

Natursten i det danske byggeri
Anvisning nr. 3

Valg af natursten



NATURSTEN I DET
DANSKE BYGGERI



Realdania

Natursten i det danske byggeri

Anvisning nr. 3 - Valg af natursten
2006-2009

Final version

Dato 2009-02-27

Udarbejdet af:

Claes Christiansen, Teknologisk Institut og

Tine Aarre, Teknologisk Institut

Teknologisk Institut, Betoncentret
Gregersensvej
DK-2630 Taastrup
Danmark

Rambøll Danmark A/S
Bredevej 2
DK-2830 Virum
Danmark

Telefon +45 7220 2161
www.teknologisk.dk

Telefon +45 4598 6719
www.ramboll.dk



TEKNOLOGISK
INSTITUT





Projektet

Natursten i det danske byggeri

er støttet af fonden Realdania i perioden 2006 til 2009

Projektets hovedpartnere:

**Teknologisk Institut, Betoncentret
Rambøll Danmark A/S**

Øvrige samarbejdspartnere:

**E. Pihl og Søn A.S.
ISS Facility Services A/S
Danske Stenhuggerier
Vilhelm Lauritzen AS
All Remove Danmark ApS
StoneCon ApS
Byg*DTU**

**ENC-CC Vejle
Slots- og Ejendomsstyrelsen
Kongebro Natursten
Jeppe Aagaard Tegnestue
Stenhuggerlauget/Dansk Byggeri
JohnsonDiversey
E. Nielsens Mekaniske Stenhuggeri**



Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	5
2.	Valget af natursten (processen)	6
3.	Afstemning af forventninger til naturstenen	8
3.1	Opstilling og kontrol af visuelle kriterier	8
4.	Påvirkninger og egenskaber	9
4.1	Udendørs belægninger	9
4.1.1	Påvirkninger	9
4.1.2	Krav og anbefalinger til belægningsstenens tekniske egenskaber	11
4.2	Gulve	16
4.2.1	Påvirkninger	16
4.2.2	Krav og anbefalinger til gulvflisens tekniske egenskaber	17
4.3	Facader	21
4.3.1	Påvirkninger	21
4.3.2	Krav og anbefalinger til facadestenens tekniske egenskaber.	22
5.	Stentyper og forventelige egenskaber	26
6.	Overvejelser omkring overfladebearbejdning	28
6.1	Overfladebearbejdningens indflydelse på stenens holdbarhed	30
7.	Overfladebehandling	33
8.	Referenceliste	34



1. Indledning

Belægninger, gulve, facadebeklædninger og tagbeklædning (naturskifer) er i dag de mest almindelige anvendelsesområder for natursten. Natursten som bærende byggelementer forekommer stadigvæk, men bliver som sådan anvendt i mindre og mindre omfang indenfor nybyggeri. Desuden findes en hel del mindre anvendelsesområder indenfor møbelindustrien, kunsthåndværk, gravstene osv. Denne anvisning omhandler primært valg af natursten set i relation til, hvordan natursten benyttes i dagens danske nybyggeri, dvs. valg af natursten til belægninger, gulve og facadebeklædninger.

Før et byggeprojekt påbegyndes, er det altid vigtigt at definere konstruktionens funktionskrav. Det vil sige, at man klarlægger, hvad bygningen eller byggedelen skal bruges til, og hvilke egenskaber den skal have. Disse krav skal så opfyldes ved at vælge den rigtige kombination mellem design, materialer og håndværksmæssig udførelse. Ofte findes der mange forskellige løsninger til at opfylde en konstruktions funktionskrav, og valget af natursten som bygningsmateriale er i langt de fleste tilfælde begrundet i et ønske om at give byggeriet et bestemt udseende. Mange gange vælges en natursten udelukkende på grund af dens udseende, og det er derfor meget vigtigt at alliere sig med fagfolk og rådgivere, der kan dokumentere, at stenen derudover er egnet i den aktuelle anvendelse.

Det er i den sammenhæng vigtigt at afklare, hvilke ønsker og forventninger, der er til stenen. Specielt er det vigtigt, at man gør sig klart, hvorledes stenens holdbarhed er med hensyn til styrke, form og udseende i den aktuelle situation. Eksempelvis sikrer man sig næsten altid, at en belægningssten har den nødvendige styrke til at modstå de mekaniske belastninger, man regner med, at den udsættes for, men det sker relativt ofte, at man ikke overvejer, hvorledes denne styrke udvikler sig med tiden.

Alle de påvirkninger natursten bliver udsat for er en følge af den måde, de bliver anvendt på, og det miljø de befinder sig i. Det er derfor muligt at opstille generelle regler for naturstens egenskaber set i forhold til deres anvendelsesområde. De europæiske EN produktstandarder gør dette på et meget overordnet niveau. De dokumentationskrav, der angives i disse standarder, er at betragte som harmoniserede minimumskrav for bestemte kategorier af naturstensprodukter i Europa. Arbejdet omkring standardiserede krav til stenmaterialer er i Danmark endnu ikke så fremskredent som indenfor andre produkter (f.eks. beton). Det skal derfor understreges, at selvom dokumentationen for et naturstensprodukt opfylder samtlige krav i produktstandarden, betyder det ikke nødvendigvis, at den er egnet til anvendelse under danske forhold, idet der ikke stilles krav om tærskelværdier for mange af de deklarerede værdier. Desuden er der en række forhold, der ikke gøres rede for i produktstandarderne, men som kan have en alvorlig effekt på naturstenskonstruktioner med hensyn til holdbarhed og ældning.

I dette hæfte angives en række råd og anbefalinger for udvælgelse af natursten til forskellige formål. Anvisningerne tager udgangspunkt i de europæiske produktstandarders deklareringskrav. I det omfang produktanvisningerne ikke giver tilstrækkelige anvisninger for et holdbart og sikkert valg, gives der her anbefalinger for udfaldskriterier, prøvningsomfang og generelle retningslinjer for de forskellige bjergarters anvendelighed.



På Fig. 2.1 er det forsøgt at skematisere nogle af de overvejelser, der indgår i valg af natursten ved større byggerier. Tydeligvis er der mere end én måde at strukturere selve processen på, og hele beslutningsprocessen kan forekomme noget kringlet og uoverskuelig, før man har bestemt sig for en sten. Ofte indgår der i processen flere forskellige aktører, såsom arkitekter, bygherrer, importører, leverandører, økonomer, prøvningsinstitutioner, ingeniører og andre fagfolk, som hver især bidrager med ønsker, krav, løsningsmodeller, rådgivning mv. indenfor lige netop deres felt.



3. Afstemning af forventninger til naturstenen

Man kan helt grundlæggende sige, at vores forventninger og tilfredshed med et byggeri er tæt sammenhængende. Hvis konstruktionens holdbarhed, udseende, patinering og omfanget af nødvendige drifts- og vedligeholdsmæssige aktiviteter ikke lever op til vores forventninger, vil der opstå en utilfredshed. For undgå dette bør man altid afstemme disse forventninger ved valget af en natursten. Eksempelvis vil en gulvbelægning bestående af en porøs kalksten kunne kræve en helt bestemt overfladebehandling, der lejlighedsvis skal gentages og som vil kræve regelmæssig rengøring. Bygherren vil derfor få en ubehagelig overraskelse, hvis han ikke er forberedt på den ekstra indsats og omkostning, der nødvendigvis skal foretages for pågældende stentype. I sidste ende kan det resultere i, at de nødvendige foranstaltninger udelades, hvorved uoprettelige skader kan opstå.

Der er næsten altid en forventning til, hvordan naturstenen skal se ud, og man bør da også altid definere det visuelle udtryk, man gerne vil have ved en natursten. Som med mange andre byggematerialer sker der dog en ældning af stenen, som indvirker på dens udseende. I nogle tilfælde bidrager stenens patina ligefrem til at give byggeriet et flot udseende, således at byggeriet ældes med ynde. Andre gange kommer der med tiden uønskede misfarvninger, slidmønstre, afskalninger osv., der vil forringe byggeriets æstetiske udtryk. Hvis det er muligt, er det en god ide at inspicere allerede eksisterende bygværker, hvor den pågældende sten har været benyttet og udsat for lignende eksponering, for at få et indtryk af, hvordan stenen ser ud efter at have været i brug i en given periode.

Stenens udseende i et bygværks levetid hænger nøje sammen med, hvordan den vedligeholdes. Rutinemæssig rengøring og overfladebehandling, løbende afrensninger og udbedringer af skader er alt sammen med til at vedligeholde stenens udseende og holdbarhed. Drift og vedligehold foregår i hele stenens levetid, og det er nødvendigt, allerede før byggeriet opføres, at gøre sig klart, hvilken metode og hvilket omfang af vedligeholdsaktiviteter, der er påkrævet for at opretholde det ønskede udseende af lige netop den valgte sten. Manglende eller forkert vedligeholdsmæssig strategi kan i sidste ende igen betyde uoprettelige skader på stenen.

3.1 Opstilling og kontrol af visuelle kriterier

Der vil næsten altid forekomme en naturlig variation i en naturstens udseende. Det anbefales derfor altid at opsætte nogle kriterier for stenens udseende, hvor der sættes nogle grænser for, hvorledes stenens farve og struktur må variere. Produktstandarderne for facadeplader (EN 1469 [1]), gulvfliser (EN 12058 [2]) og vægfliser (EN 12057 [3]) i natursten kræver, at der udvælges og opsættes et antal referenceprøver, som skal indikere udseendet af det færdige arbejde. De udvalgte prøver skal være mindst 0,01 m² store og skal indikere de tilladelige afvigelser for farve, årer, fysisk struktur samt overfladebearbejdning og -behandling (finish). Referenceprøverne skal specielt vise de huller, revner, pletter, rustudfældninger, krystalline årer osv., der er karakteristisk for lige netop den aktuelle sten.

Under byggeriet udføres en kontrol med stenleverancerne, ved at sammenligne de leverede sten med referenceprøverne. I det omfang stenene varierer fra referencerne, kan de enkelte sten frasorteres.



