøet undervejs i skitseringsfasen og til at dokumentere indflydelsen på det færdige arkitektoniske udtryk.

Dokumentation af undersøgelser og anvendte metoder er lige så vigtig som resultatet.



Projekter

Hvor de forudgående afsnit primært har handlet om viden og metode, er indholdet i dette afsnit eksempler på konkrete projekter, hvor et lokalt vindmiljø på forskellig vis har inspireret til et arkitektonisk udtryk.

Projekterne spænder fra lokalt klimatilpasset byggeskik fra vindblæste egne af landet til eksempler på nyere byggerier, hvor vinden udover at forbedre vindmiljøet på stedet har inspireret de udførende arkitekter til et markant arkitektonisk udtryk. To projekter belyser årsagen til det ubehagelige turbulente vindmiljø, man ofte oplever omkring etagebyggeri.

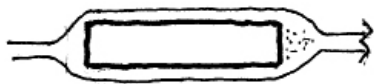
Projekterne er samlet i temaer og kun beskrevet kortfattet i foto/tegning. Hvert projekt er suppleret med et forenklet snit af det anvendte formgivningsprincip, som viser vindstrømning og lævirkning i forhold til dominerende vindretning på stedet. Yderligere information kan hentes ved at gå til kilderne - eller besøge stederne.

Lokal byggeskik

Enlænget gård, Rødhus

Gårdtype opført i forblæste, kystnære områder i Vestjylland helt op til 1900 tallet efter principper, som kan føres tilbage til de første jernalderhuse. Længeformen, halvvalmede gavle og en konsekvent øst/vest-orientering er med til at minimere vindkræfternes påvirkning i et ofte uskærmet landskab med en aggressiv og dominerende vestenvind.

Kilde: Danmarks arkitektur/landbrugets huse



Klitgård på Holmsland

Gården repræsenterer en type som er opført i 17-1800 tallet på den smalle, forblæste tange mellem Ringkøbing fjord og Vesterhavet. Tunge teglstenslænger, minimalt udhæng og halvvalmede gavle er, sammen med en placering i læ af klitbræmmen mod Vesterhavet, med til at modstå vindkræfternes påvirkning. Den firlængede, sluttede form giver læ i gårdrummet.

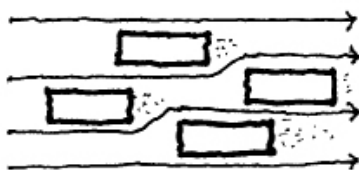
Kilde: Den vestjyske klitgård



Sønderho, Fanø

Bydannelse fra 17-1800 tallet med en konsekvent øst/vest orientering af alle huslænger for at minimere kræfternes påvirkning fra den aggressive vestenvind på stedet. Forsænkede kålgårde i tilknytning til længerne gav tidligere lokalt læ for dyrkning af afgrøder.

Kilde: Registrering på stedet



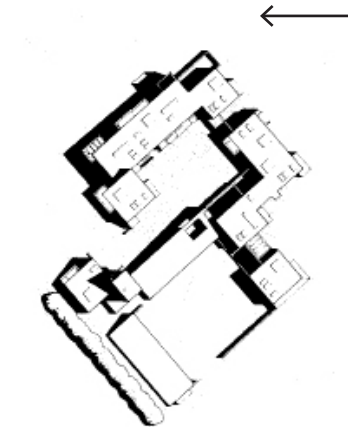
Huse formet efter vinden

“Sea Ranch”, Californien

Ark. Charles Moore m. fl., 1966

Feriehusbebyggelse på en vindudsat klippehylde mod Stillehavet med kølige, aggressive vinde fra nordvest det meste af året. En forbillig analyse af landskab og klima på stedet og modelforsøg i vindtunnel var her med til at bestemme bebyggelsens profil og sluttede form.

Kilde: Progressiv Architecture
may/1965



Expopavillon ved Rotterdam

Ark. Cepezed BV., 1990

Udstillingspavillon opført direkte på kysten ved indsejlingen til Rotterdam. Bygningens 45° tildede tag er udformet som en lægivende vindskærm i glas og stål, som løfter den dominerende og aggressive vestenvind på stedet henover pavillon og forplads.

