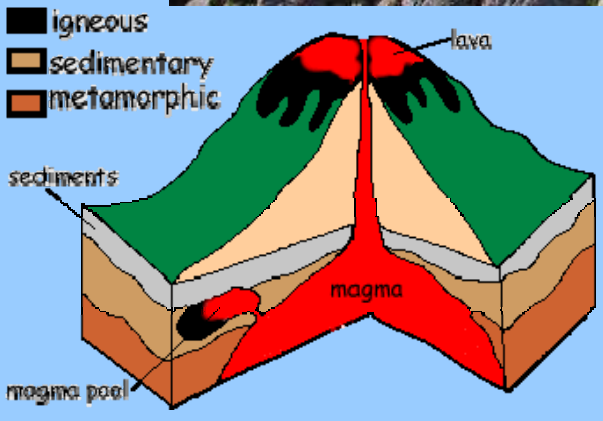
Natursten i det danske byggeri
Anvisning nr. 1

Natursten, geologi og egenskaber



NATURSTEN I DET DANSKE BYGGERI

NATURSTEN I DET DANSKE BYGGERI

Realdania

Natursten i det danske byggeri

Anvisning nr. 1 – Natursten, geologi og egenskaber

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

Telefon +45 7220 2161
www.teknologisk.dk

TEKNOLOGISK INSTITUT

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

Telefon +45 4598 6719
www.ramboll.dk

RAMBØLL

NATURSTEN I DET DANSKE BYGGERI

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.	**Geologi, terminologi og stentyper**	**5**
1.1	Bjergarter, mineraler og struktur	5
1.1.1	Mineraler	6
1.1.2	Navngivning af natursten	8
1.1.3	Klassifikation af bjergarter	10
1.1.4	De mest almindelige bjergarter	11
2.	**Naturstens egenskaber**	**18**
2.1	Bjergarters karakteristika	19
2.2	Fysisk-mekaniske egenskaber	20
2.3	Funktionelle egenskaber	23
2.4	Holdbarhedsegenskaber	24
2.4.1	Frost-tø	24
2.4.2	Saltkrystallisation	25
2.4.3	Fugt og temperaturvariationer	26
2.4.4	Kemisk resistens	27
3.	**Referenceliste**	**28**
Bilag 1: Eksempel på udseende af petrografisk analyse af natursten		**30**

1. Geologi, terminologi og stentyper

Natursten er et bjergartsprodukt udvundet af den yderste del af jordens skorpe. Spredt ud over stort set hele kloden ligger stenbrud, som forsyner os med natursten af mange forskellige slags. Den store variation i natursten afspejler det faktum, at disse stenbrud er placeret i mange forskellige geologiske dannelsesmiljøer. Stenene udvindes typisk ved at save eller sprænge store blokke fri af undergrunden og herefter udskære og bearbejde dem gennem forskellige metoder, således at de opnår en anvendelighed indenfor byggeriet. Termen "natursten" anvendes i dette hæfte om tildannede sten, der anvendes som byggesten i bred forstand.

Dannelsen af forskellige bjergarter beror på, at der inde i jorden og på jordens overflade foregår talrige kemiske, fysiske og biologiske processer, som gennem hele jordens historie har opbygget, omdannet og nedbrudt de stenmaterialer (bjergarter), der i dag udgør jordens skorpe. Hver stenforekomst har på denne måde gennemlevet sin egen geologiske historie, hvilket har resulteret i netop dens stentype og øvrige karakteristika.

Dette hæfte giver en grundlæggende introduktion til geologiske termer og naturstens tekniske egenskaber. Hensigten er at give læseren en grundlæggende forståelse for de materialemæssige parametre, der karakteriserer naturstenen og definerer dens byggemæssige kvaliteter. Hæftet er således fokuseret på de geologiske karakteristika ved natursten, der har en bygningsmæssig betydning. For en mere detaljeret gennemgang af geologi, geologiske processer, stentyper, mineraler etc. henvises til Stenhuggerlaugets temahæfte om geologi [1] samt øvrige geologiske lærebøger.

1.1 Bjergarter, mineraler og struktur

En bjergart er en fælles betegnelse for alle sten med tilsvarende mineralogisk sammensætning, kornstørrelse og struktur. Alle bjergarter består således af en eller flere mineraler, der hænger sammen i en mere eller mindre tæt struktur, som karakteriserer stenen og til dels bestemmer dens fysiske og kemiske egenskaber, heriblandt styrke, farve og holdbarhed. Eksempelvis er det muligt på en poleret overflade af granit at skelne mellem mineraler, der har forskellige farver og glans (Fig. 1.1).

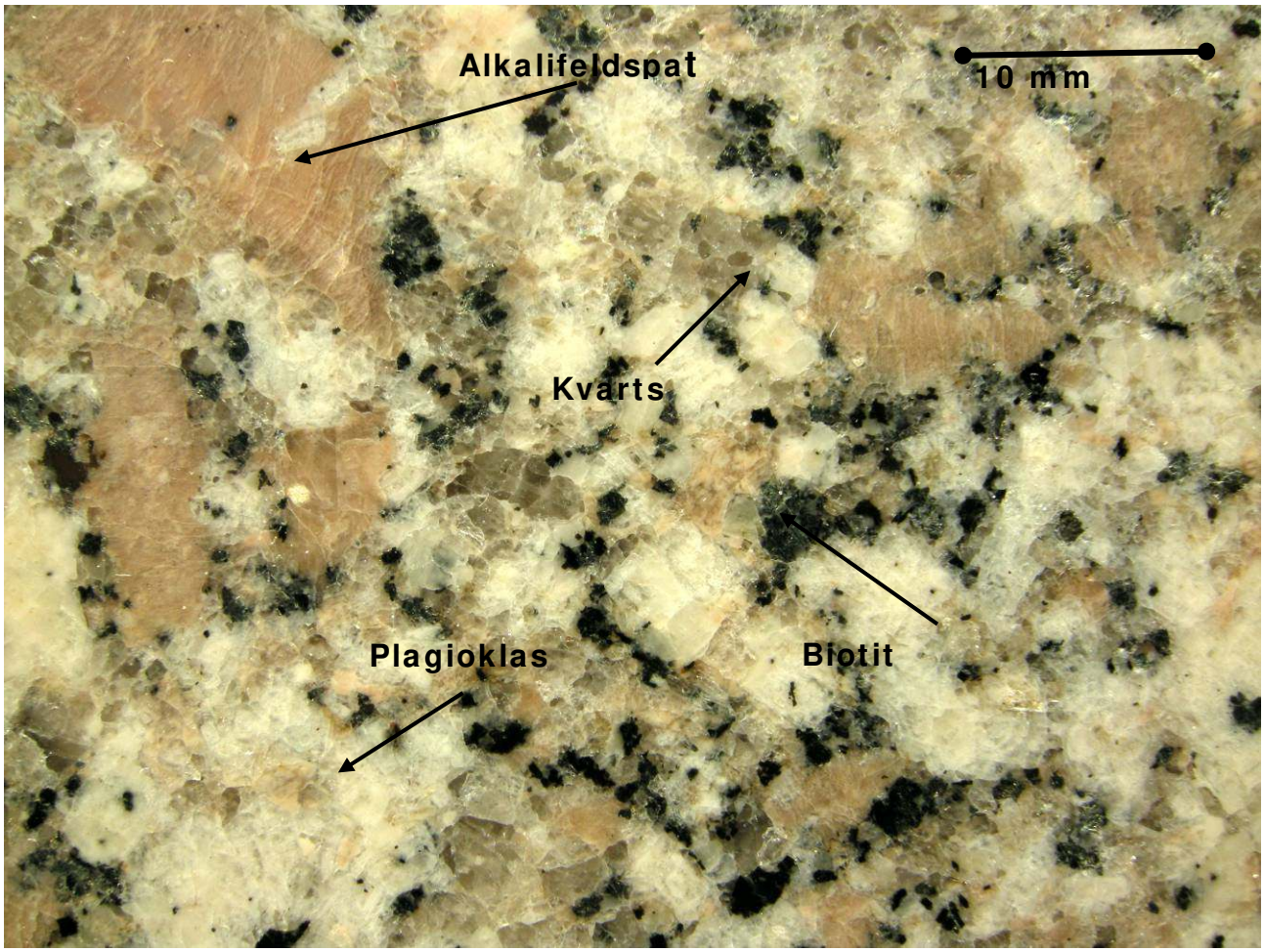


Fig. 1.1 Poleret granitoverflade. Granit består typisk af 4 hovedmineraler: kvarts (klar til røg-grå), Alkalifeldspat (lyserød), plagioklas (mælkehvid) og biotit (sort).

Kvarts, alkalifeldspat (kalium-rig), plagioklas (calcium-rig) og biotit er fire mineraler, der kendetegner bjergarten granit. Der findes mange andre stentyper eller bjergarter, der er sammensat af helt andre mineraler. Eksempelvis består bjergarten kalksten hovedsageligt af mineralet kalcit, mens en basalt er domineret af plagioklas, pyroxen, amfibol og olivin.

1.1.1 Mineraler

Alle bjergarter er bygget op af et eller flere mineraler. Et mineral defineres rent videnskabeligt som et i naturen forekommende stof med en fast krystalstruktur og kemisk sammensætning. Det betyder, at et bestemt mineral, uanset hvilken bjergart det måtte forekomme i, har den samme kemiske sammensætning og fysiske egenskaber. Mineraler og deres egenskaber er beskrevet i talrige opslagsværker og lærebøger (f.eks. "Mineralernes verden" af Ole Johnsen, Geologisk Museum [2]), som giver detaljerede beskrivelser af deres karakteristika og forekomst. Selvom der findes flere tusinde forskellige mineraler, er antallet af mineraler i de mest almindelige bjergarter relativt få. I Tabel 1.1 er angivet nogle af de mest almindeligt forekommende mineraler.

Tabel 1.1: Liste over nogle egenskaber af udvalgte mineraler.

Mineral	Densitet	Farve/ glans	Hårdhed	Spaltelighed	Vigtigste forekomster	Kommentar
Hæmatit Fe_2O_3	5,3	Sort-mørkgrå, rødlig/ metalglans	6	Ingen	Cement i sedimentære bja. Metamorfe og magmatiske bja.	Omdannes langsomt til limonit, rust.
Magnetit Fe_3O_4	5,2	Sort/ metalglans	6	Ingen	Metamorfe og magmatiske bja.	Omdannes meget langsomt til limonit.
Goethit α-FeO(OH)	3,3-4,4	Brune nuancer/ oftest mat	5-5½	2 retninger vinkelret på hinanden	Sedimenter, jordbund.	Omdannelsesprodukt af jernholdige mineraler.
Pyrit FeS_2	5,0	Messinggul/metalglans	6-6½	Ingen	Næsten alle bjergarter	Oxideres let og danner jernsulfater og -oxider. Udvider sig ved oxidering og hydrering.
Markasit FeS_2	4,9	Messinggul/metalglans	6-6½	Ingen	Sedimentære bjergarter	Oxideres let og danner jernsulfater og -oxider. Udvider sig ved oxidering og hydrering.
Calcit $CaCO_3$	2,7	Oftest hvid/ glasglans	3	3 retninger, der ikke er vinkelrette	Marmor, kalksten og mange andre sedimentære bjergarter.	Alle carbonater er meget syreføl-somme.
Dolomit $CaMg(CaO_3)_2$	2,9	Oftest hvid/ glasglans	3½-4		Dolomit, marmor, sedimentære bjergarter	
Magnesit $MgCO_3$	3,0	Hvid/ glasglans	4		Serpentinit, skifre, kalksten	
Siderit $FeCO_3$	4,0	Brun/ glasglans	4		Ler, lerskifer	
Anhydrit $CaSO_4$	3,0	Farveløs/ glasglans	3½	3 retninger vinkelret på hinanden	Sedimenter	Anhydrit og gips kan rekrystallisere og give krystallisationsskader
Gips $CaSO_4*2H_2O$	2,3	Farveløs/ glasglans	2	3 retninger, hvoraf 2 er vinkelret på hinanden	Sedimenter	
Kvarts SiO_2	2,65	Farveløs, hvid/ glasglans	7	ingen	Sedimentære, magmatiske og metamorfe bjergarter	Meget vejrbestandigt.
Opal SiO_2*nH_2O	2,0-2,2	Hvid/ glasglans	5-6	ingen	Sedimentære bjergarter	