4. Påvirkninger og egenskaber

En detaljeret forståelse af de påvirkninger, der er aktuelle i forskellige miljøer, giver et godt grundlag for at udvælge den rigtige sten til et bestemt formål. I Tabel 4.1 er angivet en række af de tekniske egenskaber, der kan have betydning for stenens anvendelighed. Mange af egenskaberne er da også indarbejdet i de forskellige produktstandarder og bør indgå som obligatoriske parametre ved enhver vurdering af en natursten. En af de helt store svagheder ved produktstandarderne er dog, at selvom de angiver, hvilke af stenens tekniske parametre, der er vigtige for den aktuelle anvendelse, så stilles der i mange tilfælde ikke nogle kriterier eller krav til at evaluere disse parametre. Derudover er de få kriterier, der stilles til nogle af egenskaberne, kun at betragte som absolutte minimumskrav.

“Nordisk dokument for harmoniserede krav til natursten” er titlen på et større udviklingsprojekt, som fokuserer på forskellige problemstillinger ved de harmoniserede europæiske naturstensnormer (CEN TC246). En af disse problemstillinger omhandler netop manglen på troværdige kriterier og krav til naturstenens holdbarhedsmæssige egenskaber, og der blev derfor udarbejdet et dokument med en række specifikationskrav, der er relevante for de nordiske lande. Anbefalingerne herunder følger så vidt muligt disse specifikationskrav.

4.1 Udendørs belægninger

Fortove, stier, veje, pladser, indkørsler, trapper, dørtrin mv. udgør nogle af de typiske områder, hvor natursten anvendes som belægningssten.

4.1.1 Påvirkninger

De påvirkninger, en belægningssten udsættes for, afhænger af den trafik, der færdes på den og af det miljø, som stenene befinder sig i. Fodgængere, cykler, personbiler, varevogne, lastbiler etc. slider uens på belægningen og stiller forskellige styrkemæssige og skridsikkerhedsmæssige krav til underlaget. Miljømæssige faktorer, som frost, varme, fugt, salte, forurening etc., nedbryder stenen gennem kemiske og fysiske processer og kan med tiden forårsage styrketab, revner og afskalninger og resulterer i nogle (sjældne) tilfælde i, at en sten smuldrer fuldstændigt.

Belægningssten i Danmark udsættes generelt for store mængder fugt. Nedbør og vand ophobet i jorden vil næsten altid komme i kontakt med belægningsstenen, således at det må forventes, at stenene i lange perioder er helt mættede med vand. De meget fugtige forhold i kombination med vinterhalvårets mange temperatursvingninger omkring frysepunktet betyder, at stenen udsættes for en kraftig destruktiv frost-tø påvirkning. Mange steder forværres frostpåvirkningerne betydeligt, fordi belægningen samtidig saltes om vinteren (hovedsageligt med NaCl og CaCl₂) for at sikre færdselsforholdene. Nedfrysning og optøning af fugtbelastede sten omfatter meget komplekse processer, hvor visse af mekanismerne stadig ikke kan forklares. Specielt hersker der (på det teoretiske plan) tvivl om, hvorledes salt indgår i denne proces, men erfaringer fra laboratorieforsøg og fra den virkelige verden viser entydigt, at nedbrydningen forværres, når salt er til stede.



Tabel 4.1: Liste over egenskaber ved natursten, der kan have betydning i forskellige anvendelser (fra I-stone 2007)

Anvendelse		Facade, udendørs	Facade, indendørs	Gulv, indendørs	Trapper, indendørs	Fortov	Kantsten	Trapper, udendørs
		Stenens egenskab						
Identifikationsegenskaber	Struktur og sammensætning	X	X	X	X	X	X	X
	Porøsitet	X		X	X	X	X	X
	Trykstyrke				X	X		X
	Bøjningsstyrke	X	X	X	X	X	X	X
	Brudlast ved dyvelhul	X	X					
	Slagstyrke			X	X	X	X	X
	Slidstyrke			X	X	X	X	X
	Densitet	X	X					
	Vand absorption	X		X	X	X	X	X
	Permeabilitet	X				X		X
	Termisk ekspansion	X				(X)	X	X
Funktionelle egenskaber	Skridsikkerhed			X	X	X	X	X
	Farve og glans	X	X	X	X	X	X	X
	Plet følsomhed			X	X	X		X
	Varmeledningsevne og -kapacitet	(X)	X		X			
	Reflektans	X	X		X			
	Akustiske egenskaber	X	X		X			
	Reaktion mod ild	X	X	X	X			
Holdbarheds-egenskaber	Frostmodstandsdygtighed	X				X	X	X
	Modstandsevne mod saltkrystallisation	(X)				X	X	X
	Fugtbetinget ekspansion	X		X	X	X	X	X
	Fugt- og temperaturbetinget deformation	X				X		X
	Modstandsevne mod termisk chok	X				X	X	X
	Kemisk stabilitet (misfarvning)	X				X	X	X

Tøsalte er i dag den mest almindelige form for salt, som en belægningssten udsættes for, men salte kan f.eks. også stamme fra jorden, havvand og endda havgus. I de områder, hvor salte er til stede, er der således risiko for, at salte (i vandig opløsning) trænger ind og udfældes i stenen. Som beskrevet i Hæfte 1 kan udfældningen af nogle typer salte afstedkomme afskalninger og revnedannelse.



Belægningssten udsættes også for betydelige temperaturvariationer, ikke kun som følge af årstidernes variation, men også som følge af daglige udsving (nat/dag, sol/skygge, regn/tørvej osv.). Den kombinerede effekt af fugt- og temperaturvariationer kan virke destruktiv på visse sten, således at de med tiden taber styrke og eventuelt begynder at smuldre.

Den høje fugtbelastning, som stenene udsættes for, giver ikke kun anledning til holdbarhedsmæssige problemer, men kan også give æstetiske gener i form af misfarvninger på overfladen. Misfarvningerne kan både stamme fra stenen selv, men kan også komme fra stenens underlag. I begge tilfælde spiller fugten en afgørende rolle, idet stenen eller underlaget kan indeholde jernholdige komponenter/mineraler, der ved kontakt med vand opløses og transporteres gennem stenen og op til overfladen. Her vil de jernholdige forbindelser udfældes og danne rustfarvede misfarvninger (granitter, der fra naturens side er gullige, er specielt eksponerede for denne type misfarvninger). Ofte bliver denne type misfarvning forværret mange gange, hvis der også er salt tilstede, eller hvis stenene befinder sig i et surt miljø.

Det er dog ikke kun jernholdige mineraler, der kan give anledning til misfarvninger. Mange af de mørke basiske bjergarter, såsom basalt og gabbro, er ofte meget følsomme overfor forvitring og sure påvirkninger. Disse bjergarter indeholder en bestemt type feldspat og eventuelt olivin, der reagerer med atmosfæren og herved giver stenen et lysere skær.

I mange byområder skal det tages i betragtning, at belægningssten i høj grad udsættes for tilsmudsning af forskellige effekter (tyggegummi, cigaretskodder, madvarer etc.), samt at forurening fra biler også smudser stenene til med sod, dækspor, olie osv.

4.1.2 **Krav og anbefalinger til belægningsstenens tekniske egenskaber**

Det er langt fra alle belægninger, der er påvirket af samtlige ovennævnte faktorer. Ved ethvert belægningsarbejde skal det forud for arbejdet afgøres, hvilke af påvirkningerne, der skal tages højde for i den aktuelle situation. Herefter er det så muligt at finde en sten, der har de tekniske egenskaber, der betyder, at den kan modstå disse påvirkninger.

Belægningsarbejder skal i Danmark opfylde kravene, som er angivet DS1136 [4]. Heri fremgår det, at dokumentationskravet til fliser af natursten til udendørs belægning er som angivet i den europæiske produktstandard DS/EN 1341 [5]. Det lovmæssige dokumentationskrav til brosten og kantsten af natursten (begge til udendørs brug) er tilsvarende beskrevet i henholdsvis DS/EN 1342 [6] og DS/EN 1343 [7]. Tabel 4.2 opsummerer de standardiserede dokumentationskrav til naturstenens tekniske egenskaber.



Tabel 4.2: Dokumentationskrav til belægningssten i henhold til DS1136 [4] (Fliser: DS/EN 1341 [5], Brosten: DS/EN 1342 [6] og kantsten: DS/EN 1343 [7])

Egenskab		Test	Krav i henhold til produktstandard
Navngivning	Fliser		Stenens salgsnavn, petrografiske navn, farve og oprindelsessted skal deklareres.
	Brosten	EN 12440 [8], EN 12407 [9]	Stenens salgsnavn, petrografiske navn, farve og oprindelsessted skal deklareres.
	Kantsten		Stenens salgsnavn, petrografiske navn, farve og oprindelsessted skal deklareres.
Bøjningsstyrke	Fliser		Skal deklareres – anbefalet minimumstyrke i henhold til styrkeklasse
	Brosten	EN 12372 [10]	Ingen
	Kantsten		Skal deklareres – anbefalet minimumstyrke i henhold til styrkeklasse
Trykstyrke	Fliser		Ingen
	Brosten	EN 1926 [11]	Skal deklareres (ingen kriterier)
	Kantsten		Ingen
Slidstyrke	Fliser	EN 1341, Anneks C [5]	Skal deklareres (ingen kriterier)
	Brosten	EN 1342, Anneks B [6]	Skal deklareres (ingen kriterier)
	Kantsten	ingen	Ingen
Skridsikkerhed	Fliser	EN 1341, Anneks D [5]	Skal deklareres for fint tilvirkede overflader (Anbefalet kriterium: >35 ved USRV måling)
	Brosten	EN 1342, Anneks C [6]	Skal deklareres for fint tilvirkede overflader (Anbefalet kriterium: >35 ved USRV måling)
	Kantsten	ingen	Ingen
Vandabsorption	Fliser		Skal deklareres (ingen kriterier)
	Brosten	EN 13755 [12]	Skal deklareres (ingen kriterier)
	Kantsten		Skal deklareres (ingen kriterier)
Petrografisk definition	Fliser		Skal deklareres (ingen kriterier)
	Brosten	EN 12407 [9]	Skal deklareres (ingen kriterier)
	Kantsten		Skal deklareres (ingen kriterier)
Frostbestandighed	Fliser		<20 % tab i bøjningsstyrke efter 48 cykler
	Brosten	EN 12371 [13]	<20 % tab i bøjningsstyrke efter 48 cykler
	Kantsten		<20 % tab i bøjningsstyrke efter 48 cykler

De lovmæssige krav resulterer ikke nødvendigvis i et succesfuldt valg af en belægningssten. Misfarvninger, styrketab, afskalninger osv. kan sagtens forekomme, selvom ovenstående dokumentationskrav følges, fordi der i de fleste tilfælde kun er et krav til, at de forskellige egenskaber skal deklareres.