Kilde: Registrering på stedet

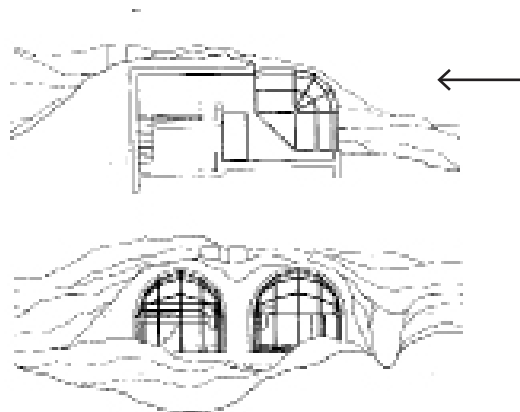


Sommerhus i Blokhus

Ark. Claus Bonderup, 1978

Sommerhus placeret i klitterne direkte ud til Vesterhavet og den barske vestenvind. Vinduernes runde former og delvis nedgravning af bygningsklumpen i en klitformation er med til at reducere vindmodstanden og begrænse turbulens og erosion omkring bygningen. Senere udvidelser har dog ændret disse forhold.

Kilde: Arkitekten



Etagehuse

WM-husene, Ørestaden

Ark. BIG, 2005

WM-husene er medtaget som et af mange etagebebyggelser i Ørestaden med et ofte turbulent vindmiljø. En markant tragtform mellem de to blokke og hjørneturbulenser fra vestenvindens møde med de høje gavle i det flade, uafskærmede landskab er her de væsentligste årsager til problemet.

Kilde: Beboerne og registrering på stedet



“Agurken”, London

Ark. Foster assoc., 2003

Vindmiljøet i byrummet ved foden af højhuset midt i city er til tider meget turbulent, også selv om der her er valgt en aerodynamisk bygningsform. Problemet skyldes primært placeringen mellem lavere huse, som “suger” vindpresset på den øverste del af bygningen ned i byrummet.

Kilde: Registrering på stedet



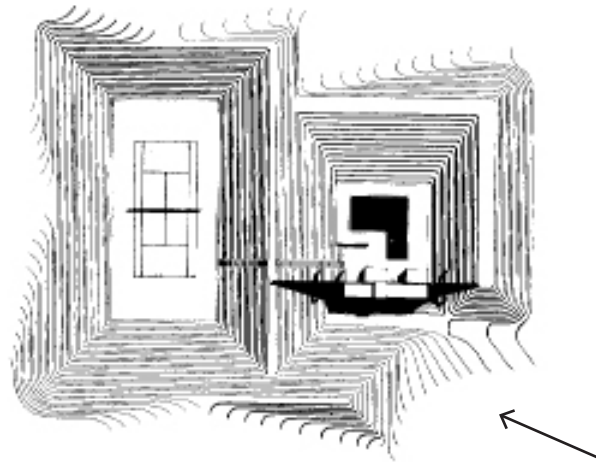
“Grønne” lægiver

Sea Ranch, Californien.

Ark. Charles Moore m. fl., 1965

En vindblæst, kystnær placering af pool og tennisbane motiverede arkitekterne til at grave anlægget ind i det skrånende terræn og skærme for vinden med jordvolde. En langstrakt bygning til teknik- og omklædning indgår som en del af vindskærmningen.

Kilde: Progressive Architecture
may/ 1966

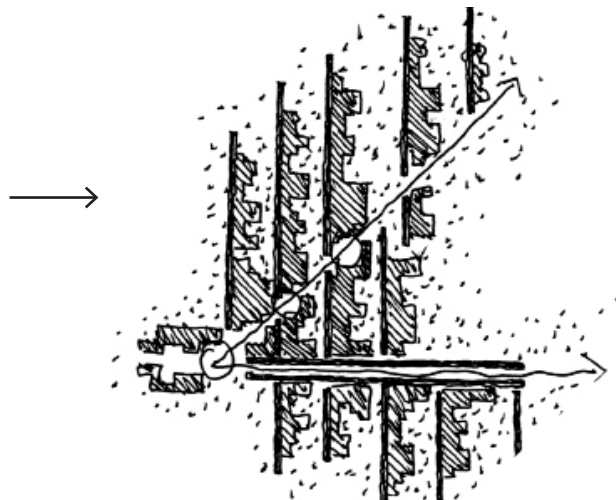


Blangstedgård, Odense

Ark. Tranberg og Lundgård., 1985

De nord-sydgående dele af en markant læhegnsstruktur fra en tidligere æbleplantage på stedet er bevaret som lægiver for dominerende, vestlige vinde i en bebyggelse med overvejende lav tæt boligbyggeri.