Mineral	Densitet	Farve/ glans	Hårdhed	Spaltelighed	Vigtigste forekomster	Kommentar
Kalifeldspat $KAlSi_3O_8$ - $NaAlSi_3O_8$	2,6	Hvidlige nuancer	6	2 retninger	Magmatiske og metamorfe bjergarter	
Plagioklas $NaAlSi_3O_8$ - $CaAl_2Si_2O_8$	2,6-2,8	Hvid til grå/ glasglans til perlemorsglans	6	2 retninger	Magmatiske og metamorfe bjergarter	
Muskovit $KAl_2AlSi_3(OH)_2$	2,8	Farveløs/ glasglans	2½	1 retning	Magmatiske, metamorfe og sedimentære bjergarter	Vejrbestandigt
Biotit $K(Mg,Fe)_3AlSi_3(OH,F)_2$	Ca. 2,8	Sort/ glasglans	2½-3	1 retning	Magmatiske og metamorfe bjergarter	Kan give rustmisfarvninger ved forvitring.
Montmorillonit $(Ca,Na)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2*nH_2O$	2,0-2,7	Hvid	2½	1 retning	Sedimetære bjergarter	Kvælder når det optager vand, kan forårsage tryk på op til 9000 psi
Kaolinit $Al_2Si_2O_5*4H_2O$	2,6	Hvid/ mat glans	2	1 retning	Sedimetære bjergarter	Bliver plastisk i forbindelse med vand
Hornblende[1] $Ca_2(Fe,Mg,Al)_5(Si,Al)_8O_{22}(OH)_2$	3,0-3,4	Sort/ glasglans	5½-6	2 retninger som ikke er vinkelret på hinanden	Metamorfe og magmatiske bjergarter	Er normalt meget vejrbestandigt. Delvist omdannede mineraler kan give rustpletter
Augit[2] $Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_7$	3,3	Sort/ glasglans	6	2 retninger som er næsten vinkelret på hinanden	Metamorfe og magmatiske bjergarter	
Olivin $(Fe,Mg)_2SiO_4$	3,3-4,4	Grøn til brun/ glasglans	6½-7	ingen	Gabbro, basalt, peridotit	Er syrefølsomt og omdannes forholdsvis let

[1]tilhører amfibolgruppen
[2]tilhører pyroxengruppen

1.1.2 Navngivning af natursten

Den standardiserede navngivning af bjergarter er baseret på den geologiske videnskab og er hermed helt entydig. Bjergartsnavngivningen udgør et meget effektivt grundlag til fysisk og kemisk at kategorisere det materiale, som et naturstensprodukt er lavet af. Dette svarer til, at man angiver træsorten på et træprodukt og ikke bare kategoriserer materialet som træ.

F.eks. er bjergartsnavnet granit karakteriseret ved en helt bestemt mineralogisk sammensætning. Fig. 1.2 viser et såkaldt "Streikeisen-diagram" som på baggrund af den mineralogiske sammensætning klassificerer en række bjergarter. Det fremgår af diagrammet, at en granit primært klassificeres ud fra kvartsindholdet, som skal være mellem 20-60 %.

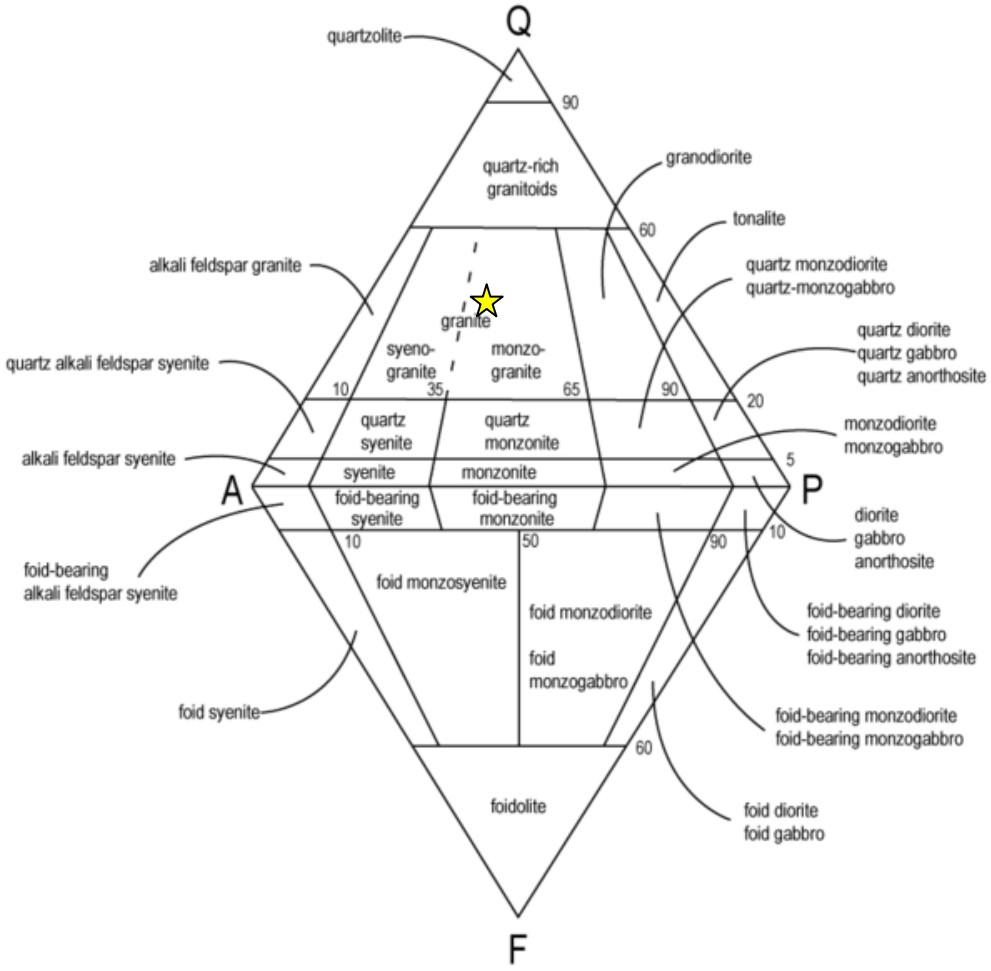


Fig. 1.2: Eksempel på diagram (Streikeisen-diagram) til brug for klassifikation af grovkornede magmatiske bjergarter (dybbjergarter). Diagrammet inddeler bjergarterne efter deres indhold af mineralerne kvarts (Q), plagioklas (P), alkali-feldspat (A) og feldspatoider (F). Granitfeltet er f.eks. vist med en stjerne.

Selvom en sten således entydigt kan navngives i henhold til dens bjergart, sælges natursten i dag under mange forskellige mere eller mindre uautoriserede handelsnavne. Handelsnavnet giver ingen oplysninger om hvilke egenskaber, der kan forventes af naturstenen, eller hvilken type sten, der er tale om. Handelsnavnet stammer typisk fra stenens oprindelsessted eller er relateret til dens udseende. Der florerer ligeledes en meget uheldig brug af såkaldte kommercielle termer, der skal betegne forskellige typer af sten. De kommercielle navne er mange gange vildledende og i direkte modstrid med den geologiske bjergartsbetegnelse (det petrografiske navn).

"Chinese Black Pearl" er et eksempel på et handelsnavn, som henviser til naturstenens oprindelsessted og dens udseende. Selvom stenen består af bjergarten olivin-gabbro, markedsføres den visse steder under det kommercielle navn "granit", hvilket i materialemæssig (og geolo-

gisk) forstand er direkte vildledende. Problemet ved at kalde stenen for en granit er, at "granit" er det petrografiske navn (eller den geologiske betegnelse) for en helt anden bjergart, som adskiller sig ved at have en helt anden farve og mineralogisk sammensætning. Granitten har hermed helt bestemte byggemæssige og vedligeholdsmæssige egenskaber, som på en del områder ikke svarer til en olivin-gabbro. Et petrografisk navn er kun dækkende for en bestemt bjergart (eller stentype). Det er typisk kun erfarne fagfolk (og geologer), der er i stand til at bestemme stenens rette petrografiske navn. Nogle gange kan dette gøres blot ved at studere bjergarten med det blotte øje, men ofte kræver det, at der udføres en såkaldt petrografisk analyse, der i detaljer beskriver stenens bestanddele og struktur. Et eksempel på en petrografisk analyse findes sidst i denne anvisning.

Alle natursten bør navngives entydigt ved deres bjergartsnavn (petrografisk navn), og brugen af såkaldte kommercielle termer bør helt undgås. Ifølge CE-mærkningens krav for naturstensprodukter skal følgende navne angives.

- Handelsnavn (for europæiske bjergarter i henhold til DS/EN 12440 [3]).
- Petrografisk navn i henhold til DS/EN 12670 [4] og DS/EN 12440.

1.1.3 Klassifikation af bjergarter

I geologisk sammenhæng har hver bjergart sin typiske geologiske dannelseshistorie, som ligger til grund for en overordnet klassifikation (Fig. 1.3). Helt grundlæggende kan en bjergart enten have en magmatisk, sedimentær eller metamorf oprindelse.

Magmatiske bjergarter er alle dannet fra en smeltet stenmasse, et såkaldt magma, som stammer fra jordens indre. Når et sådan magma køler af, vil det størkne til en fast stenmasse, og afhængigt af om afkølingen foregår langsomt eller hurtigt, vil bjergarten få forskellige karaktertræk. Dette ligger til grund for at inddele magmabjergarter i to undergrupper: Dybbjergarterne (også kaldet intrusive eller plutoniske bjergarter) og dagbjergarterne (også kaldet ekstrusive eller vulkanske bjergarter). Dybbjergarterne er dannet ved langsom størkning af magma et stykke nede i jordskorpen, mens dagbjergarterne er dannet ved hurtigt størkning af magma på jordens overflade – typisk ved vulkanudbrud. Jo hurtigere afkølingen af magmaet er sket, jo finere kornstørrelse har bjergarten. Derfor er dybbjergarter grovkornede med store tydelige krystaller (over 5 mm store), og dagbjergarterne er finkornede (under 1 mm) – ofte med en meget finkornet ensartet grundmasse og kun enkelte større strøkorn. Gangbjergarter er en mellemkornet (1-5 mm) overgangsform mellem dyb- og dagbjergarter.

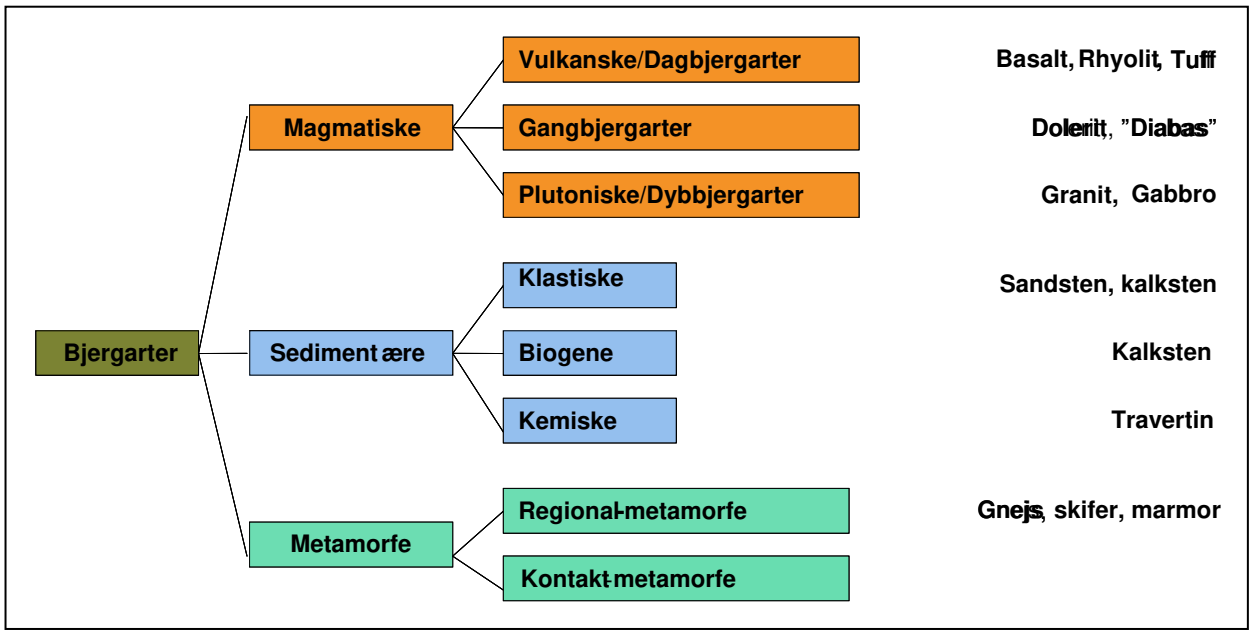


Fig. 1.3 Diagram over de forskellige hovedtyper af bjergarter. Eksempler på nogle af de mest almindelige bjergarter er angivet til højre.