Desuden siger de lovmæssige dokumentationskrav intet om stenens modstandsdygtighed overfor fugt- og temperatursvingninger, saltkrystallisation og misfarvninger. Derfor er der i nedenstående udarbejdet en række anbefalinger med hensyn til stenens egenskaber, som giver et meget mere sikkert grundlag for at vælge en hensigtsmæssig sten til et givet belægningsformål.

Helt grundlæggende for at en belægningssten er funktionsdygtig, er dens styrkeegenskaber. Afhængigt af belægningsstenens udformning skal dens tryk- og bøjningsstyrke være så høj, at den kan modstå de belastninger, den måtte blive udsat for. Hvis belægningsstenen er udformet som en flise, vil det være **bøjningsstyrken**, der er bestemmende for dens belastningsevne, mens det er **trykstyrken**, der bestemmer en brostens belastningsevne. For yderligere anvisninger omkring dimensionering henvises der til Anvisning nr. 5 "Natursten og dimensionering af gulve og belægninger".

Det anbefales at opgive den karakteristiske minimumsværdi for henholdsvis Bøjningsstyrke (EN 12372) [10] og Trykstyrke (EN 1926) [11]. Prøvningsværdierne bør evalueres i henhold til den aktuelle dimensionering af belægningsstenene og de forventede belastninger. Se Anvisning nr. 5 "Natursten og dimensionering af gulve og belægninger".

Skridsikkerheden af en belægning er en vigtig sikkerhedsmæssig faktor. Stenens skridsikkerhed er i høj grad forbundet med den overflade, som stenen har fået ved bearbejdning. Groft bearbejdede overflader regnes normalt for at være skridsikre, og der behøves i henhold til produktstandarden for fliser (DS/EN 1341) [5] og brosten (DS/EN 1342) [6] ikke dokumentation for disse overfladers skridsikkerhed. Ved finere overfladetilvirkninger, såsom savede, slebne og polerede overflader, er der et krav til, at skridsikkerheden af fliser og brosten dokumenteres. Den anbefalede minimumsværdi for skridsikkerhed angives i produktstandarderne ved en USRV-måling (Unpolished Slip Resistance Value, EN 1341, Anneks D eller EN 1342, Anneks C) [5][6], der ligger på 35.

I produktstandarderne for kantsten findes ingen krav til skridsikkerheden, men det anbefales her, at kantsten som minimum opfylder de samme krav som fliser og brosten.

Skridsikkerhed (EN 1341, Anneks D eller EN 1342, Anneks C) [5][6] skal kun testes for belægningssten med finbearbejdede overflader. Produktstandarderne anbefaler, at USRV-måling af polerede, slebne og savede flader som minimum skal være 35.

For at kunne modstå den trafik, der er på belægningen, er det også vigtigt, at stenen har en tilstrækkelig **slidstyrke**. Produktstandarderne for fliser (DS/EN 1341) [5] og brosten (DS/EN 1342) [6] foreskriver, at slidstyrken skal deklarereres, men der gives ingen minimumskriterier for egenskaben. For langt de fleste stentyper gælder det, at de har en tilstrækkelig slidstyrke for de fleste belægningsformål, og det er derfor sjældent, at denne parameter indgår i de mere detaljerede overvejelser. Det anbefales dog ikke at benytte stenmaterialer med et slidstyrkeresultat på over 23 mm (Vejdirektoratet angiver denne værdi som den maksimalt tilladte værdi for betonbelægningsvarer i udbudsforskrift for Brolægning, almindelig arbejdsbeskrivelse).



Det er sjældent, at stenenes bæreevne svækkes i et betydende omfang ved mekanisk slid på overfladen, men i nogle tilfælde kan slid ændre overfladens bearbejdning markant. Eksempelvis kan en kløvet eller hugget overflade slides ned, således at stenen med tiden bliver glattere og måske af den grund ikke kan leve op til kravet om skridsikkerhed.

Slidstyrken (EN 1341, Anneks C eller EN 1342, Anneks B) [5][6] af natursten er næsten altid tilstrækkelig god. Det anbefales dog ikke at benytte stenmaterialer med et slidstyrkeresultat på over 23 mm (Vejdirektoratet angiver denne værdi som den maksimalt tilladte værdi for betonbelægningsvarer i udbudsforskrift for Brolægning, almindelig arbejdsbeskrivelse).

Belægningssten skal som udgangspunkt være **frostsikre** for brug i det danske klima. I henhold til produktstandarderne DS/EN 1341, 1342 og 1343 ([5], [6] og [7]) er der et krav til, at denne egenskab dokumenteres ved EN 12371 [13]. Ved testen undergår stenen 48 frost/tø cykler med et helt bestemt temperaturforløb, hvor stenen under frostoppassagerne er i luft og i tøpassagerne sænkes ned i rent vand. Hvis styrketabet efter de 48 cykler er større end 20 %, kan stenen ikke betragtes som værende frostsikker.

Selvom frost-tøpåvirkningen i denne test er kraftig, er der i det danske byggeri set flere eksempler på, at den ikke er tilstrækkelig. Visse stentyper, der har bestået testen, har vist sig ikke at være holdbare, når de blev taget i brug i områder, der var eksponeret for saltning. Det anbefales derfor, at modificere frostprøvningen således, at den i højere grad relaterer til den aktuelle eksponeringssituation. Belægningssten ligger ofte i kontakt med vand (og ligger ikke i den fri luft), når det fryser, og i mange tilfælde indeholder vandet samtidigt salte, hvilket forværrer frostopåvirkningen. Derfor anbefales det at modificere frostprøvningen, således at stenen også ligger nedsænket i vand, når den udsættes for frost. Hvis der er risiko for, at stenen samtidig bliver udsat for salte, kan testen udføres med saltvand.

Frosttesten tager ofte en del tid at få udført, og det er en relativt dyr test. Et hurtigt (og billigere) fingerpeg om stenens frostsikkerhed kan dog fås ved at bestemme dens vandabsorption ved atmosfærisk tryk samt dens kritiske vandmætningsgrad (DIN 52008, Anhang A) [14]. DIN 52008 er en ofte anvendt tysk prøvningsstandard for naturstens bestandighed mod forskellige former for forvitring. Ifølge standarden kan alle stentyper med en vandabsorption (ved atmosfærisk tryk) under 0,5 % *eller* en kritisk vandmætningsgrad under 0,75 (75 %) anses for at være frostsikre.

Belægningsstens frostbestandighed skal testes i henhold EN 12371 [13]. Det anbefales dog at udføre testen således, at prøveemnerne fryse- og tøperiode foregår nedsænket i vand. Ved risiko for salte anbefales det, at testen udføres i en 1 % saltopløsning i stedet for rent vand.

Anbefalede acceptkriterier: Styrketab <20 %, Volumentab <1 % og ingen synlige revner.

Modstandsdygtighed mod **saltkrystallisation** indgår ikke i produktstandarderne. I Danmark er det relativt sjældent, at der konstateres skader på belægningssten, som er forårsaget af destruktive saltkrystallisationsangreb. Der kan dog forekomme tilfælde, hvor porøse sand- eller kalksten ødelægges af saltangreb, eventuelt fordi de anvendes i kombination med en uegnet



læggemørtel eller andre cementbaserede materialer. Hvis der er risiko for dette, bør stenens bestandighed mod saltkrystallisation testes i henhold til EN 12370 [15]. Her anbefales som acceptkriterier et gennemsnitlige væggtab efter testning (15 cykler) på <1 %, og at der ikke er tegn på skader (revner) på nogen af prøvelegemerne.

Det anbefales, at bestandighed mod saltkrystallisation testes i de tilfælde, hvor der er risiko for, at stenen udsættes for destruktive salte. Bestandigheden mod saltkrystallisation kan bestemmes i henhold til EN 12370 [15] – anbefalede acceptkriterier er et maksimalt gennemsnitligt væggtab efter testning (15 cykler) på 1 %, og at der ikke er tegn på skader (revner).

Natursten bliver generelt betragtet som værende modstandsdygtige overfor **fugt- og temperatursvingninger**, og der findes da heller ikke nogen krav til dette i produktstandarderne. Visse marmortyper har dog vist sig at være yderst følsomme overfor kombinationen af fugt- og temperaturvariationer, hvilket der over de senere år har været meget fokus på i forbindelse med facadebeklædninger. Hvis marmor anvendes til belægningsformål, er det også vigtigt i denne sammenhæng at sikre sig, at stenen er resistent mod temperatur- og fugtvariationer, ikke kun af styrkemæssige årsager, men også af æstetiske årsager. Ikke resistente marmortyper bliver meget porøse i overfladen og dermed mere modtagelige for tilsmudsning. Der er udarbejdet en test (NT Build 499) [16] for denne type nedbrydning i forbindelse med evaluering af marmortypers egnethed til facadeplader. Samme test kan anvendes i denne sammenhæng (er nærmere beskrevet for facadeplader). På baggrund af resultatet af denne test kan det vurderes, om stenens bestandighed mod temperatur- og fugtvariationer er acceptabel i forhold til dimensioneringen af belægningsstenen.