Kilde: Arkitektur nr.6, 1988

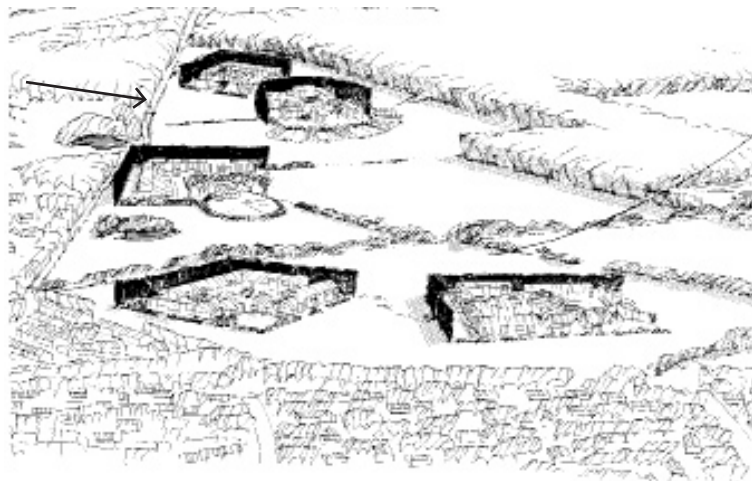
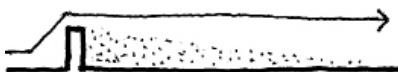


Boligbebyggelse, Kolding

Ark. Per Feldthaus m. fl., 1991

Inspireret af japanske læhegnstraditioner er boligenklaver placeret i et åbent landskab, skærmet af markante L - formede læhegn. Projektet opnåede 1. præmie i en konkurrence om bæredygtigt boligbyggeri i Kolding kommune.

Kilde: Arkitekten nr. 16, 1991



Læskærme

Menneskehedens triumfbue, Paris

Ark. Spreckelsen, 1988

Bygningsformens tragtform ved dominerende, vestlige vinde motiverede en lægivende barriere, som løfter vinden henover fodgængere på pladsen mellem bygningens to ben. Barrieren er udformet som forskudte glasskærme, som tillader fodgængertrafik at passere uhindret.

Kilde: registrering på stedet.



Mobil læskærm til Århus Festuge

Ark. Asymptote, N.Y., 1996

Mobil læskærm i glas og stål til forbedring af vindmiljøet under det sejldugs-overdækkede "Univers" på Bispetorv. Ubehagelig turbulens fra omgivende, højere bebyggelse nødvendiggjorde lægivende afskærmning af serveringsområdet. Vindmiljøundersøgelser og modeltest blev udført af Vind- og Klimalaboratoriet på Arkitektskolen i Aarhus.

Kilde: Vind- og Klimaaboratoriet /AAA



Citat:

“Tag hensyn til omgivelser, sol og vind. Byg hellere højt og tørt, end lavt og fugtigt, men glem ikke, at fri beliggenhed giver blæst og kulde mere magt og søg at skaffe læ ved plantning og husenes indbyrdes ordning”

Ark. Martin Nyrop fra arkitektkonkurrence om landbrugsbyggeri i 1907 (uddrag)