Sedimentære bjergarter er dannet ved, at bjergartsfragmenter, organisk materiale eller kemiske udfældninger er aflejret på jordens overflade. Klastiske bjergarter er dannet ved at løse bjergartsfragmenter (f.eks. sand, ler, grus eller kalk) er transporteret og aflejret af de floder, have eller vinde, som på dannelsestidspunktet var fremherskende på jordens overflade. Efter aflejring er fragmenterne (sedimenterne) kittet sammen af et bindemiddel (cement), som typisk består af kisel eller kalk. Biogene sedimentbjergarter består af korn af kalkskaller fra døde organismer, som på samme vis er aflejret og cementeret til en sammenhængende stenmasse. Kemiske sedimenter består af materiale udfældet fra en vandig opløsning (i have eller søer).

Metamorfe bjergarter dannes gennem en transformation (metamorfose) af andre bjergarter. Denne transformation er forårsaget af ændringer i tryk og temperaturforhold, hvor udgangsbjergartens mineraler og struktur helt eller delvist ændres og danner en ny bjergart. Den enkelte metamorfe bjergarts karakteristika er derfor meget afhængig af udgangsbjergarten og af de tryk og temperaturforhold, den har været udsat for. Metamorfe bjergarter findes typisk, hvor jordens overflade har været udsat for en større deformation såsom bjergkædefoldning.

1.1.4 De mest almindelige bjergarter

Der findes mange overgangstyper mellem nogle af hoved- og undergrupperne nævnt herover. F.eks. kan en kalksten delvist bestå af klastisk aflejrede fragmenter af kalkskaller fra et koralrev (klastisk/biogent sediment) og delvist bestå af kemisk udfældet kalk (kemisk sediment). En sådan bjergart kan ikke kategoriseres som værende hverken entydigt klastisk, biogen eller kemisk.

Den præcise geologiske navngivning af bjergarter er meget detaljeret, idet der skelnes mellem små variationer i indholdet af mineraler, strukturer, kornstørrelser og -typer, omdannelsesgrad

etc. Disse små forskelle er mange gange ikke synlige for det blotte øje, og i daglig tale er det ofte besværligt at benævne stenene ved deres helt præcise navn. Ud fra en betragtning om at det er vigtigt at benævne bjergarterne med geologisk relevante navne, men at de anvendte navne også skal være praktisk anvendelige, er der i Tabel 1.2 udarbejdet en liste over mere generelle bjergartsnavne eller benævnelser på familier af bjergarter. Vi anbefaler, at der som minimum skelnes mellem disse bjergarter/familier. Dog skal det understreges, at disse benævnelser ikke kan erstatte en indgående beskrivelse af stenens karakteristika i forbindelse med en evaluering af stenen og dens egenskaber.

Tabel 1.2: Liste over af de mest almindelige bjergarter.

Magmatiske bjergarter			
Grovkornede kvartsholdige magmatiske bjergarter	**Grovkornede kvartsfattige magmatiske bjergarter**	**Finkornede kvartsholdige magmatiske bjergarter**	**Finkornede kvartsfattige magmatiske bjergarter**
Granit	Gabbro	Rhyolit	Basalt
Kvarts-monzonit	Olivin-Gabbro	Dacit	Olivin-basalt
Granodiorit	Diorit	Tuff	Dolerit
Monzonit	Anorthosit		Andesit
Syenit			
Kvartsyenit			

Sedimentære og metamorfe bjergarter			
Sedimentære bjergarter		**Metamorfe bjergarter**	
Sandsten	**Kalksten**		
Kvarts arenit	Travertin	Skifer (slate)	Gnejs
Arkosisk sandsten	Sandet kalksten	Glimmerskifer (schist)	(Granitisk gnejs)
Kalksandsten		Kvartsit	Amfibolit
Kvartssandsten	Kalkbreccia	Marmor	Serpentinit
Siltsten		Dolomitisk marmor	Greenschist
Lersten	Kalkstensmarmor		

Granit er en grovkornet magmatisk bjergart med et højt indhold af kvarts (Fig. 1.4). Denne type af dybbjergarter består generelt af en ensartet masse af relativt grovkornede krystaller. Bjergarterne er som regel lyse grålige, hvidlige, eller lyserøde i farven, men mørkere grå, brunlige, grønlige, rødlige, blålige og orange farvevarianter kan også forekomme. Mineralogisk består bjergarterne af kvarts (20-60 %), alkalifeldspat og plagioklas, glimmermineraler og eventuelt malmmineraler. Det er specielt den grovkornede, ensartede struktur og høje indhold af kvarts, feldspat og glimmer, som granitter skal genkendes på (Fig. 1.4).

Granit er kendt som en meget vejrbestandig og stærk bjergart, som kan benyttes til næsten alle formål. I Danmark har specielt de nordiske granittyper vist sig at være et af de mest holdbare byggematerialer, og de er da også i høj grad blevet anvendt til mange af vores udendørs konstruktioner (specielt til belægninger). I dag er markedet præget af mange lyse østasiatiske granitter, som styrkemæssigt og holdbarhedsmæssigt ikke er helt på niveau med de nordiske.

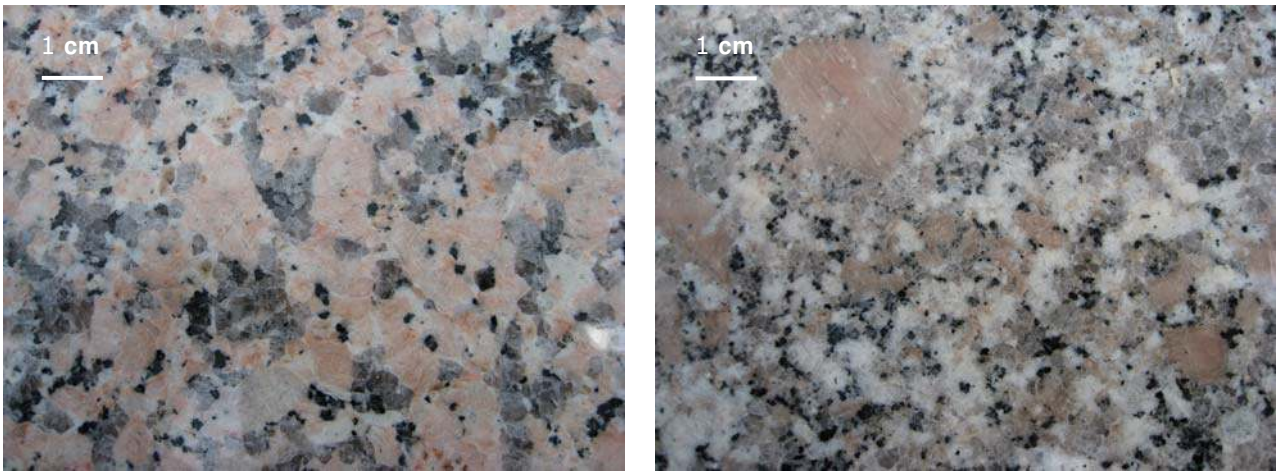


Fig. 1.4: Eksempler på 2 forskellige granitter: Til venstre ses en grovkornet granit med højt indhold af den rødlige kalifeldspat. Til højre ses en mellemkornet porfyrisk granit (større strøkorn i en finere grundmasse), som er domineret af den hvide plagioklas.

Gabbro er en grovkornet magmatisk bjergart uden eller med meget lidt kvarts (Fig. 1.5). Gabbro er, ligesom en granit, en dybbjergart og er således også kendetegnet ved at bestå af en nogenlunde ensartet masse af relativt grove krystaller. Gabbro er derimod en del mørkere og er typisk grå, mørkegrå eller næsten sort i farven. Mineralogisk består gabbro af varierende mængder plagioklas, pyroxen, amfibol, olivin og ingen eller mindre mængder af kvarts, alkalifeldspat, glimmermineraler og malmmineraler (Fig. 1.5). Det er indholdet og mængden af de sorte mineraler pyroxen, amfibol og olivin som afgør, at en gabbro fremstår mørk.

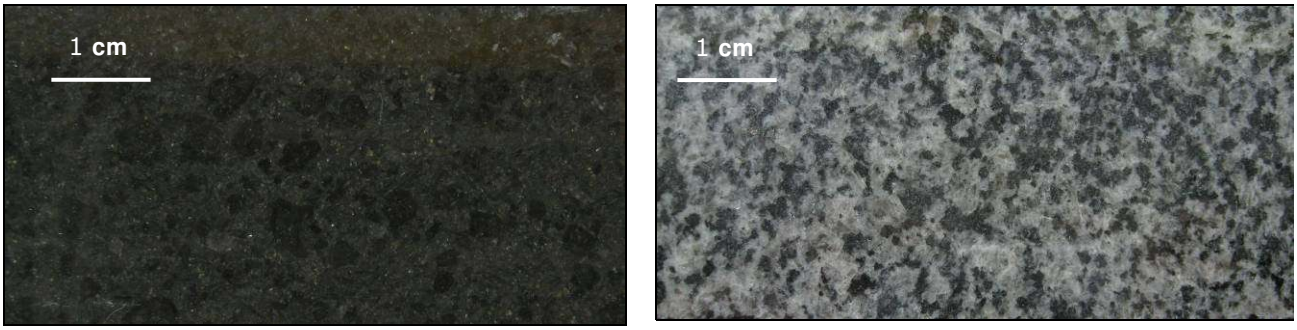


Fig. 1.5: Forskel på en mørk gabbro (til venstre) og en grå granit (til højre). Gabbro er kendetegnet ved at være mørk og indeholdende meget lidt kvarts. Granit kan have flere farver (rødlig til grålig), men altid indeholdende 20-60 % kvarts.

Gabbro besidder som granit mange gode byggemæssige egenskaber (høj styrke, hårdhed og holdbarhed) og anvendes også til mange forskellige formål. Bjergarten er dog ikke helt så udbredt i byggeriet, formentligt fordi der ikke findes så store forekomster af gabbro omkring Danmark. I dag er gabbro hovedsageligt importeret fra ikke-europæiske egne.

Basalt (basanit) hører til gruppen af magmatiske dagbjergarter, som ikke indeholder kvarts. Basaltens typiske kendetegn er en mørk farve (Fig. 1.6), en finkornet grundmasse, og de har ofte en porfyrisk struktur, hvor der i den fine grundmasse ses en del større mineralkorn. Bjergarterne kan være så finkornede, at de har en grundmasse, der næsten er glasagtig, og krystallerne heri kan ikke skelnes fra hinanden, end ikke i mikroskop. Mineralogisk består de af de samme komponenter som en gabbro, og de adskiller sig rent faktisk udelukkende ved afkølingsprocessen, hvor magma størkner til sten.

Basalt er en af de bjergarter, som besidder den højeste styrke. Den meget fine kornstørrelse kombineret med en meget kompakt struktur resulterer i rigtigt gode styrkemæssige egenskaber. Udover den fine kornstørrelse og høje styrke betragtes basalt typisk på niveau med gabbro og indgår typisk i de samme anvendelser.