For marmor og tætte kalksten anbefales det at teste deres bestandighed mod temperatur- og fugtvariationer i henhold til NT Build 499 [16]. Det anbefales, at testen forløber over 50 cykler, og at det maksimale styrketab er 30 %. Styrketabet skal derudover være acceptabelt med den aktuelle dimensionering af belægningsstenen.

Produktstandarderne angiver ingen retningslinjer for, hvorledes misfarvninger af belægningssten kan undgås. Misfarvninger, der skyldes udefrakommende belægninger (f.eks. sod), har selvfølgelig ikke noget at gøre med stenmaterialet, men nogle sten indeholder i sig selv misfarvende komponenter, der kan omdannes eller trække ud på overfladen, hvis de påvirkes af fugt, salte, surt eller basisk miljø etc. Ved at udføre en petrografisk analyse (DS/EN 12407) [9] kan de potentielt misfarvende komponenter ofte identificeres. Hvis stenen indeholder omdannede jernholdige mineraler, såsom pyrit eller biotit, er der risiko for, at rustfarvede misfarvninger med tiden kan forekomme på overfladen. Andre bjergarter, som basalt eller gabbro, er mørke og har et højt indhold af mineralet plagioklas (Ca-feldspat), der ved let syreholdig påvirkning kan omdannes og danne hvide/lyse pletter på overfladen. Mange karbonater (f.eks. calcit) er ligeledes følsomme overfor sure påvirkninger, hvilket også kan resultere i misfarvninger.

Risikoen for misfarvninger kan vurderes ud fra stenens mineralogiske indhold bestemt ved en petrografisk analyse (DS/EN 12407) [9].



Dersom der konstateres betydeligt indhold af potentielt misfarvende komponenter, bør der udføres en misfarvningstest som angivet i anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold. Bilag: Plettet 2008".

4.2 Gulve

Fliser på gulve, trapper og på sokler adskiller sig fra belægningssten ved, at de dækker en allerede eksisterende konstruktion. Gulvfliser benyttes både indendørs og udendørs, mens belægningssten udelukkende gælder udendørs formål.

4.2.1 Påvirkninger

Naturstensfliser anvendes som gulvbelægning i mange forskelligartede miljøer. Indkøbscentre, lufthavne, svømmehaller, baderum, restauranter, kontorarealer, stationsbygninger og museer er blot eksempler på nogle af de bygningsværker, hvor store gulvarealer er belagt med naturstensfliser. De meget varierende miljøer betyder selvfølgelig også, at fliserne udsættes for forskellige belastninger og påvirkninger. Eksempelvis bliver et gulv i en restaurant eller køkken udsat for forskellige spildefakter i form af madrester, fedt, rødvin, cola osv., samtidig med at modsvarende rengøringsmidler bliver taget i brug for at renholde gulvet. Et gulv i et kontorlandskab udsættes hovedsageligt for mekanisk slid fra fodgængere, kontorstole og lignende og bliver normalt i mindre grad påvirket af spildefakter.

Belastningen på gulve i f.eks. indkøbscentre og lufthavne er karakteriseret ved stort mekanisk slid fra fodgængere og varevogne/bagagevogne med hårde hjul. Varevogne med hårde hjul giver ikke kun et slid på flisernes overfade, men kan også slå mod flisernes kanter, når de kører henover fugerne mellem fliserne. De mange slag fra hjulene kan til sidst få hjørnerne til at knække af. Sliddet på gulve bliver mange gange forværret, hvis gulvet ikke er rent. Sandkorn, der via fodgængere slæbes ind på gulvet, virker som et slibemiddel på gulvets overflade, og det er derfor en god ide at forebygge dette ved at lægge store måtter ved alle indgange til arealet.

Selvom klimaet indendørs helst skal være tørt, sker det dog ofte, at gulvet i kortere eller længere perioder er fugtigt. Fugtforholdene under flisen vil uvægerligt påvirke fugtindholdet i selve naturstensflisen, og hvis underlaget er fugtigt vil der ske en fugttransport fra underlaget og op gennem flisen. Dette kan have uheldige konsekvenser, idet salte fra mørtlen/fliseklæber (eller fra selve stenen) kan transporteres igennem stenen sammen med fugten. Når fugten når til udtørningszonen på oversiden, sker der en fordampning, hvorved forskellige salte kan udfældes lige under og på flisens overflade. Det er derfor også vigtigt at overveje, om en klæber/mørtel egner sig til netop den aktuelle stentype. Forkert valg af klæber kan efterfølgende resultere i omfattende skader på gulvet.

Et gulv kan selvfølgelig også opfugtes fra oversiden. Gulvvask giver generelt kun en mindre periodevis opfugtning, men i baderum og svømmehaller må man beregne, at der sker en næsten permanent opfugtning af stenen, og at vandet kan indeholde kemisk aggressive komponenter (f.eks. klorider eller alkaliholdige sæber). Desuden benyttes der i sådanne miljøer ofte relativt aggressive rengøringsmidler, der også vil påvirke stenen. Desuden må det påregnes, at gulvet udsættes for abrupte temperatursvingninger, når koldt eller varmt vand, fra eksempelvis brusehoveder, pludseligt sprøjter udover stenen.



I modsætning til fliser, der anvendes indendørs, bliver udendørs gulve ligesom belægningssten også påvirket af den vejrmæssige nedbrydning, såsom stor fugtbelastning, surt miljø, fryse-tø passager, temperaturvariationer, forurening fra atmosfæren og biologiske aflejringer. Påvirkningerne af udendørs flisegulv kan på den baggrund ligestilles med påvirkningerne af belægningssten.

4.2.2 **Krav og anbefalinger til gulvflisens tekniske egenskaber**

Den europæiske produktstandard EN 12058 [2] specificerer kravene til gulvfliser af natursten med en tykkelse på over 12 mm. Hvis flisens tykkelse er under 12 mm, gælder standarden for naturstensfliser EN 12057 [3]. Forskellen mellem de to standarder findes i de geometriske krav og tolerancer, der er til det endelige produkt. Kravene til stenmaterialet og flisernes overflade er ens. Dokumentationskravet til naturstensflisers tekniske egenskaber i henhold til disse to produktstandarder er opsummeret i



Tabel 4.3.

Gulvfliser anvendt indendørs skal i henhold til produktstandarderne kun leve op til et krav omkring brandsikkerhed. Med hensyn til naturstensflisernes øvrige funktionsmæssige og holdbarhedsmæssige krav gælder ingen krav.

Natursten anses normalt for at være holdbare til indendørs brug. Vejrmæssige påvirkninger, såsom frost og fugt i store mængder, samt tung trafik vil normalt ikke påvirke indendørs gulve. Der kan derfor anvendes et større udvalg af stentyper, idet nogle af de sten, der normalt ikke er holdbare til udendørs formål, godt kan modstå et indendørs miljø.

Det er dog stadig vigtigt at sikre sig, at stenenes styrkemæssige kvaliteter, såsom bøjningsstyrke, slidstyrke og i nogle tilfælde slagstyrke, svarer til den belastning gulvet udsættes for. Naturstensflisens styrkeegenskaber bedømmes i høj grad ud fra dens **bøjningsstyrke**. Bøjningsstyrken behøver ikke at være særlig høj for, at en flise er anvendelig, idet den enkelte flise ligger fuldstændigt understøttet i mørtel. For nærmere kriterier omkring mindstekrav til naturstensflisers bøjningsstyrke henvises der til anvisning nr. 5 "Natursten og dimensionering af gulve og belægninger".

Det anbefales at opgive den karakteristiske minimumsværdi for Bøjningsstyrke (EN 12372) [10]. Prøvningsværdierne bør evalueres i henhold til den aktuelle dimensionering af belægningsstenene og de forventede belastninger. Se anvisning nr. 5 "Natursten og dimensionering af gulve og belægninger".



Tabel 4.3: Dokumentationskrav til gulvfliser af natursten i henhold til produktstandarden EN 12058 [2] og EN 12057 [3].

Egenskab	Test	Krav i henhold til produktstandard
Navngivning	EN 12440 [8] EN 12407 [9]	Stenens salgsnavn, petrografiske navn, farve og oprindelsessted skal deklareres.
Udseende	Ingen	Referenceprøver (minimum 0,1 m ² pr. prøve) skal udvælges for at indikere det generelle udseende af det færdige arbejde. Referenceprøverne skal indikere den tilladte variation i stenen mht. farve, fyldte årer, fysiske struktur og overflade finish.
Reaktion ved brand (kun indendørs)	EN 13501-1 [17]	Testes kun hvis: <ul style="list-style-type: none"> • Stenens indhold af asfalt overstiger 1 volumen % eller 1 vægt %. • Stenen er behandlet med et organisk materiale (til udfyldning af huller, revner etc.) i et omfang, der overstiger 1 volumen % eller 1 vægt %.
Bøjningsstyrke	EN 12372 [10]	Skal deklareres (ingen kriterier)
Vandabsorption	EN 13755 [12]	Skal deklareres på forlangende (ingen kriterier). Skal ikke deklareres hvis porøsiteten < 1 %
Densitet og porøsitet	EN 1336 [18]	Skal deklareres (ingen kriterier)
Slidstyrke	EN 14157 [19]	Deklareres når påkrævet (ingen kriterier)
Skridsikkerhed	EN 14231 [20]	Skal deklareres for fint tilvirkede overflader, hvor ruheden ikke overstiger 1mm.
Følbarhed	Visuel	Deklareres når påkrævet (ingen kriterier)
Temperatur chok	EN 14066 [21]	Deklareres når påkrævet (ingen kriterier)
Frostbestandighed (kun udendørs)	EN 12371 [13]	Deklareres når påkrævet. Anbefalet kriterium: <20 % tab i bøjningsstyrke efter 48 cykler

Slidstyrken måles i henhold til EN 14157 [19]. De fleste natursten har normalt en høj slidstyrke, og levetiden af naturstensfliser er derfor generelt høj. Det betyder dog ikke, at overfladen ikke påvirkes med tiden. Hvis flisen har fået en fin overfladebearbejdning, kan denne ødelægges ved mekanisk slid, hvis stenmaterialet ikke er hårdt nok. I finkornede bjergarter er stenens hårdhed relativ ensartet, mens den i grovkornede bjergarter kan være meget inhomogen, afhængig af de enkelte mineralers hårdhed.