Mobiler og vindvisere



Vindskala

Beaufort	m/s	Knob	km/t	Betegnelse	Observationer på land	Observationer på vand
12	>32	>63	118 -	Orkan	Voldsomme ødelæggelser	Luften fyldt med skum, der forringer sigten væsentlig
11	29-32	56-63	103-117	Stærk storm	Talrige ødelæggelser	Umådeligt høje bølger - havet dækket af hvide skumflager - sigten forringet
10	25-28	48-55	89-102	Storm	Træer rives op med rode - betydelige skader på huse	Meget høje bølger - næsten hvid overflade - skumsprøjt påvirker udsigten
9	21-24	41-47	75-88	Stormende kuling	Store grene knækkes, tagsten blæser ned	Høje bølger hvor toppen vælter over - skumsprøjt kan påvirke sigten
8	17-20	34-40	62-74	Hård kuling	Kviste og grene brækkes af - besværligt at gå mod vinden	Ret høje, lange bølger - bølgekammen brydes til skumsprøjt
7	14-16	28-33	50-61	Stiv kuling	Større træer bevæger sig, trættende at gå imod vinden	Hvidt skum fra brydende bølger føres i striber i vindens retning
6	11-13	22-27	39-49	Hård vind	Store grene bevæger sig	Store bølger, hvide skumtoppe overalt
5	8-10	17-21	29-38	Frisk vind	Små løvtræer svejer lidt	Middelstore, langagtige bølger med mange skumtoppe, evt. skumsprøjt
4	6-7	11-16	20-28	Jævn vind	Støv og papir løftes - kviste og mindre grene bevæger sig	Mindre bølger med hyppige skumtoppe
3	4-5	7-10	12-19	Let vind	Blade og små kviste bevæger sig, vimpler løftes	Småbølger, hvor toppe brydes, glasagtigt skum
2	2-3	4-6	6-11	Svag vind	Små blade bevæger sig	Ganske korte småbølger, som ikke brydes
1	1	1-3	1-5	næsten stille	Røgen viser netop vindens retning	Små krusninger uden skum
0	0	0	<1	Stille	Røg stiger lige op	Havet er spejlblankt

Kilde: DMI

Litteraturliste m. m.

Levende hegn og læskærme

v/ Claus Houlberg
BSA 1976 *

Vind og læ i bebyggelser

v/ Claus Houlberg
BSA 1979 *

Hus og husgrupper i klimautsatte kolde strøk

AHO-skrift IV
v/ Anne Brit Børve
Arkitekthøgskolen i Oslo, 1987 *

Vind og Vær

Håndbok i klimatilpasning av bebyggelse i vindutsatte strøk i Norge
v/ Jarle R. Herje og Harald Høyem
Husbanken 1994 *

Klimatplanering - Vind

v/ Mauritz Glaumann og Ulla Vesterberg
Statens Inst. F. Byggnadsforskning, Svensk Byggtjänst 1988

Vindmiljø omkring bygninger

SBI-anvisning 128
Statens Byggeforskningsinstitut 1981 *

Progressiv Architecture

May 1966 *

Tætte parcelhusområder

SBI-byplanlægning 50 *

Tæt lav - en boligform

SBI-rapport 77
Statens Byggeforskningsinstitut 1971 *

Danmarks klima - I vind

Standardnormaler 1931-60
DMI 1971 *

Arkitektur

nr. 6, 1988 *

Arkitekten

nr. 16, 1991 *

Gamle huse i Sønderho

Fanø kommune, 1980 *

Den vestjyske klitgård

v/ Peter Duun Andersen *

Danmarks arkitektur

Landbrugets huse, 1980
v/ Peter Brogaard m. fl. *

Statik og konstruktiv forståelse

v/ P. Gammel
Arkitektskolens Forlag, 2008 *

* Findes på biblioteket på AAA

Vindlaboratorier:

(Certificerede vindlaboratorier i DK)

Force Technology, Lyngby /specialister i byggeri og maritime anlæg.

Landbrugets Forskningscenter "Bygholm",
Horsens /specialister i ventilation og vindmiljø i landbrugsbyggeri.

Velux i Østbirk /modelforsøg med bygningskomponenter i mål 1:1

Hjemmesider:

WWW.DMI.dk

Foto:

Omslag /Henrik Øvad
Side 29 og 32. /Cebra arkitekter
Øvrige fotos /forfatteren

Citat:

“Tag hensyn til omgivelser, sol og vind. Byg hellere højt og tørt, end lavt og fugtigt, men glem ikke, at fri beliggenhed giver blæst og kulde mere magt og søg at skaffe læ ved plantning og husenes indbyrdes ordning”

Ark. Martin Nyrop fra arkitektkonkurrence om landbrugsbyggeri i 1907 (uddrag)