Rhyolit og andre kvartsholdige magmatiske dagbjergarter er lyse i farven, finkornede og har ofte en mere eller mindre udpræget porfyrisk tekstur (Fig. 1.6). Bjergarterne er typisk lysegrå, lyserøde eller i sandfarvede toner og er som basalten meget finkornede. Mineralogisk/kemisk består de af de samme komponenter som kvartsholdige dybbjergarter såsom granit.

En særlig dagbjergart, som må nævnes, er den pyroklastiske bjergart kendt under den kommercielle betegnelse **tuff**. Termen er ikke et fyldestgørende petrografisk navn, men anvendes om: "En pyroklastisk bjergart bestående af sammenkittede vulkanske partikler med diameter mindre end 64 mm" (DS/EN 12670 [4]). Pyroklastiske bjergarter kan have en række specielle farver og strukturer, som gør dem interessante at bruge som natursten.

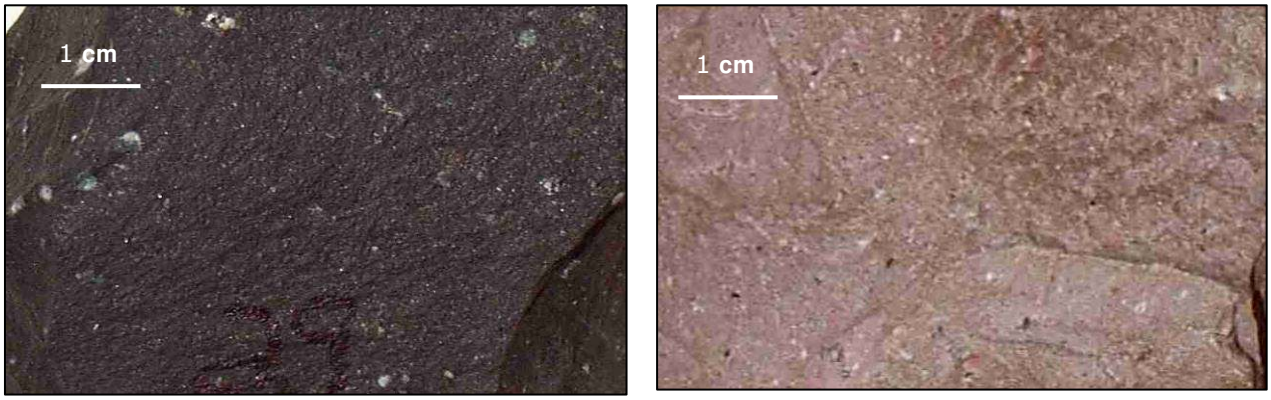


Fig. 1.6: Eksempler på to finkornede dagbjergarter. Til venstre ses en mørk kvartsfattig basalt, og til højre ses en lys kvartsrig rhyolit.

En pyroklastisk bjergart dannes ved meget voldsomme vulkanudbrud, hvor det sejtflydende magma slynges op i luften, lynafkøles, splintres og falder til jorden som en regn af bittesmå størknede magmapartikler (aske). Partiklerne er stadig varme, når de rammer jorden, hvorfor

de kan kitte sig helt eller delvist sammen igen og danne en sammenhængende bjergart, som altså kaldes en "tuff".

Sandsten er en sedimentær bjergart, der dannes ved, at andre bjergarter (magmatiske, metamorfe eller sedimentære) nedbrydes. Det resulterende løse materiale aflejres (sedimenterer) i vand eller på land og sammenkittes med tiden til en bjergart. Sandsten består af mere eller mindre afrundede sandkorn kittet sammen af et bindemiddel, som f.eks. består af kalcit (kalkbunden sandsten) eller silica (kisebunden sandsten).

Sandstenens sammensætning afhænger bl.a. af det omkringliggende geologiske miljø og aflejringstid, men består typisk af kvarts med større eller mindre mængder af feldspat, glimmer og forskellige bjergartsfragmenter. Sandstenene forefindes i grålige, beige, rødlige, gullige eller grønlige farver og har en kornstørrelse mellem 0,06 mm og 2 mm. Er kornstørrelsen generelt finere end det, kaldes bjergarten for en siltsten.

Sandsten kan variere betydeligt med hensyn til sammensætning, porøsitet, homogenitet og de kan, alt afhængigt af dannelsesmiljø, indeholde et væld af strukturer, som f.eks. sildebenslignende krydslejringer, udtørringsrevner fyldt med sammenkittet ler, lagdeling og fossiler. I landende omkring Danmark findes en del sandstensforekomster, der gennem historien er benyttet som mursten i større danske byggerier (f.eks. Kronborg og Christiansborg). Sandsten er i mindre grad benyttet som belægningssten og facadebeklædning.

Kalksten er en fælles betegnelse for sedimentære klastiske, biogene og kemiske bjergarter, som alle består af karbonatmineraler. Mineralet kalcit er det hyppigst forekommende mineral af karbonaterne, men nogle kalksten har også et betydeligt indhold af mineralet dolomit, som i mange henseender ligner kalcit, men adskiller sig ved at have en anden kemisk sammensætning.

I sedimentære miljøer dannes kalcit enten i forbindelse med biologisk liv (skalfragmenter, skeletter og lignende) eller ved kemisk udfældning. Kalksten forekommer i et væld af farver fra lyse hvidlige, til sandfarvede eller gullige, men kan også forekomme i grålige, rødlige, brunlige, grønlige eller endog næsten sorte farver afhængigt af indhold af organisk materiale og andre mineraler end kalcit.

Klastiske og biogene kalksten er dannet ved aflejring af lag på lag af biologisk materiale, f.eks. fragmenter af kalkskaller fra muslinger og koraller eller skaller fra døde mikroorganismer i havet. Kemisk udfældede kalksten er dannet ved, at kalcit er blevet opløst i vand ét sted og genudfældet et andet.

Kalksten er en blød og letbearbejdelig stentype og er af den grund ofte anvendt som bygningsmateriale. En af de hyppigst anvendte kalksten i Danmark er den svenske ølandskalksten, som ofte anvendes på gulve og trapper. I dag anvendes kalksten i stor udstrækning også som facadebeklædning.

Marmor er en metamorf bjergart, der hovedsageligt består af kalcit og/eller dolomit. Marmor kan være alt fra meget finkornet til relativt grovkornet og kan have mange forskellige farver. De kan være ensartede og strukturløse, men har lige så ofte en struktur, som giver dem et individuelt præg (Fig. 1.7).

Marmor er dannet ved metamorfose ved middelhøje til høje tryk- og temperaturforhold af kalcit-rige (eller dolomit-rige) sedimentære bjergarter.

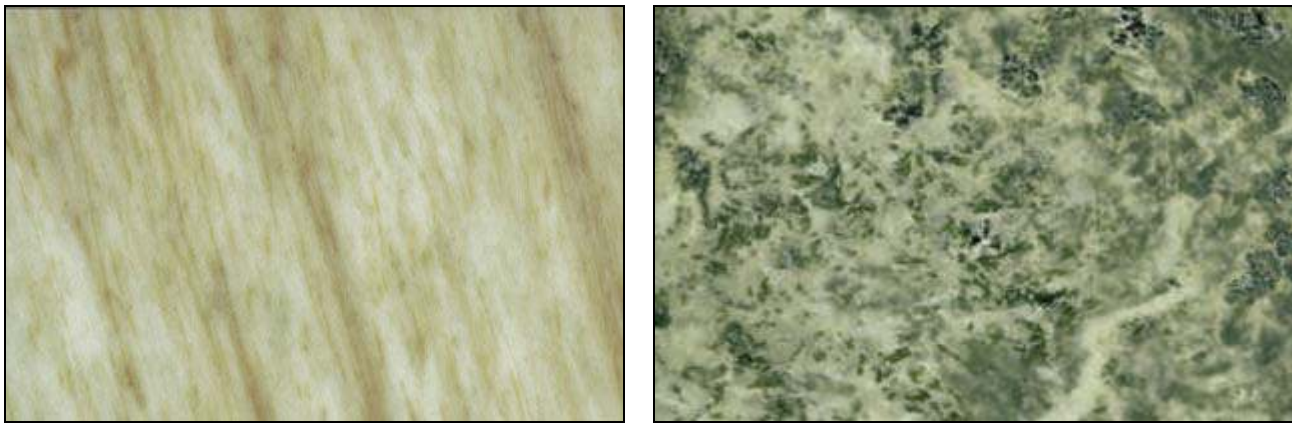


Fig. 1.7: Eksempler på to forskelligartede marmortyper

Marmor kan godt indeholde spor af fossiler og befinder sig i så fald i en overgangszone mellem kalksten og marmor. Det er her vigtigt at huske, at metamorfose sker gradvist, hvorfor der som regel er glidende overgange mellem udgangsmateriale og den endelige metamorfe bjergart. Det anbefales, at sådanne bjergarter klassificeres og tildeles petrografisk navn i henhold til DS/EN 12670 afsnit 3.2 [4], og at deres egenskaber herefter vurderes individuelt

Skifer er en meget finkornet bjergart, der er dannet ved en lav grad af metamorfose af lersten. Skiferen kan være delvist til fuldstændigt metamorfoseret, hvilket i begge tilfælde resulterer i en helt karakteristisk spaltelighed (skifrighed), der skyldes, at ler- og glimmermineralerne orienteres parallelt. En skifer kan være alt fra sort over grønlig, brunlig og grålig til nærmest sølvhvid.

Der skelnes mellem: skifer (engelsk ”slate”) og glimmerskifer (engelsk ”schist”), som alle har finkornede sedimentære udgangsbjergarter. Forskellen på en skifer, som typisk er mat sort, og en glimmerskifer ligger, som ordet antyder, i et højere indhold af glimmermineraler i sidstnævnte, men overgangen mellem de to bjergarter er glidende. Det høje indhold af glimmer giver glimmerskiferen en flot changerende glans. Glimmerskifer kan være af så højmetamorf en karakter, at mineralet granat er dannet deri.

I byggemæssig forstand hersker der en vis forvirring med hensyn til klassificering af skifre. Facadeplader, der består af en skifer, hører ind under en produktstandard (DS/EN 12326 [5]), der er udarbejdet specielt for skiferplader, der benyttes som facadebeklædning eller til tagdækning. Alle andre facadeplader i natursten er omfattet af produktstandarden DS/EN 1469 [6]. Da de to forskellige skifre skal testes i henhold til to forskellige produktstandarder, er det vigtigt, at klas-

sificeringen foregår korrekt. Nedenstående skema (Fig. 1.8) giver en oversigt over dannelsesforløbet af skifre afhængigt af udgangsmaterialets beskaffenhed og grad af omdannelse.

Geologisk Proces		**Temperatur (°C)**	**Dybde (km)**	**Stentype**	
Overflade-proces Diagenese	Afsætning	20	0	LER	SAND
	Diagenese	Op til 200	10	Lersten	Sandsten
Metamorfose	Meget lille grad	Op til 400		Lerskifer (slate)	Skifrig sandsten ("Flagstone")
	Lille grad	Op til 550		Fyllit (phyllite)	Kvartsskifer ("schistose quartzite")
	Middel grad	Op til 600		Glimmerskifer (mica-schist)	
	Høj grad	Op til 650		Gneis	Gneis
Delvis smeltning	Anatexe		35-40	Migmatite	Migmatite
Magmatiskeprocesser	Smeltning - magmadannelse				

DS/EN 12326-1

DS/EN 1469

Fig. 1.8: Diagram over klassifikation af lerholdige sten og skifer i relation til grad af metamorfose.

Skifer har i tidernes løb primært været brugt til tagdækning, specielt i skiferproducerende lande såsom Norge og Storbritannien. I ældre tid blev der også i Danmark anvendt skifre importeret fra disse lande, men i dag er produktionsomkostningerne så høje ved skifertage, at der ofte anvendes billigere alternativer såsom eternit. Sorte naturskifre benyttes dog stadig til både facadebeklædning, tagdækning, gulve eller udendørs belægninger. Desuden benyttes også en del billige skifre, som importeres i brun-rødlige udgaver fra Sydeuropa og Asien.