Slidstyrke testes i henhold til EN14157 [19]. Ingen krav.

På alle områder, hvor fodgængere færdes, skal der tages hensyn til, at gulvene er tilstrækkeligt plane og har en passende **skridsikkerhed**. Ofte angives kun mindsteværdier for skridsikkerheden, men der kan være områder (f.eks. i travle køkkener og lignende), hvor bevægelsesmønsteret er på en sådan måde, at fødderne helst ikke må "gribe fast" i underlaget. Der er ikke krav til at måle skridsikkerheden af groft bearbejdede overflader, idet disse anses for at være skridsikre. Derimod er der krav til, at skridsikkerheden måles på fintbearbejdede overflader, hvor højden på ujævnhederne i overfladen er mindre end 1 mm. Skridmodstandsevnen måles i hen-



hold til EN 14231 [20] og udtrykkes som SRV (Slip Resistance Value). UKSRG 2005 (United Kingdom Slip Resistance Group) angiver følgende SRV-værdier for vurdering af målingerne: 0-24 højt skridpotentiale, 25-35 moderat skridpotentiale og >35 betyder lavt skridpotentiale.

Skridsikkerhed testes i henhold til EN 14231 [20]. SRV = 0-24 højt skridpotentiale, 25-35 moderat skridpotentiale og >35 betyder lavt skridpotentiale.

Natursten er generelt et holdbart materiale for gulvbelægnings. Der findes dog nogle sten, der er meget følsomme overfor fugtpåvirkninger og udfældninger af salte og som må anses for at være uegnede som gulvbelægning. Lerholdige porøse kalksten, calcitbundne sandsten samt visse skifertyper udgør stentyper, hvor der er risiko for, at der kan dannes afskalninger i overfladen ved opfugtning, eventuelt i kombination med udfældninger af salt. Selvom risikoen for denne type skader stiger med fugtbelastningen, så kan relativt lave fugtpåvirkninger, som f.eks. ved gulvvask, være skadelige for de svageste stentyper.

De risikofyldte natursten kan identificeres ved en petrografisk analyse (EN 12407) [9]. Det er dog ikke muligt at forudsige stenens eksakte reaktion overfor fugt og salte, så det anbefales at teste disse stentypers modstandsdygtighed overfor saltkrystallisation (i henhold til EN 12370) [15], før de benyttes.

Stentyper med risiko for fugt- og saltbetingede overfladeafskalninger kan identificeres ved en petrografisk analyse i henhold til DS/EN 12407 [9]. Porøse kalksten og calcitbundne sandsten, begge med et højt lerindhold, samt skifre udgør typisk sten med risiko for salt- og fugtskader.

Det bør dokumenteres, at specielt disse sten er modstandsdygtige overfor saltkrystallisation i henhold til (EN 12370).

En anden type fugtrelaterede skader kan være misfarvninger som følge af rustudfældninger på stenoverfladen. Denne type skader er tidligere omhandlet under udendørs belægningssten og kan ramme næsten alle stentyper, der indeholder nedbrydelige jernholdige mineraler. Ofte er risikoen for rustudfældninger på indendørs gulve noget mindre, idet fugtbelastningen her er mindre, men der kan forekomme eksempler, hvor rustpletter kan træde frem på stenene som følge af fugtpåvirkninger.

Risikoen for misfarvninger kan vurderes ud fra stenens mineralogiske indhold bestemt ved en petrografisk analyse (DS/EN 12407) [9].

Dersom der er konstateret betydelige indhold af potentielt misfarvende komponenter, bør der udføres en misfarvningstest i henhold til anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold. Bilag: Plettest 2008".

I det omfang stenen vil blive udsat for pludselige temperaturændringer, bør stenens bestandighed mod dette dokumenteres i henhold til EN 14066 [21]. Testens resultat udtrykkes ved et væggtab samt ved tab af det dynamiske E-modul efter, at prøveemnerne har været udsat for 20



temperaturcykler. Tabet i dynamisk E-modul måles som ændringer i egensvingninger og er et alternativt udtryk for tab af styrke. Så vidt forfatterne ved, findes der ingen kriterier, i hverken de europæiske standarder eller i litteraturen i øvrigt, der kan relatere denne tests resultater til stenens holdbarhed i virkeligheden. Vi er derfor ikke i stand til at angive retningslinjer herfor. Dog bør man være på vagt overfor sten, der lider et signifikant væggtab (f.eks. over 1 %). Synlige skader, såsom revner og misfarvninger, indikerer ligeledes, at stenen ikke er modstandsdygtig.

Modstandsdygtighed overfor pludselige temperatursvingninger bestemmes i henhold til EN 14066 [21]. Der kan på baggrund af manglende dokumentation ikke angives nogen anbefalinger for testens udfald.

4.3 Facader

Mange større bebyggelser bliver i dag opført med en klimaskærm af natursten. Facadepladerne bliver normalt monteret med dorne eller i et skinnesystem, som er fastgjort til bygningen. Brugen af naturstensfacadeplader er i de seneste 50 år steget eksplosivt i takt med, at teknologiske fremskridt har gjort det økonomisk attraktivt at producere og benytte tynde facadeplader.

4.3.1 Påvirkninger

Facadeplader er, ligesom udendørs belægninger, eksponeret mod klimaet og bliver således også udsat for temperatursvingninger, fryse-tø passager, skiftende fugtforhold og atmosfærisk forurening. De udsættes dog ikke på samme måde for mekanisk slid, og der skal heller ikke tages hensyn til nogen form for trafik på overfladen. Derimod er facadepaneler ubeskyttet for vinden, som kan påføre pladerne ret så betydelige belastninger (se anvisning nr. 5 "Natursten og dimensionering af facader").

Ophængte facadeplader har som regel et hulrum bag facadepladen, hvilket gør, at pladens temperaturer i høj grad varierer med vejret. Temperatursvingningerne på en facade kan således være ret høje. På en varm sommerdag kan temperaturen på en solbeskinnede mørk facadesten være op til 60°C, mens den om natten kan falde til under 10°C. Selvom udsvingene sjældent er så store, så udsættes pladerne for betydelige daglige temperatursvingninger, som med tiden kan forårsage et styrketab i stenen.

Fugtforholdene på en facade kan variere betydeligt. Den primære fugtkilde er nedbør, som rammer facadepladernes yderside. Facadepladernes inderside ligger beskyttet og forbliver som regel tør. På en lodret facadeplade vil det meste vand løbe af pladen og kan derfor ikke suges ind i pladen. I facaden kan der dog være vandrette flader (f.eks. i vinduesudskæringer), hvor vandet kan ophobes og langsomt trænge ind i stenen. Hvis de nedre facadeplader har kontakt til jorden, må der også her forventes en langt højere grad af fugtbelastning, hvilket giver en større risiko for frost- og saltkrystallisationskader.

I byområder, hvor der er stor forurening, udfældes der sodpartikler på næsten alle facader. Soden giver facaderne et mørkt udseende og kan til sidst helt dække overfladen, hvilket fra et æstetisk synspunkt selvfølgelig ikke er hensigtsmæssigt. Der er dog i den forbindelse også et holdbarhedsmæssigt aspekt, der bør overvejes. Sammen med sodpartiklerne udvikler der sig på



facadeoverfladen et svovlholdigt miljø, som kan reagere med stenen eller give ophav til saltkrySTALLISATIONSSKADER.

Facadepaneller anvendt indendørs udsættes kun i meget lille omfang for ovenstående påvirkninger og skal derfor ikke leve op til nogen krav om vejrbestandighed. Det er dog altid en god ide at overveje, om der er nogle specielle forhold i det enkelt tilfælde, der kan påvirke facadestestens udseende eller holdbarhed. Her er det dog ofte den påvirkning, stenen har på indeklimaet, der fokuseres på. Lysets spejling og lydets genklang fra pladerne har betydning for de mennesker, der opholder sig i nærhed af væggene. Facadeplader vil også have en indflydelse på rummets temperatur og dermed det energiforbrug, der skal til for at varme et rum op.

4.3.2 **Krav og anbefalinger til facadestestens tekniske egenskaber.**

Afhængigt af stentypen vurderes facadeplader efter to forskellige standarder. Skifre testes og vurderes i henhold til EN12326-1 og 2 [22][23], som giver en vejledning i et obligatorisk testprogram samt acceptkriterier for testresultaterne. Idet denne produktstandard er udførlig og giver et relativt sikkert grundlag for vurdering af en skifers egnethed til facadebeklædning, vil denne stentype ikke behandles i følgende afsnit. Alle andre stentyper falder ind under den generelle produktstandard for natursten (EN 1469) [1]. Dokumentationskravet til tekniske egenskaber af facadeplader i natursten i henhold til denne produktstandard er opsummeret i Tabel 4.4.

I Danmark findes ingen regulativer, der kræver, at facadeplader er frostsikre. Fugtbelastningen på facader anses for at være relativ beskeden, og det antages på den baggrund, at risikoen for frostskeer er relativ lav. Her anbefales det dog kun at benytte frostsikre stenmaterialer til facadebeklædning. Som beskrevet ovenfor kan fugtbelastningen og dermed frostpåvirkningen af facadeplader være meget varierende. Vi mener på den baggrund, at frostprøvningen bør differentieres, således at testen i højere grad afspejler den reelle påvirkning, som pladerne bliver udsat for. Frosttesten bør udføres i henhold til EN 12371 [13], men bør have en længere varighed på 48 cykler i stedet for de foreskrevne 12. Derudover anbefales det, afhængigt af facadestestens placering, at følgende modificeringer indarbejdes i testen:

- For sokkelsten og facadeplader med direkte kontakt til fersk vand bør både fryse- og tøperioderne foregå nedsænket i fersk vand.
- For sokkelsten og facadeplader med direkte kontakt til vand og salte (f.eks. tørsalte) bør både fryse- og tøperioderne foregå nedsænket i en 1 % saltopløsning.
- For gesimser, sålbænke og andre vandrette plader bør både fryse- og tøperioderne foregå nedsænket i fersk vand.
- For vertikale plader med direkte kontakt til vandrette plader bør både fryse- og tøperioderne foregå nedsænket i fersk vand.
- For vertikale plader uden kontakt til vandrette plader bør fryseperioderne foregå i luft, mens tøperioden foregår nedsænket i vand.