Gnejs er en betegnelse for en række metamorfe bjergarter dannet ved høje tryk- og temperaturforhold af enten sedimentære (paragnejs) eller magmatiske (orthognejs) bjergarter. Fællestrækket for bjergarterne er, at de er mellem- til grovkornede, krystallinske, har en båndet/flammet struktur og er sammensat af feldspat, kvarts, glimmermineraler, små mængder amfibol og/eller pyroxen samt malmmineraler (Fig. 1.9).

Bjergarternes farve, struktur og forekomst afhænger i høj grad af udgangsbjergartens, hvorfor det er svært at sige noget generelt om disse egenskaber. Normalt er forekomsterne dog relativt store, og de er homogene i stor skala, mens der i mindre skala forekommer nogen variation i udseende (struktur) og brugsegenskaber. Visse strukturer kan være nedarvet fra udgangsbjergarten – f.eks. udfyldte sprækker i en granit eller den oprindelige sedimentære lagdeling i en sandsten.

Gnejs, som er dannet ved metamorfose af granit, tildeles det petrografiske navn granitisk gnejs, men kaldes ofte bare "granit". Sidstnævnte bør undgås, da bjergarterne har en helt anden struktur, og dermed afviger gnejsens egenskaber også fra granit.

Fig. 1.9: Gnejs med båndet struktur. I dette tilfælde består gnejsen af kvarts, feldspat og diverse mørke mineraler.

Serpentinit er en metamorf bjergart, der primært består af mineralet serpentin. Bjergarten er typisk forholdsvis blød og finkornet og kan have en fiberagtig tekstur, som i visse tilfælde kan betyde, at bjergarten indeholder asbestfibre.

De serpentinit-bjergarter, som oftest anvendes i byggeriet, har mørke grålige eller grønlige farver og indeholder karakteristiske hvide årer bestående af mineralerne kalcit eller magnesit.

Disse grønne, årede bjergarter kaldes typisk for "grøn marmor", hvilket bør undgås, da den på grund af dens mineralogiske sammensætning har helt anderledes egenskaber end marmor. F.eks. betyder det manglende eller eventuelt lave indhold af kalcit, at en serpentinit ikke er syrefølsom i samme grad som marmor.

2. Naturstens egenskaber

Natursten har en række egenskaber og karakteristika, som bl.a. har betydning for stenens dimensionering, æstetiske fremtræden, mekaniske funktion og ældning. Det er derfor vigtigt, at kende alle de byggemæsigt relevante egenskaber ved en sten, før den tages i brug, så man sikrer sig, at stenens egenskaber kan opfylde de krav, der stilles til den. Herunder følger en beskrivelse af de forskellige egenskaber.

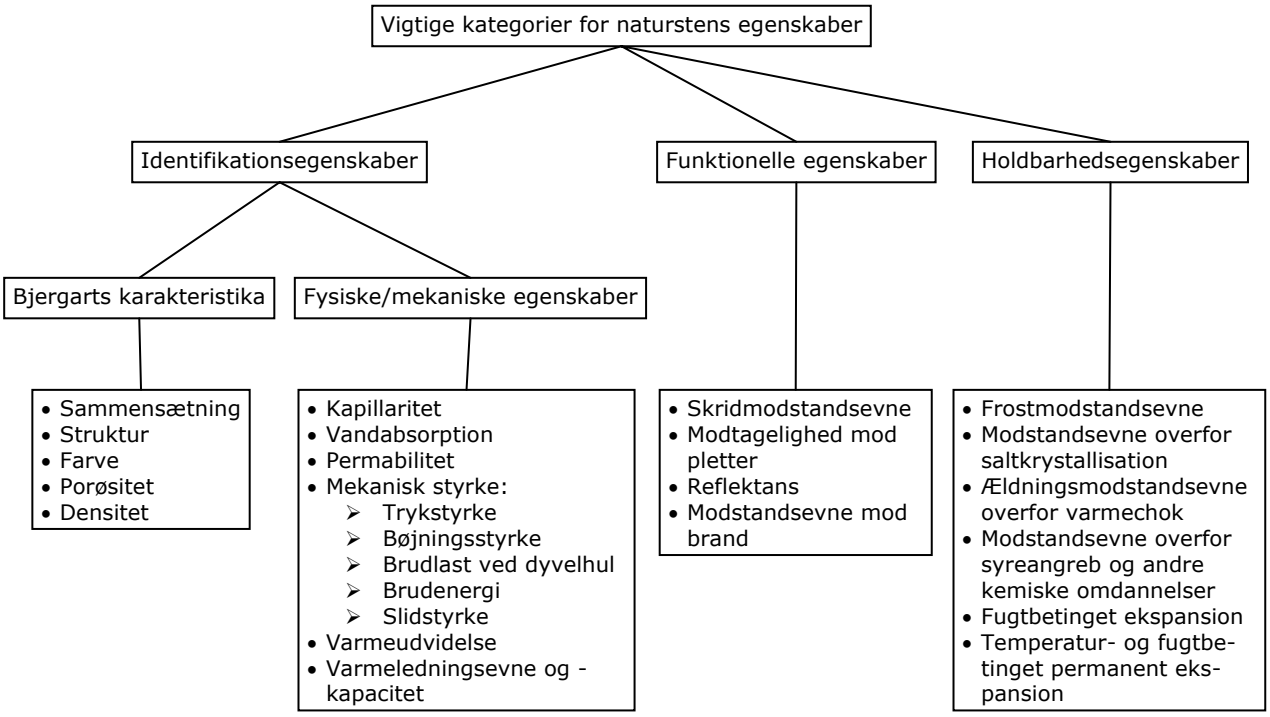


Fig. 2.1: Opdeling af byggemæssigt relevante egenskaber for natursten

Der findes tre hovedkategorier af egenskaber, som er vist i diagrammet på Fig. 2.1. Identifikationsegenskaber omfatter alle de egenskaber, der karakteriserer stenen som råmateriale, mens de funktionelle egenskaber beskriver, hvorledes det færdige naturstensprodukt opfører sig i den bestemte anvendelsessituation. Holdbarhedsegenskaberne relaterer til stenens modstandsdygtighed overfor forskellige påvirkninger.

2.1 Bjergarters karakteristika

En sten er karakteriseret ved dens mineralsammensætning, indre struktur og dens porøsitet og revner. De forskellige bjergarter er geologisk set defineret ved disse forskellige parametre, men derudover bidrager hver af disse parametre også til stenens fysiske og kemiske egenskaber. En petrografisk analyse, som beskriver alle stenens karakteristika, giver derfor også et godt fingerpeg omkring mange af stenens øvrige egenskaber.

Et af de mest iøjnefaldende karaktertræk ved en natursten er dens **farve**. Farven er helt afhængig af dens specifikke mineralogiske sammensætning, som er fremherskende i bjergarten. En granit er for eksempel rødlig, hvis den dominerende feldspat er en alkalifeldspat, og hvidlig, hvis den dominerede feldspat er en plagioklas.

Bjergartens petrografiske karakteristika bestemmes ved DS/EN 12407: Prøvning af natursten – Petrografisk undersøgelse. [7]

Porøsitet og densitet er to fysisk målbare egenskaber. Porøsitet beskriver bjergartens procentvise indhold af hulrum og densitet beskriver bjergartens vægt pr. volumenenhed. Densitet angives normalt som g/cm^3 eller kg/m^3, mens porøsitet angives som volumen-%. Hvad angår porøsitet skelnes der mellem åben porøsitet, hvor vand kan trænge ind, og den totale porøsitet, som også inkluderer den del af porerummet, der ikke er tilgængelig for vandindtrængning.

Bjergartens densitet har en direkte betydning for dimensionering af naturstenselementer, hvor vægten af elementerne har afgørende betydning – f.eks. ved facadebeklædning. Porøsiteten har en betydning for de fleste af stenens fysiske, funktionelle og holdbarhedsmæssige egenskaber. Ofte er en høj porøsitet forbundet med, at mange af de byggemæssigt vigtige egenskaber er relativt dårligere.

Densitet og porøsitet bestemmes i henhold til DS/EN 1936: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af reel vægtfylde og tilsyneladende vægtfylde samt total og åben porøsitet. [8]

2.2 Fysisk-mekaniske egenskaber

En bjergarts **kapillaritet** kan betragtes som den del af bjergartens porøsitet, der er i stand til at suge vand/væsker til sig og fastholde væsken imod tyngdekraftens virkning. Der er altså tale om en slags mikroporøsitet, hvor hulrummene er meget små (kaldes også kapillarporer) og i nogen grad forbundne. Kapillaritet kaldes også "**kapillar sugeevne**" og måles på kubeformede eller cylinderformede prøveemner, der placeres med den ene flade dyppet ned i vand. Kapillariteten udtrykkes ved den hastighed prøveemnet absorberer vandet, dvs. ved en såkaldt kapillaritetskonstant ($g/m^2s^{0,5}$).

Stor kapillar sugeevne findes ikke kun i tydeligt porøse bjergarter. F.eks. kan en granit (som har en lav porøsitet) godt have en vis kapillar sugeevne, som skyldes, at der findes mikrorevner langs korngrænser og/eller i mineralkornene, hvori vandet kan suges op i.

Kapillaritet har stor betydning for bjergartens funktionelle egenskaber både i relation til holdbarhed og til drift og vedligehold. En høj kapillar sugeevne betyder, at der typisk er en relativt større risiko for, at der kan dannes skader som følge af frost og tøsaltning. Derudover vil stenens evne til at suge misfarvende væsker til sig også gøre den mere modtagelig overfor snavs.

Kapillar sugeevne bestemmes i henhold til DS/EN 1925: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af vandabsorptionskoefficient ved kapillaritet. [9]

Permeabilitet er bjergartens gennemtrængelighed for væske og/eller luft. Permeabilitet er målbar og afhænger af mængden af mikro-/makroskopiske forbundne hulrum og revner. Jo flere og jo større forbundne hulrum og revner (større permeabilitet), desto større massetransport er der mulighed for gennem bjergarten.

Der findes p.t. ikke en standardiseret metode til bestemmelse af naturstens permeabilitet.

Bjergartens vandabsorption er den mængde vand, som kan optages i stenens åbne porøsitet ved en atmosfæres tryk. Absorptionen bestemmes i vægtprocent som forholdet mellem den mængde vand, stenen kan indeholde i vandmættet tilstand, og stenens tørvægt.

Typisk vil bjergarter med høj porøsitet også have en højere vandabsorption, men der kan være undtagelser. F.eks. kan en travertin, som har en struktur med store hulrum, godt have en rimelig høj porøsitet, men en lav vandabsorption. Det skyldes, at en del af porøsiteten i stenen ikke er åben for vandindtrængning, eller at hulrummene er for store til at holde på vandet. Omvendt kan bjergarter med meget lav porøsitet ikke have en høj vandabsorption.

Forholdet mellem vandabsorptionen og porøsiteten benævnes vandmætningsgraden:

$$Vandmætningsgrad = \frac{vandabsorption}{porøsitet}$$

Denne værdi benyttes ofte til indledende at vurdere, hvor bestandig en sten er overfor forvitring.

Vandabsorption bestemmes i henhold til DS/EN 13755: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af vandabsorption ved atmosfærisk tryk. [10]

Metodebeskrivelse for bestemmelse af den kritiske vandmætningsgrad er angivet i DIN 52008, Anhang A. [11]

Naturstens **styrke** kan defineres ud fra bjergartens præstation ved forskellige mekaniske påvirkninger og omfatter bl.a. trykstyrke, bøjningsstyrke, trækstyrke, dornkantsstyrke, brudenergi og slidmodstandsevne. Alle de nævnte styrkeegenskaber kan bestemmes ved test, og de resulterende værdier anvendes til at beregne, om bjergarten kan holde til de spidsbelastninger, den kan blive udsat for i en brugssituation.

Det bør også bemærkes, at de fleste stenmaterialer har mærkbart lavere styrkemæssige egenskaber, når de er vandmættede, hvorfor det i nogle situationer kan være nødvendigt at teste dem i denne tilstand. De nuværende prøvningsmetoder kræver alle, at prøveemnerne er tørre ved prøvning, hvilket i en del situationer ikke svarer til den brugssituation, de skal befinde sig i.