Tabel 4.4: Dokumentationskrav til gulvfliser af natursten i henhold til produktstandarden EN 1469 [1].

Egenskab	Test	Krav i henhold til produktstandard
Navngivning	EN 12440 [8] EN 12407 [9]	Stenens salgsnavn, petrografiske navn, farve og oprindelsessted skal deklareres.
Udseende	Ingen	Referenceprøver (minimum 0,1 m ² pr. prøve) skal udvælges for at indikere det generelle udseende af det færdige arbejde. Referenceprøverne skal indikere den tilladte variation i stenen mht. farve, fyldte årer, fysiske struktur og overfladefinish.
Reaktion ved brand	EN 13501-1 [17]	Skal deklareres. Natursten anses generelt som brandsikre og skal kun testes hvis: <ul style="list-style-type: none"> • Stenens indhold af asfalt overstiger 1 volumen % eller 1 vægt %. • Stenen er behandlet med et organisk materiale (til udfyldning af huller, revner etc.) i et omfang, der overstiger 1 volumen % eller 1 vægt %.
Bøjningsstyrke	EN 12372 [10]	Skal deklareres (ingen kriterier)
Brudlast ved dyvelhul	EN 13364 [24]	Skal deklareres (ingen kriterier)
Vandabsorption	EN 13755 [12]	Deklareres på forlangende (ingen kriterier)
Kapillar vandabsorption	EN 1925 [25]	Deklareres på forlangende (ingen kriterier). Skal ikke deklareres, hvis porøsiteten < 1 %
Densitet og porøsitet	EN 1336 [18]	Skal deklareres (ingen kriterier)
Frostbestandighed	EN 12371 [13]	Deklareres når påkrævet. (Acceptkriterier efter 12 fryse-/tøcykler: Ingen revner og maksimum styrketab på 20 %).
Termisk chok	EN 14066 [21]	Deklareres når påkrævet
Vanddampermeabilitet	EN 12524 [26]	Skal deklareres på forlangende (ingen kriterier)

Følgende acceptkriterier anbefales for frosttesten: Et styrketab på under 20 %, et volumentab på under 1 %, og derudover må der ikke registreres synlige revner på prøveemnerne.

Facadepladers frostbestandighed testes i henhold EN 12371 [13]. Det anbefales dog at udføre testen over 48 cykler med følgende modificeringer og acceptkriterier:

- Sokkelsten og facadeplader med direkte kontakt til fersk vand: Både fryse- og tøperioder foregår nedsænket i fersk vand.
- Sokkelsten og facadeplader med direkte kontakt til vand og salte: Både fryse- og tøperioderne foregår nedsænket i 1 % saltopløsning.
- Gesimser, sålbænke og andre vandrette plader: Både fryse- og tøperioder foregår nedsænket i fersk vand.
- Vertikale plader med direkte kontakt til vandrette plader: Både fryse- og tøperioderne foregår nedsænket i fersk vand.
- Vertikale plader uden kontakt til vandrette plader: Fryseperioderne foregår i luft, mens tøperioden foregår nedsænket i vand.



Anbefalede acceptkriterier: Styrketab <20 %, volumetab <1 % og ingen synlige revner.

Facadesten, der er eksponeret for salte, bør også være resistente overfor nedbrydning ved **saltkrystallisation**. Dette er ikke et krav i produktstandarden, og langt de fleste magmatiske og metamorfe bjergarter er da også at betragte som værende holdbare i forbindelse med saltangreb. Der er dog en del porøse sedimentære stentyper (kalksten og sandsten), der kan nedbrydes som følge af saltkrystallisation. Derfor anbefales det at teste denne type sten i henhold til EN 12370 [15]. Her anbefales som acceptkriterier et gennemsnitligt væggtab efter testning (15 cykler) på maksimum 1 %, og at der ikke er tegn på skader (revner) på nogen af prøvelegemerne. Dersom testen resulterer i misfarvninger, bør der foretages en vurdering af, om dette er æstetisk acceptabelt.

Det anbefales, at bestandighed mod saltkrystallisation testes i de tilfælde, hvor der er risiko for, at facaden udsættes for destruktive salte. Bestandigheden mod saltkrystallisation kan bestemmes i henhold til EN 12370 [15] – anbefalede acceptkriterier er et maksimalt gennemsnitligt væggtab efter testning (15 cykler) på 1 %, og at der ikke er tegn på skader (revner).

Natursten, der benyttes til udendørs facadebeklædning, bør altid være bestandige overfor **temperaturvariationer** – også i fugtig tilstand. Visse marmortyper og tætte kalksten er kendt for at lide relativt store styrketab i løbet af kort tid som følge af fugt- og temperatursvingninger. Der bør derfor altid foreligge dokumentation for, at lige netop disse stentyper er holdbare overfor denne type påvirkning. Der findes intet krav om dette i produktstandarden, og der findes ikke i de europæiske EN-normer metoder til at undersøge disse forhold. NT Build 499 [16] er en pålidelig accelereret prøvningsmetode, som simulerer de fugt- og temperaturcykler, som facadeplader udsættes for. Testen udføres over 50 cykler, hvor temperaturen varierer mellem 20 og 80°C. Udbøjningen (τ) og tabet i bøjningsstyrke af prøvelegemerne benyttes til at evaluere stens modstandsdygtighed. Det anbefalede niveau for udbøjningen er maksimalt 0,4 mm/m efter endt prøvning, hvoraf maksimalt 0,1 mm/m af udbøjningen finder sted i de sidste 25 cykler ($\Delta\tau$). De anbefalede kriterier for styrketab er maksimum 30 % efter 50 cykler.

For marmor og tætte kalksten anbefales det at teste deres bestandighed mod temperatur- og fugtvariationer i henhold til NT Build 499 [16]. Det anbefales, at testen forløber over 50 cykler, og at det maksimale styrketab er 30 %. Styrketabet skal derudover være acceptabelt med den aktuelle dimensionering af belægningsstenen. Anbefalede krav til udbøjning: $\tau < 0,4$ mm/m og $\Delta\tau < 0,1$ mm/m.

I det omfang facaden vil blive udsat for pludselige temperaturændringer, bør stens bestandighed mod dette dokumenteres i henhold til EN 14066 [21]. Som det er tilfældet med gulvfliser, kan vi heller ikke for facadeplader angive anbefalede testværdiger, der kan benyttes til at evaluere stens holdbarhed mod temperatursvingninger. Dog mener vi også her, at man bør være varsom med stentyper, der lider et signifikant væggtab (f.eks. over 1 %). Synlige skader, såsom revner og misfarvninger, indikerer ligeledes, at stenen ikke er modstandsdygtig.



Modstandsdygtighed overfor pludselige temperatursvingninger bestemmes i henhold til EN 14066 [21]. Der kan på baggrund af manglende dokumentation ikke angives nogen anbefalinger for testens udfald.

Facadeplader i natursten kan, på lige fod med belægningssten og naturstensfliser, indeholde mineraler/komponenter, der giver risiko for misfarvning. Derfor anbefales det at udføre en tilsvarende vurdering af naturstenens indhold af risikofyldte mineraler på baggrund af en petrografisk analyse (EN 12407) [9] samt eventuelt at udføre en misfarvningstest i henhold til anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold. Bilag: Pletttest 2008".

Risikoen for misfarvninger kan vurderes ud fra stenens mineralogiske indhold bestemt ved en petrografisk analyse (DS/EN 12407) [9].

Dersom der er konstateret betydelige indhold af potentielt misfarvende komponenter, bør der udføres en misfarvningstest i henhold til anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold. Bilag: Pletttest 2008".



5. Stentyper og forventelige egenskaber

I dette hæfte er anbefalinger til stenenes tekniske egenskaber udarbejdet med udgangspunkt i deklaraationskravene fra de europæiske produktstandarder. Det skal dog understreges, at hverken anbefalingerne givet her eller i produktstandarderne har status af lovmæssige krav – de skal anses som fornuftige foranstaltninger for et sikkert valg af natursten. Selvom det anbefales, at stenene skal have bestemte egenskaber i de forskellige anvendelsessituationer, betyder det ikke, at der nødvendigvis skal udføres en række test for at dokumentere alle egenskaber i hvert eneste tilfælde. Mange gange kan man, med udgangspunkt i stenens type og geologiske karakterisering, give forholdsvis sikre fingerpeg om mange af stenens funktionsmæssige, holdbarhedsmæssige og fysiske egenskaber. På Fig. 5.1 er udarbejdet et "Smiley"-system, som indikerer forskellige bjergarters egenskaber. Smiley-systemet består af tre niveauer, som skal indikere ☺ generelt gode egenskaber, ☹ mindre problematiske forhold og ☹ en del problematiske forhold. Det skal dog understreges, at systemet ikke giver definitive svar, idet der kan være varianter af den respektive bjergart, som ikke har bjergartens typiske egenskaber. Eksempelvis findes der mange varianter af marmor, der er aldeles resistent overfor fugt- og temperaturpåvirkninger, mens andre varianter er yderst følsomme overfor dette. På samme vis findes enkelte varianter af bjergarten gnejs, som let kan danne misfarvninger, og det selvom gnejs i langt de fleste tilfælde ikke er specielt modtagelig for misfarvninger.