Man skal også være opmærksom på, at nogle bjergarter har en orientering af deres korn (f.eks. lagdeling). Styrken parallelt med en sådan bjergarts lagdeling kan være væsentlig lavere end styrken vinkelret på lagdelingen. Dette er der dog taget højde for i beskrivelserne af de eksisterende prøvningsmetoder. I Tabel 2.1 er der givet eksempler på typiske værdier for stens forskellige styrkemæssige egenskaber.

Trykstyrke er udtryk for, hvor stor belastning en bjergart kan tåle kompressivt – dvs., hvor stor last pr. arealenhed den kan bære, før den revner. Egenskaben er vigtig at kende, når

bjergarten skal benyttes som bærende bygningselement eller som brosten og chaussesten, der udsættes for store belastninger. Egenskaben udtrykkes i megapascal (MPa).

Trykstyrke bestemmes i henhold til DS/EN 1926: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af trykstyrke. [12]

Bøjningsstyrke angiver, hvor stor en belastning der skal til, for at en flise eller et prisme knækker. Egenskaben er vigtig for næsten alle anvendelser og skal altid bestemmes, når naturstensplader eller -fliser benyttes til facadebeklædning, gulve, vægge, belægninger, trapper eller tagbeklædning. Bøjningsstyrken (eventuelt kombineret med brudstyrke ved dyvelhul) af en bjergart danner grundlag for dimensionering af flisers/pladers længde, bredde og tykkelse.

Bøjningsstyrke bestemmes i henhold til DS/EN 12372: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af bøjningsstyrke ved punktbelastning. [13]

Alternativt kan bøjningsstyrken bestemmes i henhold til DS/EN 13161: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af bøjningsstyrke under konstant moment. [14]

Brudlast ved dyvelhul karakteriserer den kraft, der skal til for at rive en dyvel ud af dens dyvelhul i en stenflise/plade. Egenskaben bør altid bestemmes sammen med bøjningsstyrken og benyttes til at dimensionere størrelsen af plader/paneler anvendt til facadebeklædning samt til at støtte valget af forankringsdesign.

Brudlast ved dyvelhul bestemmes i henhold til DS/EN 13364: Prøvning af natursten - Bestemmelse af brudlast ved dyvelhul. [15]

Brudenergien er et mål for den energi, et anslag skal have for at slå en flise i stykker. Den måles ved at lade en stålkugle falde ned på en flise fra forskellig højde og observere, hvilken højde der skal til, for at flisen går i stykker. Det er en vigtig egenskab for natursten, der anvendes til både indendørs og udendørs belægninger, hvor der er risiko for anslag, f.eks. fra hårde hjul eller tabte genstande.

Brudenergien bestemmes i henhold til DS/EN 14158: Prøvning af natursten - Bestemmelse af brudenergi. [16]

Slidmodstandsevne er en relevant egenskab for natursten, når denne anvendes til gulve, trapper og belægninger, hvor den skal modstå slid fra f.eks. kørende trafik eller fodgængere. Slidstyrken måles ved at slibe på en naturstensflade under helt bestemte standardiserede forhold, hvorefter der måles, hvor meget materiale der er slebet af stenfladen.

Egenskaben er nyttig at kende i forbindelse med alt fra store offentlige til små private anlægsarbejder, da den kan give et fingerpeg om, hvorvidt en bjergart slides/ændrer udseende hurtigt eller langsomt. Bjergarter med dårlig slidmodstandsevne vil i nogle tilfælde have svært ved at bibeholde deres overfladebearbejdning, hvilket f.eks. kan medføre, at polerede bjergarter hurtigt bliver matte, eller at en ru overflade bliver glat (og dermed får lav skridsikkerhed).

Slidmodstandsevne bestemmes i henhold til DS/EN 14157: Natursten - Bestemmelse af slidmodstandsevne. [17]

Tabel 2.1: Typiske værdier for udvalgte naturstentypers egenskaber

	Vandabsorption Vægt %	Densitet kg/ m³ (tør)	Trykstyrke MPa (tør)	Bøjningsstyrke MPa (tør)	Termisk udvidelse 10^{-6}/ °C	Slidmodstand Cm^3/ 50 cm^2
Granit	0,1 – 3,0	2.500 – 2.800	80 - 310	8 - 18	5 - 11	5-8
Gnejs (Granitoid)*	0,1 - 0,6	2.500 – 2.900	150 - 270	10 - 25	-	4-10
Gabbro (”sort granit)	0,1 - 1,8	2.700 – 3.000	110 - 300	15 - 28	4 - 7	3-9
Basalt (”bluestone”/”sort granit”)	0,4 – 4,0	2.700 – 3.000	50 - 400	11 - 16	2 - 5	1-9
Marmor	0,1 - 1,5	2.600 - 2.800	40 - 190	7 - 19	3 - 7	15-40
Kalksten (medium tæthed)¤	0,3 – 20	2.200 - 2.600	20 - 230	4 - 20	2 - 6	-
Sandsten (medium tæthed)	2,0 – 25	2.000 - 2.600	20 - 240	4 - 12	2 - 12	7-15
Skifer (slate)¤	0,1 - 2,5	2.600 - 2.700	50 - 300	35 - 55	3 - 9	-
Glimmerskifer (schist)*	0,2 - 0,5	2.600 – 2.900	100 - 200	10 - 35	-	4-15

Modificeret efter Building Technology file, number twenty, April 2002, table 3 [18] og MINBAS project 4.4 tabel 3.1 [19]. Hvor der er væsentlige forskelle på værdierne opgivet I de to tabeller, er angivet det bredeste interval. Tendensen er at værdierne fra sidstnævnte nordiske rapport ligger indenfor de noget bredere intervaller angivet i den australske udgivelse.

2.3 Funktionelle egenskaber

Skridmodstandsevnen angiver, hvor glat eller ru en overflade er, og skal altid tages i betragtning, når en sten benyttes til indendørs og udendørs belægninger, hvorpå der er trafik. Skridsikkerheden måles ofte ved en pendulprøvning, hvor en gummiklods for enden af pendulet glider hen over en naturstensoverflade. Det omfang pendulets bevægelse bremses af friktionen mellem gummiklods og prøvefladen svarer til skridmodstandsevnen (SVR).

Skridmodstandsevnen bestemmes i henhold til DS/EN 14231: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af skridmodstandsevnen ved pendulprøvning. [20]

Pletmodtagelighed er en vigtig æstetisk egenskab, som beskriver risikoen for, at der på overfladen udvikler sig pletter og misfarvninger. Pletterne eller misfarvninger kan opstå på flere måder. Hvis der spildes en form for farvet opløsning på stenen, kan denne sive ned i stenens porøsitet og derved give ophav til misfarvninger, som kan være svære at fjerne. Andre gange kan en opløsning være kemisk aggressiv overfor en eller flere af stenens bestanddele, således

at der sker en reaktion, der efterlader en plet eller misfarvning. Stenens bestanddele kan også reagere med atmosfæren, hvorved eksempelvis jernholdige mineraler kan oxidere og skabe rustpletter.

Pletmodtagelighed kan testes ved at påføre stenoverfladen en række forskellige substanser (f.eks. madolie, cola, kaffe, ketchup, vin osv.), således at der dannes ensartede pletter med hensyn til størrelse og form. Efter at pletterne har siddet på overfladen under bestemte temperatur- og fugtforhold, fjernes de ved en standardiseret vaskeprocedure. Efterfølgende vurderes i hvilket omfang pletterne består.

Pletmodtagelighed kan bestemmes i henhold til procedure som beskrevet i anvisning nr. 6 "Natursten – drift og vedligehold. Bilag: Plettest 2008".

Det er også ofte nødvendigt og lovpligtigt at dokumentere naturstenens **brandsikkerhed**, specielt hvis den benyttes indendørs. De fleste typer sten betragtes som værende brandsikre, men der findes nogle typer skifre og kalksten, der indeholder betydelige mængder af organisk materiale, der ved høje temperaturer kan afgive giftige dampe. I disse tilfælde er det nødvendigt at teste naturstenens reaktion ved brand. Hvis stenen skal benyttes i forbindelse med kraftige varmekilder (eksempelvis ved en pejs), kan de høje temperaturer også resultere i farveændringer, afskalninger i overfladen og i værste fald i tab af styrke.

Naturstens reaktion ved brand testes i henhold til DS/EN 13501-1: Brandteknisk klassifikation af byggevarer og bygningsdele - Del 1: Klassifikation ud fra resultater opnået ved prøvning af reaktion på brand. [21]

2.4 Holdbarhedsegenskaber

Natursten anses generelt for at være et holdbart byggemateriale, der kan anvendes til mange forskellige formål. Der findes dog sten, der ikke er modstandsdygtige overfor bestemte udefra kommende påvirkninger. Stenens levetid er således ikke kun bestemt af identifikationsgenskaberne, men i lige så høj grad af de miljømæssige påvirkninger, den bliver udsat for. Det er derfor vigtigt at teste en stens holdbarhed overfor hver enkelt af de påvirkninger, den udsættes for i forbindelse med den aktuelle anvendelse.

2.4.1 Frost-tø

I Skandinavien er frost skyld i alvorlige skader på mange porøse byggematerialer og således også på visse natursten. Frostskader finder kun sted, når stenen udsættes for frost-tø cykler samtidig med, at tilstrækkelige mængder vand er ophobet i stenens porerum. Frostsprængning er en kompliceret proces, og der findes stadig aspekter i denne proces, der endnu ikke er belyst. En simpel og fremherskende forklaring på frostsprængning tager udgangspunkt i, at vand udvider det sig med ca. 9 %, når det fryser, hvilket kan forårsage et indre tryk i stenes porerum. Når det indre tryk overstiger stenens styrke, vil der dannes revner. Revnerne er ikke nødvendigvis synlige for det blotte øje, men kan også forekomme som meget fine revner i stenens

indre. Frost-tø påvirkninger medfører således betragtelige styrketab for frostfølsomme stentyper.

Selvom der ikke er nogen dokumenteret sammenhæng mellem bjergartens porøsitet, vandabsorption og frostmodstandsevne, benyttes ofte en tommelfingerregel fra en række ældre tyske standarder, der siger, at hvis bjergarten har en vandabsorption over 0,5 vægt %, bør den frost-tø testes. Der bør tages store forbehold for grænseværdier for kritisk vandmætning og vandabsorption, da udformning og fordeling af porerummet også har stor betydning.

Frostskader forværres ofte mange gange, når der er salt tilstede. Sten, der ikke viser nedbrydningstegn efter at have været udsat for frost-tø cykler i rent vand, kan smuldre fuldstændigt, hvis der blot er små mængder salte i vandet. Et fugtigt miljø med tilstedeværelse af salt er yderst almindeligt i Danmark, hvor anvendelsen af tøsalte samt eksponering med salte fra både havvand og jorden ofte er med til at forværre frostskader.

I dag kan man med relativ god succes anvende frysningstests til at forudsige natursteens frostmodstandsevne, men metoderne er ikke 100 % sikre. Hvorvidt testenes resultater kan relateres til det aktuelle miljø, som stenen skal bruges i, afhænger af en række faktorer, som indgår i et komplekst samspil. Antallet af frostcykler, temperatur, hastighed af temperaturændringer, vandmætning og vandets kemiske sammensætning er blot nogle faktorer, der skal overvejes.

Frost/tø bestandighed bestemmes i henhold til DS/EN 12371: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse frost/tø bestandighed. [22]

2.4.2 Saltkrystallisation

Salte kan, ligesom frost-tø påvirkninger, have en stærkt ødelæggende effekt på natursten. Saltskader viser sig typisk som afskalninger, revnedannelse eller ved at stenen smuldrer. I Danmarks klima kan det være svært at skelne mellem skader forårsaget af frost-tø påvirkning eller saltkrystallisation. Selvom salt er at betragte som et kemikalie, så er saltkrystallisationsskader (ligesom frostskader) resultatet af en mekanisk-fysisk proces.

Saltkrystallisationsskader opstår ved, at salte siver ind i stenen i en vandig opløsning. Når stenen tørrer ud, aflejres salte i porerne og kan herved forårsage et indre tryk, som kan resultere i revnedannelse. Der findes mange slags salte, som hver især opfører sig helt forskelligt, og der kan ikke laves generelle regler og retningslinjer for modstandsdygtighed mod salteksponering.

Der findes også såkaldte hydrerede salte (indeholder vand i krystalstrukturen), som i forbindelse med temperatursvingninger kan indgå i relativt komplekse kemiske reaktioner med vand og derved forårsage endog meget høje poretryk. Modstandsdygtigheden mod saltkrystallisation bestemmes da også ved gentagne gange at udsætte stenen for en opløsning af vand og det hydrerede salt natriumsulfat og en efterfølgende udtørring. Resultatet angives som et vægttab af prøveemnet efter et antal opfugtnings-/udtørringscykler.

Bestandighed mod saltkrystallisation bestemmes i henhold til:

DS/EN 12370: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af modstandsevne over for salt-krystallisation. [23]

2.4.3 Fugt og temperaturvariationer

Fugt er en integreret faktor i næsten alle nedbrydningsmekanismer af natursten, men kan også i sig selv være nedbrydende for stenen (også selvom der ikke er tale om frost). Visse lerminera-ler, såsom montmorillonit, kan optage vandmolekyler i deres krystalstruktur med det resultat, at de udvider sig. Denne udvidelse kan resultere i revnedannelser, som kan være meget øde-læggende for stenens styrke. Denne type skader er set i lerholdige skifre, sandsten og kalksten og er ofte omtalt under benævnelsen "swelling".

Hvorvidt en bjergart er eksponeret for denne type nedbrydning kan testes ved at udsætte ste-nen for cykler af udtørring og opvædning. I de standardiserede testmetoder foretages denne slags cykler ofte ved også at variere temperaturen, således at udtørringen foregår under var-mepåvirkning. Varmepåvirkningen kombineret med fugt giver en endnu større destruktiv effekt. Vand har en stor varmeudvidelseskoefficient. Dvs., at hvis en sten er mættet med vand, og den varmes op, kan der opstå et indre tryk i stenens porer, når stenens temperatur stiger. I nogle tilfælde kan dette forårsage, at der dannes revner i stenen, eller at stenen lider store styrketab. Ofte testes skifre for denne egenskab, når de anvendes til facadebeklædning eller som tagbe-lægning.

Tag- og facadeskifres bestandighed mod temperaturvariationer og fugt bestemmes i henhold til DS/EN 12326-2 afsnit 16: Skifer og andre naturstensprodukter til tagdækning og beklædning af ydervægge. Del 2: Prøvningsmetoder. Thermal cycle test. [24]

Fugt i kombination med temperaturvariationer er også kendt for at resultere i irreversible eks-pansioner og deformationer af bestemte marmor- og kalkstenstyper. Bøjning af marmor finder sted over hele verden og således også i Danmark. Selvom der er en udbredt opfattelses af, at den italienske Carrara-marmor er eksponeret for dette, har indgående studier vist, at mange Carrara-typer er fuldstændigt resistente overfor denne type nedbrydning, og at marmor fra an-dre forekomster i verden kan være meget følsomme overfor fugt- og temperaturvariationer.

Nedbrydningen af marmor er en kompleks proces, der afhænger af en række forskellige egen-skaber og parametre. Bøjning er det mest iøjnefaldende fænomen ved marmors nedbrydning, men med bøjning følger også volumenændringer, dvs., at stenen udvider sig. Ikke desto mindre er det alvorligste nedbrydningsfænomen uden tvivl styrketab, som kan forekomme i en sådan grad, at stenen fuldstændigt mister sin sammenhængsstyrke og begynder at smuldre.

Risiko for fugt- og temperaturbetingede deformationer kan bestemmes ved accelererede labora-torietests, som beskrevet i NT Build 499: Cladding panels: Test for bowing. [25]

Temperaturchok, hvor stenens temperatur ændres momentant, skaber indre spændinger i stenen, som kan resultere i omfattende styrketab og revnedannelse. Det er sjældent, at der testes for denne egenskab, idet gulve, udendørs belægninger og facader kun sjældent udsættes for abrupte temperaturændringer. Dog kan specielle anvendelser (eksempelvis ved saunaer og pejse) kræve, at stenen er modstandsdygtig overfor hurtige afkølinger.

Naturstens bestandighed mod temperaturchok bestemmes i henhold til DS/EN 14066: Natursten, Prøvningsmetoder – Bestemmelse af ældningsmodstand ved varmechok. [26]

2.4.4 Kemisk resistens

Kemisk nedbrydning er ofte forbundet med opløsning og/eller ændring af stenens mineraler. Natursten anvendt i byggeri i den moderne verden eksponeres ofte for flere og meget aggressive substanser, som angriber stenen.

Kul og olie anvendt som energikilde forårsager store udledninger af kuldioxid, svovldioxid og nitrogenholdige syrer. Støv og gasser i kombination med vand kan danne salte eller syrer, som kan absorberes i stenen. Effekten er direkte tæring, opløsning eller gennem udfældning af salte, som er dannet ved reaktion med stenens egne mineraler.

Misfarvninger af sten er ofte forårsaget af omdannelsen af jernbærende mineraler. For at være i stand til at vurdere risikoen for dannelse af pletter som følge af omdannelser, må specifikke tests tages i brug, der er specielt målrettet mod de respektive mineraler, der findes i stenen. De bedste tests til at afsløre om jernholdige mineraler eventuelt ruster, er ældning ved SO_2-fugtighedsindvirkning (DS/EN 13919 [27]). En petrografisk analyse vil også afsløre, hvorvidt stenen umiddelbart indeholder de mest kendte mineraler, såsom pyrit og hæmatit, med risiko for plet-dannelse.

Naturstens bestandighed mod syreangreb bestemmes i henhold til DS/EN 13919: Natursten, Prøvningsmetoder – Bestemmelse af modstandsevne over for ældning ved hjælp af SO_2-fugtighedsindvirkning. [27]

3. Referenceliste

[1] "Geologi". Temahæfte nr. 1. Stenhuggerlauget i Danmark

[2] "Mineralernes verden", Ole Johnsen (2000), Gads Forlag.

[3] DS/EN 12440: Natursten – Betegnelseskriterier

[4] DS/EN 12670: Natursten – Terminologi

[5] DS/EN 12326-1 Skifer og andre naturstensprodukter til tagdækning og beklædning af ydervægge - Del 1: Produktspecifikation

[6] DS/EN 1469: Natursten - Plader til udendørs og indendørs beklædning – Krav

[7] DS/EN 12407: Prøvning af natursten – Petrografisk undersøgelse.

[8] DS/EN 1936:Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af reel vægtfylde og tilsyneladende vægtfylde samt total og åben porøsitet.

[9] DS/EN 1925: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af vandabsorptionskoefficient ved kapillaritet.

[10] DS/EN 13755: Prøvningsmetoder for natursten – Bestemmelse af vandabsorption ved atmosfærisk tryk.

[11] DIN 52008: Prüfverfahren für Naturstein – Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit.

[12] DS/EN 1926: Prøvningsmetoder for natursten. Bestemmelse af trykstyrke

[13] DS/EN 12372: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af bøjningsstyrke ved punktbelastning.

[14] DS/EN 13161: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af bøjningsstyrke under konstant moment

[15] DS/EN 13364: Prøvning af natursten - Bestemmelse af brudlast ved dyvelhul.

[16] DS/EN 14158: Prøvning af natursten- Bestemmelse af brudenergi.

[17] DS/EN 14157: Natursten - Bestemmelse af slidmodstandsevne.

[18] "CSIRO Guide to the Specification of Dimension Stone". Building Technology file, number twenty (April 2002). CSIRO BCE 2002.

[19] ”Implementering av nya Europastandarder för test av natursten”. MinBaS projekt 4.4 (SP Rapport nr 2004:37).

[20] DS/EN 14231: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af skridmodstandsevnen ved pendulprøvning

[21] DS/EN 13501-1: Brandteknisk klassifikation af byggevarer og bygningsdele - Del 1: Klassifikation ud fra resultater opnået ved prøvning af reaktion på brand

[22] DS/EN 12371: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse frost/tø bestandighed.

[23] DS/EN 12370:Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af modstandsevne over for saltkrystallisation.

[24] DS/EN 12326-2: Skifer og andre naturstensprodukter til tagdækning og beklædning af ydervægge - Del 2: Prøvningsmetoder.

[25] NT Build 499: Cladding panels: Test for bowing.

[26] DS/EN 14066: Natursten, Prøvningsmetoder – Bestemmelse af ældningsmodstand ved varmechok.

[27] DS/EN 13919: Prøvningsmetoder for natursten - Bestemmelse af modstandsevne over for ældning ved hjælp af SO_2-fugtighedsindvirkning

Bilag 1: Eksempel på udseende af petrografisk analyse af natursten

Petrografisk beskrivelse af natursten efter DS/ EN 12407

Makroskopisk beskrivelse:

Materialeprøve:	2 stk. naturstenspaneler. Dimensioner: 210x82x33 mm og 227x82x43 mm
Overflade:	Naturstenspanelerne er profileret/mønstret på overfladen. Profileringen er dog delvist "smuldret" væk.
Farve:	Bjergartens overordnede farve er brunlig lyserød.
Tekstur:	Bjergarten har en sedimentær lagdeling, der kan skelnes som lysere og mørkere lag. Parallelt med lagdelingen kan også konstateres en god spaltelighed.
Kornstørrelse:	Finkornet.
Revner:	Fine revner løber langs lagdelingen.

Mikroskopisk beskrivelse:

Tyndslib:	Et tyndslib placeret vinkelret på lagdelingen.
Mineral sammensætning:	Kvarts+feldspat 75 %, kisel 10 %, kalcit 5 %, muskovit+fibrøst mineral 5 %, opake mineraler 5 %.
Tekstur og mineralogi:	Bjergarten er homogen, hovedsageligt bestående af kvarts og feldspatkorn med en typisk diameter på ca. 0.01 til 0.03 mm. I en del af hulrummene mellem kvarts og feldspatkorn er udfældet aggregater af porøs kisel og i nogen grad kalcit. Krystaller af en brunlig opak fase, som sandsynligvis er et jernoxid, forekommer også i sådanne hulrum i varierende koncentrationer. Tilstedeværelsen af den opake fase er formentlig årsagen til stenens overordnede lyserøde til brunlige farve. Fordelt jævnt ud i hele bjergarten ses lamelagtige og fibrøse korn med en maksimal længde på op til 0.05 mm. Disse mineraler har alle en foretrukken orientering parallelt med stenens lagdeling og fortrukne spalteretninger. De massive lamelagtige korn er muskovit, mens det ikke var muligt at lave en optisk identifikation af de fibrøse korn. Røntgenanalyser og elektronmikroskopi indikerer dog, at mineralet er tæt relateret til muskovit (eventuelt en fibrøs variant af muskovit).

Åbne revner, frakturer, porer og hulrum:	Bjergarten er derudover meget porøs svarende til et porevolumen på ca. 15 vol. % (baseret på en optisk vurdering). Porøsiteten forekommer både i form af revner, men også som irregulære hulrum med en typisk diameter på ca. 0,02 mm. Alle porerum synes forbundet af mikrorevner mellem kornene. Et kraftigt system af parallelle revner findes gennem hele stenen. Revnerne forekommer mellem kornene og varierer i revnevidde fra 0,01-0,1 mm, hvor de kraftige revner er tættest på overfladen. Revneforløbet er typisk for de skader, der opstår i forbindelse med frostsprængning. Det vurderes derfor, at revnedannelsen i stenen primært er forårsaget af frostsprængning.
Cement/matrix:	Den porøse kisel i form af en blanding af kalcedon og opal udgør, sammen med en mindre mængde kalcit, hovedbestanddelen af cementen og dermed bindemidlet mellem kornene. Den opake fase er dog også udfældet i stenes hulrum. Stenens lave styrke er formentlig relateret til cementens modstandsdygtighed overfor de påvirkninger, stenen har været udsat for. Den del af cementen bestående af kiselaggregaterne forekommer i varierende grad porøs. Dette kan skyldes, at visse dele af aggregaterne er blevet opløst/udludet over den tid, stenen har siddet på facaden.