Systemet kan med fordel benyttes i forbindelse med udarbejdelse af produktspecifikationer af naturstensprodukter og eventuelt i forbindelse med en CE-mærkning. Når der er problematiske forhold omkring en bjergart, bør dette altid indgå i en produktspecifikation.



Bjergart	Mekaniske egenskaber					Holdbarhedsmæssige egenskaber					Rengøringsvenlighed
	Trykstyrke	Bøjetrækstyrke	Brudstyrke i dornhuller	Slagstyrke	Slidstyrke	Resistens mod frost	Resistens mod saltpåvirkninger	Resistens mod misfarvning/kemiske omdannelser	Resistens mod fugt- og temperatur variationer	Resistens mod sure påvirkninger	
Granit/monzonitt/syenit	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Lys gullig granit	😬	😬	😬	😬	😊	😬	😬	😬	😊	😊	😊
Basalt/Gabbro	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😬
Gnejs	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Kvartsit	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
Marmor	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😬	😞	😞	😬
Glimmerskifer	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😬	😊	😬	😬
Skifer	😊	😊	😊	😊	😊	😬	😬	😬	😞	😬	😬
Sandsten, kvartsbundet	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😬	😊	😊	😬
Sandsten, kalcitbundet	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😬	😊	😞	😬
Kalksten (tæt), vandabs <1 %	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😬	😬	😬	😞	😬
Kalksten (porøs), vandabs >1 %	😊	😊	😊	😊	😊	😞	😞	😬	😊	😞	😞
Travertin	😬	😬	😬	😊	😊	😬	😊	😬	😊	😞	😞

Fig. 5.1: Vejledende smiley-system over de mest almindelige stentypers egenskaber. 😊 generelt gode egenskaber, 😬 mindre problematiske forhold og 😞 en del problematiske forhold.



6. Overvejelser omkring overfladebearbejdning

Stenhuggerlaugets temahæfte nr. 4 "Sten, materialer og bearbejdning" [27] giver en udførlig beskrivelse af overfladebearbejdning af natursten. Bearbejdningen giver stenen et helt bestemt udtryk og fremmer helt bestemte ønskede overfladeegenskaber (f.eks. skridsikkerhed).

Den valgte overfladebearbejdning afhænger af stenens type. Dvs., at en hvilken som helst sten ikke nødvendigvis kan bearbejdes efter alle metoder, fordi de forskellige stentyper kan have forskellige fysiske egenskaber. I den danske industri er de mest anvendte bjergarter granit, sandsten, kalksten og marmor. Fig. 6.1 viser en oversigt over hvilke overfladebearbejdningsmetoder, der kan anvendes og typisk bruges på de forskellige stentyper.

Fig. 6.1: Stentyper og anvendte overfladebearbejdningsmetoder.

Stentyper	Kløvet	Tugt	Spidshugget	Stokhugget	Riffelhugget	Jetbrændt	Sandblæst	Poleret	Slebet	Høvlet	Skoret/opslået
Magmatiske og metamorfe sili-katbjergarter	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Sandsten	X	X	X				X				X
Kalksten	X	X	X					X	X	X	X
Marmor	X	X	X					X	X		X
Skifer	X	X							X		

De forskellige overfladebearbejdningsmetoder udføres på forskellig vis og udnytter alle stenens naturlige egenskaber, såsom hårdhed og lagdeling.

Kløvning anvendes specielt til bjergarter, som har en naturlig lagdeling. **Sandsten** og **skifre** er de mest almindelige stentyper med en sådan lagdeling, og ved kløvning fremstår overfladen med en naturlig, flaget struktur.

Tugtning anvendes på de fleste bjergarter og udføres med en spidsmejsel. Metoden efterlader relativt dybe ormeformede riller i overfladen. Tugtning inddeles i to grader, hvor grad OA har en tilladt fordybning på 25 mm og OB en dybde på 15 mm.

Huggede overflader benyttes typisk på **granit** eller andre lignende bjergarter, såsom gabbro. Hugning foretages industrielt med et huggeværktøj bestående af hammer og mejsel eller ved hjælp af et trykluftsværktøj. Hugning med hammer og mejsel bruges hovedsageligt til bearbejdning af ældre bygværker og i forbindelse med billedhugningsarbejde. Der findes tre forskellige hugningsmetoder: stokhugget, spidshugget, og riffelhugget. Som ordet antyder tilføjes overfladen nogle hug eller stød med forskellige værktøjer, hvorved forskellige mønstre og for-



dybninger dannes i overfladen. De tre metoder inddeles i fire grader (I grovest – IV finest) afhængigt af fordybningernes størrelse.

Jetbrænding benyttes typisk på kvartsholdige bjergarter, såsom granit og kvartsit. Denne type overflade er karakteriseret ved en nubret, kløvet struktur, som dannes ved at påføre overfladen en kraftig opvarmning og efterfølgende afkøling. Herved spaltes kvartskrystallerne i overfladen og efterlader mange små kløveplaner som tilsammen udgør den ru overflade (Fig. 6.2).

Sandblæsning udføres med aluminiumoxid eller andre hårde materialer, som med trykluft blæses mod stenen. Metoden anvendes til inskription på sten og til ornamenter. Sandblæsning anvendes desuden til afrensning af sten samt til fjernelse af tidligere bearbejdnings. Sandblæsningen resulterer i knusning af de eksponerede mineraler i stenoverfladen, hvorved stens glans nedsættes. Sandblæste sten er på grund af den knuste struktur generelt modtagelige for begroning. **Sandsten** er bedst egnet til sandblæsning.



Fig. 6.2: Eksempel på en jetbrændt overflade af en gabbro. Skala = 10 mm.

Slibning og polering af krumme flader sker ved håndslibning, mens slibning og polering af plane flader udføres med automatiske maskiner. Ved automatisk slibning placeres stenen på et bånd, hvor den først passerer et fræsehoved, derefter flere slibehoveder med finere og finere karborundpulver (slibning). Afslutningsvis poleres stenen under et polerhoved, hvor der bruges løst slibemiddel og en blød polerskive. Overfladen poleres til den er spejlblank, dvs., at alle strukturelle elementer, mineraler og farver tydeligt kan ses. De fleste sten indeholdende mineraler af ens hårdhed kan poleres, f.eks. **granit**, **gabbro**, **kalksten** og **marmor**. Sandsten og skifre egner sig ikke til polering.

Høvling er en gammel bearbejdningsform, som oprindeligt blev anvendt til at plane ujævnheder på kalkstenoverflader. Nu om stunder høvles den savede overflade udelukkende, fordi overfladen ved høvling får en dekorativ fremtoning. Metoden bruges primært på **kalksten**. Høv-



lingen af overfladen resulterer i dannelse af relativt store udvindinger/fordybninger, der giver stenen et spættet udseende (Fig. 6.3).



Fig. 6.3: Eksempel på strukturen af en høvlet kalkstensoverflade. Skala = 10 mm.

Råkop er rå overflader typisk af granit, hvor kun kanterne er blevet tilrettet.

6.1 Overfladebearbejdningens indflydelse på stenens holdbarhed

De forskellige overfladebearbejdningsmetoder påvirker stenen på forskellig vis. Graden af påvirkning bestemmes af flere egenskaber i stenen, såsom: hårdhed, friskhed, struktur, og mineralernes orientering.

Magmatiske og metamorfe silikatbjergarter:

Importerede lyse, gullige granitter (og syenitter, monzonitter) er i de senere år blevet benyttet ved mange store anlægsbyggerier. Det har vist sig, at kvaliteten af disse granitter kan være svingende, og at de som følge af overfladebearbejdningen (behugning og jetbrænding) har udviklet revner i en zone nær overfladen. Omfanget af denne type revner har en betydning for stenens egenskaber, såsom dens evne til at absorbere vand og dermed også dens modstanddygtighed overfor frost og saltkrystallisation.

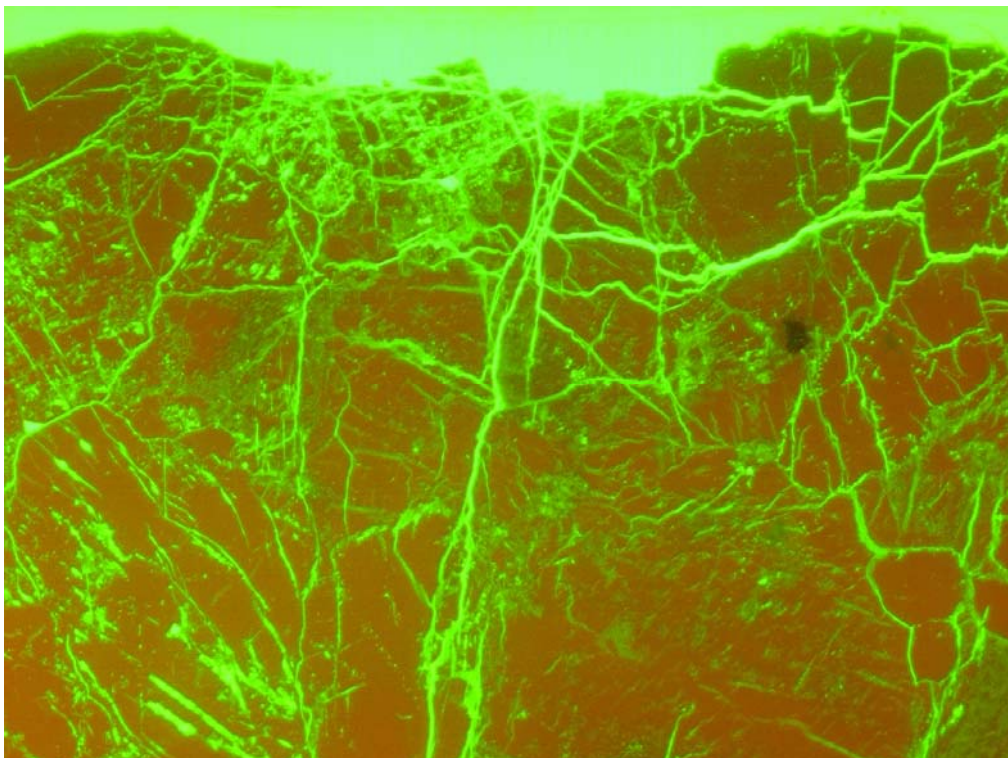


Fig. 6.4: Tyndslibsfoto af granit med behugget overflade. Tyndslibet er imprægneret med fluorescerende epoxy for at fremhæve revnemønstret. Billedets dimensioner er 6,3 x 4,1 mm.

Karakteristisk for disse lyse, gullige granitter er, at de alle har et højt indhold af feldspatkorn, som er delvist omdannet og har et højt indhold af porositeter og mikrorevner. Feldspat, som i forvejen er præget af en høj spaltelighed, bliver herved svag og skør. Ved en behugning af overfladen vil der derfor opstå mange revner og frakturer i disse feldspatkorn (*Fig. 6.4*).

Selvom behugning anses for at være den mest skadelige overfladebearbejdning, så er det for de fleste granitter (og lignende) forholdsvist uproblematisk at benytte denne bearbejdning.

Jetbrænding kan også give ophav til revner i overfladen. Her ligger revnerne dog typisk parallelt med overfladen (*Fig. 6.5*) og strækker sig ikke særligt langt ned i stenen. Dette har normalt ikke den store effekt på stenens styrke (bøjningsstyrke), men kan give ophav til mindre afskalninger i overfladen.

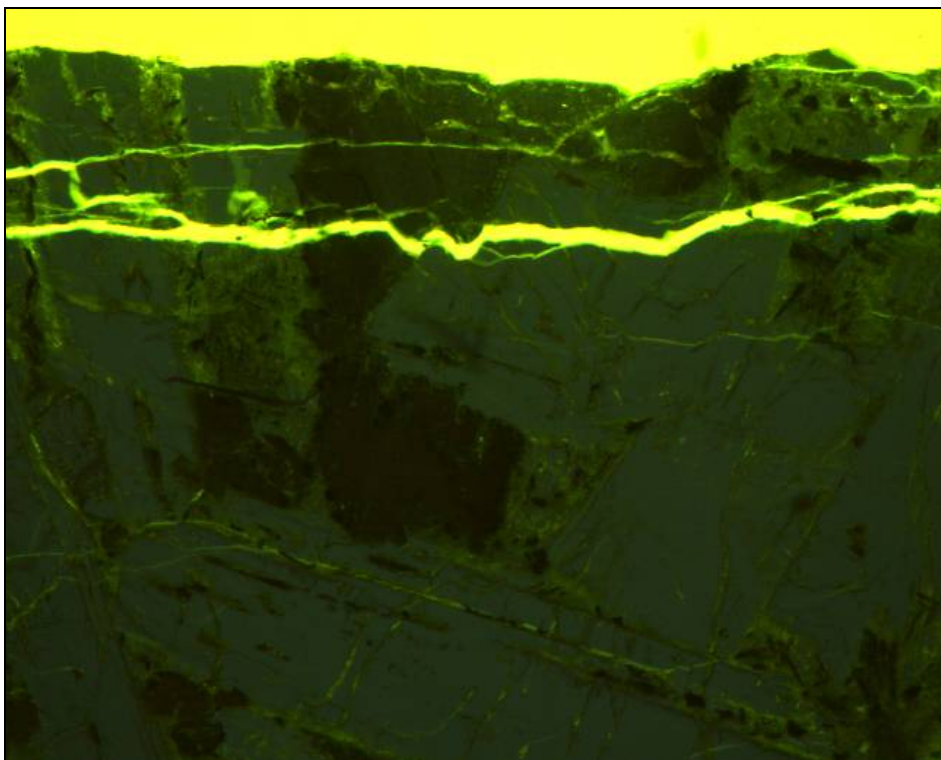


Fig. 6.5: Tyndslibsfoto af gabbro med jetbrændt overflade. Tyndslibet er imprægneret med fluorescerende epoxy for at fremhæve revnemønstret. Billedets dimensioner er 2 x 1,5 mm.

Kalksten, sandsten og marmor

Savning, slibning og polering er normalt forholdsvis skånsomme bearbejdningsmetoder overfor sand-, kalksten og marmor.

Høvling af kalk- og sandsten efterlader derimod ofte overfladeparallele revner tæt på stenens overflade, dvs. i de øverste ca. 1 mm af stenen. Dette har dog som regel ikke nogen praktisk betydning for stenens generelle styrkeegenskaber, men de overfladeparallele revner kan give anledning til afskalninger på stenoverfladen i forbindelse med slitage, saltkrystallisation og frost-/tøpåvirkninger.



7. Overfladebehandling

Naturstenens overfladeegenskaber er essentielle for, hvorledes stenen klarer sig i de forskellige anvendelsessituationer. Alle de påvirkninger, stenen udsættes for, rammer i første omgang overfladen, og her vil egenskaber som porøsitet, vandabsorptionsevne, hårdhed mv. bestemme, hvor resistent og funktionsdygtig stenen er. Hvis stenen er ubehandlet, vil egenskaberne i overfladen være de samme som i stenens indre, dog med det forbehold at stenens bearbejdning ikke har forårsaget betydelige skader i overfladen. Behandles stenen f.eks. med en polish, voks eller ved en imprægnering ændres overfladen, og det er således muligt at forbedre naturstens funktionsmæssige og holdbarhedsmæssige egenskaber.

En egnet natursten til et givet formål har, som udgangspunkt, de egenskaber, der gør den i stand til at modstå de påvirkninger, den udsættes for og som bevirker, at den kan vedligeholdes ved relativt simple procedurer. I mange forskellige situationer kan det dog være en god ide at give natursten en overfladebehandling. Specielt i de tilfælde, hvor en sten ikke har den nødvendige rengøringsvenlighed, eller hvor man søger at give overfladen en højere slidstyrke/hårdhed. Mange tætte sten (f.eks. granit, gnejs, basalt, marmor) har derfor kun i mindre grad behov for en overfladebehandling, mens dette i højere grad er nødvendigt for porøse kalk- og sandsten. På markedet findes flere typer overfladebehandlinger, som fungerer på forskellig vis. Polish, voks, imprægnering, olie, plejevaskemidler og krystalliseringsmidler egner sig hver især til forskellige formål og stentyper. En detaljeret beskrivelse af metoderne samt deres anvendelsesområde er givet i anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold".

En anden type overfladebehandling benyttes i dag i højere og højere grad for at beskytte naturstensflader mod graffiti (Se anvisning nr. 7 "Graffiti på naturstensoverflader"). Selvom graffiti kan være lettere at fjerne fra visse stentyper end andre, anbefales det for alle stentyper at benytte et antigraffitisystem i de områder, hvor der er risiko for, at stenen udsættes for graffiti. Også her findes flere forskellige systemer, der er udviklet til forskellige formål. Oftest anbefales det dog at bruge de såkaldte offersystemer, hvor overfladen er påført et tyndt voks- eller polysakkarinlag, som let kan fjernes (og påføres igen) sammen med graffiti.



8. Referenceliste

- [1] DS/EN 1469: Natursten – Plader til udendørs og indendørs beklædning – Krav.
- [2] DS/EN 12058: Natursten – Fliser til gulve og trapper – Krav.
- [3] DS/EN 12057: Natursten – Fliser - Krav.
- [4] DS/EN 1136: Brolægning og belægningsarbejder.
- [5] DS/EN 1341: Fliser af natursten til udendørs belægning – Krav og prøvningsmetoder.
- [6] DS/EN 1342: Brosten af natursten til udendørs belægning – Krav og prøvningsmetoder.
- [7] DS/EN 1343: Kantsten af natursten til udendørs belægning – Krav og prøvningsmetoder.
- [8] DS/EN 12440: Natursten – Betegnelseskræterier
- [9] DS/EN 12407: Prøvning af natursten – Petrografisk undersøgelse.
- [10] DS/EN 12372: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af bøjningsstyrke ved punktbelastning.
- [11] DS/EN 1926: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af trykstyrke
- [12] DS/EN 13755: Prøvningsmetoder for natursten – Bestemmelse af vandabsorption ved atmosfærisk tryk.
- [13] DS/EN 12371: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse frost/tø bestandighed.
- [14] DIN 52008: Prüfverfahren für Naturstein – Beurteilung der Verwitterungsbestandigkeit.
- [15] DS/EN 12370: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af modstandsevne over for saltkrystallisation.
- [16] NT Build 499: Cladding panels: Test for bowing.
- [17] DS/EN 13501-1: Brandteknisk klassifikation af byggevarer og bygningsdele - Del 1: Klassifikation ud fra resultater opnået ved prøvning af reaktion på brand
- [18] DS/EN 1936: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af reel vægtfylde og tilsyneladende vægtfylde samt total og åben porøsitet.
- [19] DS/EN 14157: Natursten - Bestemmelse af slidmodstandsevne.
- [20] DS/EN 14231: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af skridmodstandsevnen ved pendulprøvning



- [21] DS/EN 14066: Natursten, Prøvningsmetoder – Bestemmelse af ældningsmodstand ved varmechok.
- [22] DS/EN 12326-1: Skifer og andre naturstensprodukter til tagdækning og beklædning af ydervægge – Del 1: Produktspecifikation.
- [23] DS/EN 12326-2: Skifer og andre naturstensprodukter til tagdækning og beklædning af ydervægge - Del 2: Prøvningsmetoder.
- [24] DS/EN 13364: Prøvning af natursten - Bestemmelse af brudlast ved dyvelhul.
- [25] DS/EN 1925: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af vandabsorptionskoefficient ved kapillaritet.
- [26] DS/EN 10456: Byggematerialer og -produkter - Hygrotermiske egenskaber - Tabeldesignværdier og procedurer til bestemmelse af termiske deklarerede værdier og termiske designværdier.
- [27] "Sten, Materialer og bearbejdning". Temahæfte nr. 4. Stenhuggerlauget i Danmark