Asbestanalyser:

Den mikroskopiske undersøgelse afslørede tilstedeværelsen af et asbestlignende fibrøst mineral i bjergarten. Da en eventuel forekomst af asbest i sandstenen kan få store økonomiske og praktiske konsekvenser i forbindelse med en eventuel udbedring af facaden, blev det besluttet at analysere prøven for asbest.

En knust prøve af sandstenen blev analyseret ved røntgendiffraktion på et pulverdiffraktometer med Bragg-Brentano geometri (Philips PW3710) ved Geologisk Institut, Københavns Universitet. Diagnostiske gitterplansafstande (d-værdier) for alle kendte asbesttyper blev sammenlignet med diffraktogrammet. Ingen asbesttyper blev påvist. Røntgendiffraktogrammet påviste tilstedeværelsen af følgende mineraler: Kvarts, Feldspat (formentlig albit), muskovit, kaolinit/klorit, kalcit og gips.

En poleret tyndslibsprøve blev også undersøgt ved SEM/EDX-analyse for indhold af asbest ved Teknologisk Institut. Ingen asbest blev påvist. En kvalitativ EDX-undersøgelse påviste elementerne Si, Al, og K som muskovits sammensætning.

Sammenfattende vurdering	Bjergarten er en finkornet sandsten bestående af kvarts, feldspat, kisel, muskovit, kalcit og små mængder af gips og kaolin/klorit. Gips er antagelig ikke en oprindelig del af sandstenen, men er formentlig dannet i forbindelse med omdannelse af kalcit ($CaCO_3$) som har været udsat for sur nedbør: $CaCO_3 + SO_3^- + 2H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$. Sandstenen er dårligt cementeret med porøs kisel og kalcit og har en høj porøsitet med mange fine revner og hulrum. Dette medvirker til stenens meget lave styrke og forvitrede udseende. Revnedannelsen er formentlig dannet ved frostsprængning. Et fibrøst mineral blev observeret i sandstenen, som derfor blev undersøgt for asbest. Ved undersøgelserne blev ingen asbest konstateret.

Fotodokumentation af petrografisk analyse

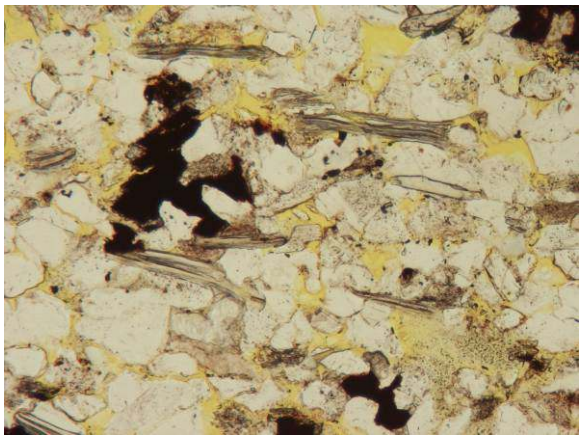


Fig. 1: Tyndslibsfoto i normal lys visende den foretrukne orientering af de glimmer-agtige mineraler. Billedets dimensioner er 4,2x2,8 mm, normal lys.

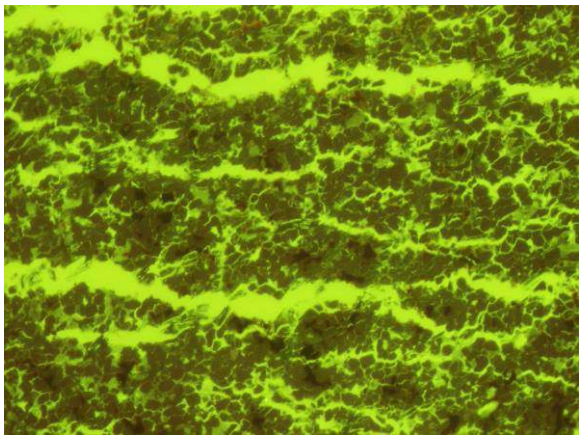


Fig. 2: Tyndslibsfoto i fluorescerende lys visende typisk revnemønster tæt på over-fladen (opad). Billedets dimensioner er 6,3x4,1 mm, fluorescens.

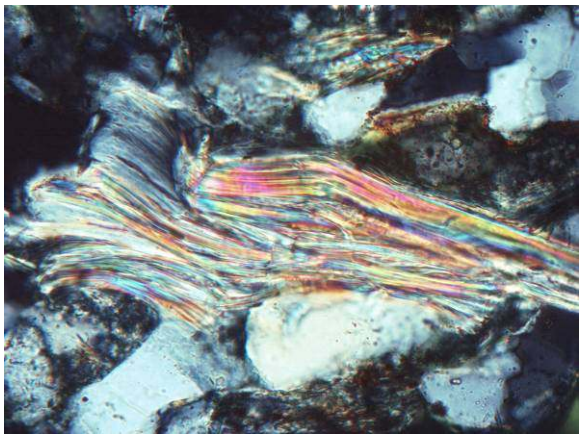


Fig. 3: Tyndslibsfoto visende den fibrøse fase. Billedets dimensioner er 0,41x0,27 mm, krydsede nikoller.

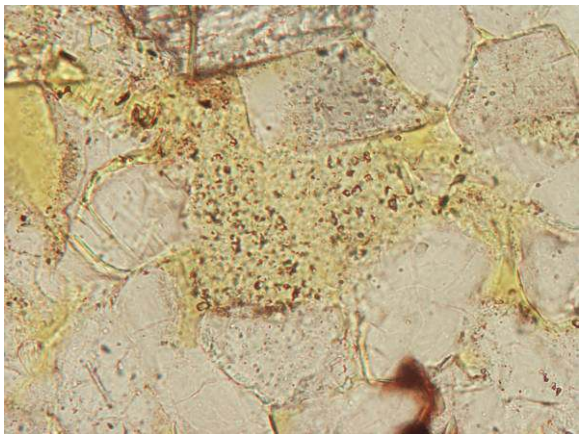
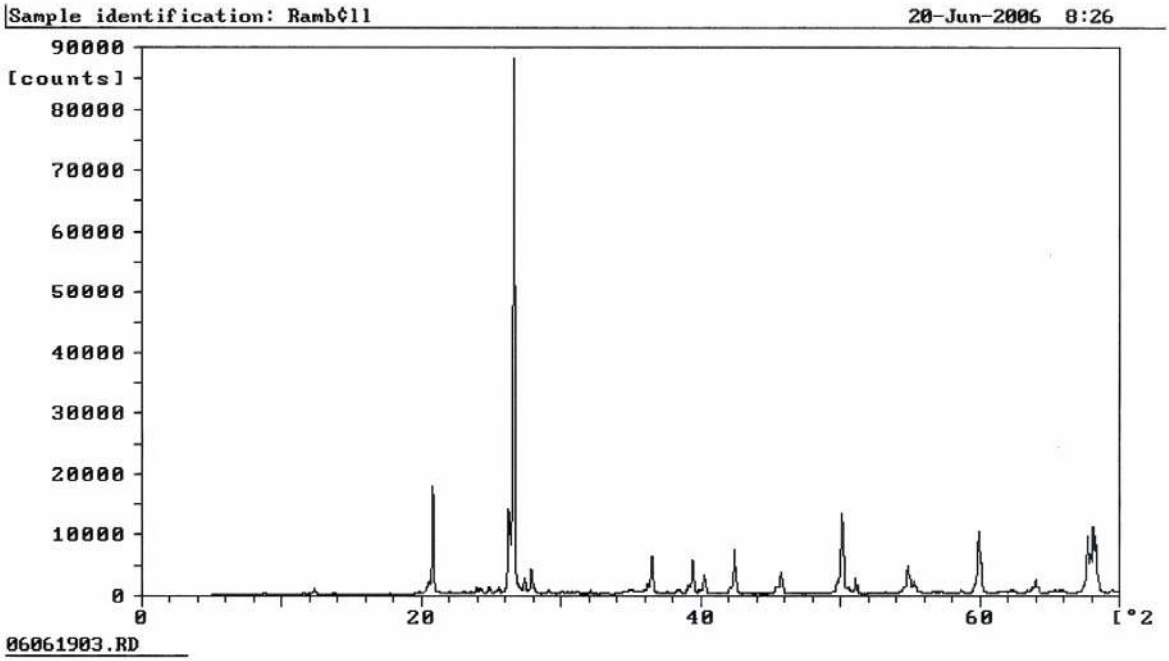


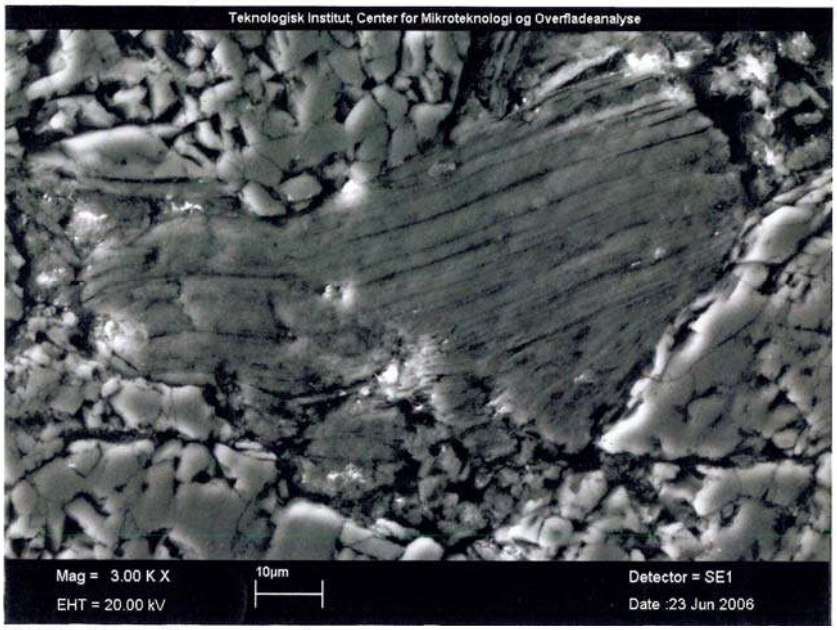
Fig. 4: Tyndslibsfoto visende porøs opal i hulrum mellem kvarts- og feldspatkorn. Billedets dimensioner er 0,41x0,27 mm., normalt lys.

Røntgendiffraktionsanalyse af prøve af sandsten for asbest



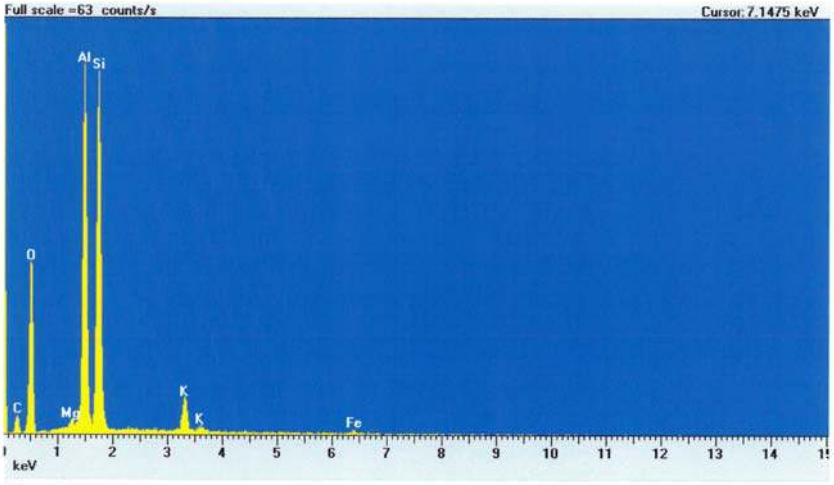
SEM/ EDX-undersøgelse for indhold af asbest

Fibre i stenprøve



TEKNOLOGISK INSTITUT

(Scanning Electron Microscope image)



(X-ray Spectrum)

(Reg.nr. 2006277)